



Mesure de l'impact sanitaire des stratégies de promotion de l'activité physique ou sportive

Hala Nassif

► To cite this version:

Hala Nassif. Mesure de l'impact sanitaire des stratégies de promotion de l'activité physique ou sportive. Sport. Université Paris V- René Descartes, 2011. Français. NNT: . tel-01788579

HAL Id: tel-01788579

<https://insep.hal.science//tel-01788579>

Submitted on 9 May 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITE PARIS V - RENE DESCARTES

Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

ECOLE DOCTORALE MTCE

Thèse

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS DESCARTES

Discipline: **Physiologie et Epidémiologie de l'Activité Physique ou Sportive**

Domaine: **Sciences de la Vie et de la Santé**

Présentée et soutenue publiquement le 23 Novembre 2011 par

Hala NASSIF

«Mesure de l'impact sanitaire des stratégies de promotion de l'activité physique ou sportive »

Jury

Pr. Martine, DUCLOS	.....	Rapporteur
Pr. Pascale, DUCHE	.....	Rapporteur
Pr. Chantal, SIMON	.....	Membre du Jury
Pr. Jean-Michel, OPPERT	.....	Membre du Jury
Pr. Bertrand, DURING	.....	Membre du Jury
Pr. Jean-François, TOUSSAINT	.....	Directeur de Thèse



UNIVERSITE PARIS V-RENE DESCARTES
Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques
ECOLE DOCTORALE MTCE

Thèse

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS DESCARTES

Discipline: **Physiologie et Epidémiologie de l'Activité Physique ou Sportive**

Domaine: **Sciences de la Vie et de la Santé**

Présentée et soutenue publiquement le 23 Novembre 2011 par

Hala NASSIF

***«Mesure de l'impact sanitaire des stratégies de promotion de
l'activité physique ou sportive »***

Jury

Pr. Martine, DUCLOS	.....	Rapporteur
Pr. Pascale, DUCHE	.....	Rapporteur
Pr. Bertrand, DURING	.....	Président du Jury
Pr. Jean-Michel, OPPERT	.....	Membre du Jury
Pr. Chantal, SIMON	.....	Membre du Jury
Pr. Jean-François, TOUSSAINT	.....	Directeur de Thèse

Résumé

La prévalence de la sédentarité ne cesse d'augmenter et de progresser. L'inactivité physique est la quatrième cause de décès évitable: 1.9 millions de décès lui sont attribués dans le monde. Plusieurs études ont montré l'intérêt et le besoin de promouvoir l'activité physique dans différents milieux. Néanmoins, il reste un grand vide à combler entre la théorie, les politiques et le passage à l'acte.

Cette thèse a pour but d'analyser et de développer des outils d'évaluations spécifiques afin d'apporter la preuve de l'utilité des recommandations de promotion d'activité physique et de lutte contre la sédentarité.

Notre première étude analyse les données d'un outil de mesure de condition physique en population générale sur un échantillon de 31 133 individus français âgés entre 8 et 60 ans. Nous avons évalué la fiabilité et la reproductibilité de l'outil. Par la suite, nous avons analysé le lien entre l'indice de masse corporelle, l'âge et les performances des différentes dimensions physiologiques mesurées. Les résultats montrent une bonne reproductibilité du test et une forte corrélation entre les performances, l'âge et l'indice de masse corporelle. Ceci suggère que l'outil pourrait servir comme instrument épidémiologique pour évaluer l'efficacité des interventions de promotion d'activité physique.

Notre deuxième étude évalue une intervention de remise en forme pour des salariés souffrant de douleur lombaire chronique en collaboration avec leur service de médecine de travail. Les mesures d'accompagnement ajustent l'activité physique sur le lieu même de l'entreprise. L'échantillon est constitué de 37 sujets qui ont suivi des séances d'exercices trois fois par semaine pendant 2 mois et de 38 sujets dans le groupe témoin. Les paramètres physiques, psychologiques, sanitaires et sociaux ont été analysés en trois temps (début, 2 mois et 6 mois). Suite à cette intervention, nous avons observé chez le groupe expérimental une amélioration significative des paramètres physiques, psychologiques et sanitaires, qui persiste à 6 mois. Cette étude renforce donc la promotion d'activité physique en milieu de travail afin de mieux accompagner les sujets à risques de troubles musculo – squelettiques.

Notre troisième étude porte sur les méthodes de promotion d'activité physique à travers les transports actifs en milieu urbain. Nos travaux sont reliés aux outils d'évaluation d'impact sanitaire suite à un report modal de transport. Cette étude est réalisée en collaboration avec le CREAL (Center for Research in Environmental Epidemiology) à Barcelone et six grandes villes européennes. Elle propose des méthodes de mesure de la dépense énergétique en fonction du mode, associant ces indicateurs à leur gain sanitaire.

En conclusion cette thèse fournit une nouvelle méthodologie d'approche ainsi que des outils d'évaluation spécifiques qui pourront aider à promouvoir la prévention par l'activité physique.

Mots Clefs : sédentarité, inactivité physique, activité physique, évaluations, outils, condition physique, entreprise, transport, prévention

Abstract

The prevalence of sedentary behavior is constantly increasing. Physical inactivity is the 4th cause of preventable death with 1.9 million deaths worldwide. Several studies have proven the need and interest in promoting physical activity in different settings. However, there still exists a large void between theory, policies, practice and behavior change.

The objective of this thesis is to analyze and develop specific evaluation tools in order to reinforce the proof and utility of recommendations that promote physical activity and discourage sedentary behavior.

Our first study analyses the data of a physical fitness monitoring tool applied on a large French sample of 31 133 individuals aged between 8 and 60 years old. We first tested the reliability and the reproducibility of the tool. Thereafter, we analyzed the relation between body mass index, age and the different physiological dimensions measured. Results revealed a good reproducibility of the physical fitness test and the presence of a strong correlation between the performances, age and body mass index. This suggests the possibility of using this test as a reliable epidemiological tool capable of evaluating the effectiveness of physical activity promotion interventions.

Our second study analyses the effect of an intervention promoting physical activity in the workplace on subjects suffering from chronic lower back pain. This study has been done in collaboration with the department of occupational medicine in the company. The sample consisted of 37 subjects that followed exercise sessions three times per week during two months and of 38 subjects in the control group. Physical, psychological, health and social measures were analyzed at three time points (beginning, 2 months, and 6 months). Following this intervention, we observed a significant improvement in the physical, psychological and health outcome measures that persisted at 6 months. In consequence, this study reinforces the promotion of physical activity in the workplace in order to assist those at risk and result in multiple health benefits.

Our third study is in relation to the promotion physical activity through active transportation. Our work is related to health impact assessment following a change in transportation mode. This study is in collaboration with the CREAL (Center for Research and Environmental Epidemiology) in Barcelona and six European cities. The study proposes methods to measure energy expenditure in function of the transportation mode and associates it to a health gain.

In conclusion, this thesis offers a new methodological approach as well as specific evaluation tools that may help in advancing the field of prevention by physical activity.

Key words: sedentary, physical inactivity, physical activity, evaluation, tools, physical fitness, workplace, transportation, prevention

Remerciements

Je remercie en premier mon directeur de thèse **Pr. Jean François Toussaint** qui m'a offert la chance d'accomplir autant de projets indispensables à la réussite de ma thèse. Je suis honorée et très reconnaissante. Je le remercie également de m'avoir permis de poursuivre ces trois dernières années au sein de son équipe et de sa confiance en moi et en mes compétences.

Au Prs. Pascale Duché et Martine Duclos, ma sincère reconnaissance pour avoir accepté de juger mon travail.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance aux **membres du Jury: les Prs. Jean-Michel Oppert, Chantal Simon et Bertrand During** qui ont pris le temps d'évaluer mon travail.

Au Dr. Nicolas Brosset, Mlle Emilie Delore-Milles et l'équipe médecine du travail PSA Mulhouse pour la collaboration, le sérieux et l'enthousiasme.

A Thibault Deschamps, Hervé Ovigneur, Hervé Maillet et l'équipe Diagnoform, pour les nombreuses réunions ainsi que pour leur esprit sportif, leur générosité durant le travail et leur dévouement en sport santé.

A Mme Anne Sophie Godon pour son dynamisme et son intérêt pour nos travaux.

A Audrey de Nazelle, une grande reconnaissance pour son esprit d'équipe, ses nombreuses idées et sa passion pour la recherche en épidémiologie environnementale. Le travail avec elle et avec **l'équipe du CREAL** sur le projet TAPAS a été une expérience enrichissante que je n'oublierai jamais.

A Hélène Desqueyroux, Ari Rabl, Corinne Praznoscy, Gerard Missonier et Maxime Chombart: l'équipe TAPAS Paris pour leur collaboration et l'intérêt qu'ils ont porté à nos travaux. J'ai apprécié nos échanges d'idées, de connaissances, les workshops à Barcelone et les nombreuses réunions à l'Hôtel Dieu ou à l'ADEME.

A Dr. François Desgorces pour son appui scientifique et sa présence aux réunions de recherche qui a toujours rendu les discussions plus riches et intéressantes.

Je tiens également à remercier **l'INSEP (l'Institut National de Sport, de l'Expertise et de la Performance)** et **l'ED MTCE (l'Ecole doctorale Médicament, Toxicologie, Chimie et Environnement).**

A **Nour**, je tiens à exprimer ma gratitude envers toute ton aide et ton support. Ce fut un grand plaisir d'avoir partagé nos années de thèse ensemble. Je n'oublierai jamais nos débats, nos planifications et tous les moments exceptionnels à l'Irmes et en France.

A **Hélène**, la personne qui à la réponse à n'importe quelle question. Merci pour tes conseils, les temps de rires, ton esprit fort et ton sourire malgré les difficultés.

A **Marion**, ma sauveteuse en matière de R et d'interprétation des multiples petits p qui sortait après l'analyse stat. Merci pour ton aide, pour tes idées, pour ton constant encouragement et pour ton esprit d'initiative.

A **Julien**, sport-santé c'est nous ! Le travail sur les différents projets sport-santé avec toi était très agréable. Merci pour ton humeur, ton enthousiasme et ton attitude positive.

A **Adrien**, sport-santé c'est nous aussi ! Je te remercie pour ton professionnalisme en matière d'études et de recherches et pour ton professionnalisme en matière de conseil sur les sorties Parisiennes.

A **Stéphane**, merci pour ton soutien et d'être toujours prêt à m'aider. Tu es pédagogue sans le savoir, tu m'as appris beaucoup de petites manip sur Excel ou sur Matlab auxquelles je n'aurai jamais imaginé parvenir.

A **Karine**, merci pour tes relectures précieuses des articles et nos échanges d'idées.

A **Muriel**, merci pour tes conseils, ta patience et tes explications approfondies sur les multiples fonctions statistiques.

A **Elisa**, pour ton travail sur le projet Diagnoform et pour nos discussions culturelles et philosophiques.

A **Laurie-Anne et Amal**, merci pour votre aide et votre support durant les moments difficiles.

A **Geoffroy**, merci pour ton calme, ton humeur et pour tous les petits moments de détente et de rire que tu parvenais à faire passer d'un bureau à l'autre en toute discrétion et dans les moments de stress.

A **Andy**, merci pour les moments de fous rires et l'organisation des jeux d'équipes durant nos trajets en train pour les conférences ou les congrès.

A **Valérie, Laurent, Julie, Lamia, Sabrina, Juliana, Adrien** merci pour votre soutien.

A mon mari, **Fabrice**, qui était toujours à l'écoute de mes avancements, mes soucis, mes doutes et mes Eureka ! Merci d'être qui tu es.

A **mes parents, Nada** et **Walid**, **ma sœur Yara** et à **ma famille...**

A **mes ami(e)s, Elie, Joyce, Hala, Sandra, Chaden, Rana, Dana, Dany, Delbert, Jean-Charles, Joëlle, Marie, Patricia, Sabine, Ralph, Jeannette...**

Merci de votre patience et de votre soutien tout au long de mes années d'études.

J'exprime ma profonde gratitude et je vous remercie du fond du cœur.

Je ne serai pas là sans vous.

Table des matières

Introduction.....	15
Première Partie Contexte Général.....	20
Chapitre 1 : La sédentarité et l'inactivité physique.....	22
1.1 La sédentarité.....	22
1.2 L'inactivité physique.....	22
1.3 Prévalence et méthodes de mesures.....	23
1.4 Effets et Risques.....	25
Sanitaire.....	25
Coût Economique.....	26
Epigénétiques: l'influence de l'environnement sur la diversité du vivant.....	26
1.5 L'adoption de la sédentarité et de l'inactivité physique dans nos modes de vies.....	28
Chapitre 2: L'Activité Physique ou Sportive.....	30
2.1. Evolution.....	30
2.2. Prévalence.....	31
2.3. Mesure qualitative ou quantitative de l'activité physique ou sportive.....	32
2.4. Effets de l'activité physique ou sportive sur les paramètres de santé.....	33
Mortalité.....	33
2.5. Changement de comportement.....	34
Chapitre 3: Les stratégies et l'évaluation.....	37
3.1. Définition.....	37
3.2. Prévention.....	37
3.3. La prévention par l'activité physique.....	38
Efficacité.....	39
3.4. L'évaluation.....	41
3.5. Evaluation de l'impact sanitaire.....	41
3.6. Indicateurs.....	42
Outils.....	42
Chapitre 4: La Condition Physique.....	45
4.1. Définition.....	45
4.2. Relation entre la condition physique et les paramètres de santé.....	45
Condition physique et qualité de vie.....	46

Condition physique et mortalité	46
La condition physique chez les enfants et les adolescents	47
4.3. Les changements de la condition physique.....	48
4.4. Mesure de la condition physique	49
4.5. Un outil utilisé sur un grand échantillon	50
Chapitre 5: Objectifs et méthodologies de recherche	54

Deuxième Partie Travaux réalisés..... 56

Chapitre 6: La Condition Physique d'un échantillon de 31 133 individus58

- 6.1. Contexte 58
- 6.2. Etude: Fiabilité et validation de la batterie de tests physiques Diagnoform® 60
- 6.3. Etude: La condition physique d'un échantillon de 31 133 Français 62
- 6.4. Article: Fiabilité et validation de la batterie de tests physiques Diagnoform 71
- 6.5. Article: Monitoring fitness levels and detecting implications for health on a large scale of the general population 75

Chapitre 7: Intervention en Entreprise89

- 7.1. Contexte général 89
- 7.2. Etude Pratique en entreprise - Essai contrôlé et randomisé - 90
- La Douleur Lombaire 90
- 7.3. Article: Evaluation of a Randomized Control Trial in the Management of Chronic Lower Back Pain in a French automotive industry: an Observational Study 95
- SOUS PRESSE ARCHIVES OF PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION 95

Chapitre 8: L'activité physique dans les modes de transport123

- 8.1. Contexte général 123
- TRANSPORTATION, AIR POLLUTION AND PHYSICAL ACTIVITIES: the Paris case study 123
- 8.2. Etude pilote- Travail préliminaire - Mesure de la dépense énergétique en métro 127
- 8.3. Abstract présenté durant le congrès du International Society for Environmental Epidemiology (ISEE) le 13-16 Septembre 2011. 136
- TRANSPORTATION, AIR POLLUTION AND PHYSICAL ACTIVITIES (TAPAS), a 6-city integrated health risk assessment program of active travel policies: the Paris case study..... 136
- 8.4. Article: Improving health through policies that promote active travel: a review of evidence to support integrated health impact assessment..... 137

Troisième Partie Discussion et Perspectives 139

Bibliographie 144

ANNEXES 162-208

Liste des tableaux

Tableau 1.3-1 Facteur de risque et mortalité Mondiale Source OMS.....	23
Tableau 1.5-1 Augmentation des équipements en France entre 2004 et 2008.....	28
Tableau 2.1-1 Estimation du poids corporel, de la dépense énergétique et des kilomètres parcourus quotidiennement par les différents membres de l'espèce humaine.....	31
Tableau 2.3-1 Différents méthodes de mesures de l'activité physique.....	32
Tableau 3.3-1 Classification des interventions en fonction de leur efficacité.....	40
Tableau 3.6-1 Différents types d'interventions de promotion d'activité physique et d'évaluations.....	43
Tableau 4.5-2 Comparaison de deux séries de test de condition physique.....	52
Tableau 6.3-1 Moyenne des résultats dans le Test Diagnoform Tonic.....	63
Tableau 6.3-2 Moyenne des résultats des tests en fonction de l'IMC chez l'adulte.....	64
Tableau 6.3-3 Moyenne des résultats des tests en fonction de l'IMC chez l'enfant.....	64

Liste des figures

Figure 1.3-1 Prévalence de l'inactivité physique (en %) par rapport au développement d'un Pays dans le monde.	24
Figure 2.5-1 Modèle transdisciplinaire du comportement d'activité physique ou sportive par ..	35
Figure 3.3-1 poursuite oculaire durant le passage du message 'pour votre santé pratiquez une activité physique régulière 'www.mangerbouger.fr	39
Figure 6.1-1 Moyenne et Reproductibilité du test Diagnoform tonic.....	61
Figure 6.3-1 Performances hommes (8-60 ans) Test de vitesse	65
Figure 6.3-2 Performances femmes (8-60ans) Test de vitesse	65
Figure 6.3-3 Performances Hommes (8-60 ans) Test de force-vitesse	66
Figure 6.3-4 Performances Femmes (8-60 ans) Test de force-vitesse	66
Figure 6.3-5 Performances Hommes (8-60ans) Test d'endurance.....	67
Figure 6.3-6 Performances Femmes (8-60ans) Test d'endurance	67
Figure 6.3-7 Performances Hommes (8-60 ans) Test endurance-force	68
Figure 6.3-8 Performances Femmes (8-60ans) Test endurance-force	68
Figure 8.1-1 Modèle global TAPAS	124
Figure 8.1-2 Cercle vicieux de la sécurité routière et l'enchaînement des effets négatifs	125
Figure 8.2-1 Schéma préliminaire de la description d'un trajet en métro ou RER et les niveaux de dépense énergétique.	128

'La thèse que je présente dans ce rapport reflète mon intérêt infini à la compréhension de nos modes de vies et des défis de santé. Plusieurs observations et problématiques sont à l'origine de ma motivation à mener cette thèse, qui, sans le soutien de mon équipe, n'aurait pas vu le jour.'

'A ceux et celles qui m'ont permis de mener à mieux mon projet...'

Introduction

D'après l'organisation mondiale de la santé en 2010, 60% de la population globale n'atteint pas les recommandations de 30 minutes d'activité physique modérée par jour. Ce pourcentage risque d'augmenter avec le développement accéléré des pays émergents. Certains chercheurs ont même décrit l'état actuel de notre mode de vie sédentaire en un paradigme. La survie de nos ancêtres dépendait en grande partie de leurs capacités physiques. Suite aux multiples changements que nous avons subis durant le dernier centenaire notamment suite à l'industrialisation, l'activité physique journalière ne demeure plus une nécessité dans nos habitudes quotidiennes. Les pathologies qui résultent de la sédentarité et de la pratique insuffisante d'activité physique sont coûteuses. Néanmoins, la majorité de nos connaissances des effets néfastes de la sédentarité se font suite à des études épidémiologiques. Les vrais mécanismes physiologiques ne sont pas encore bien démontrés scientifiquement.

La promotion de l'activité physique et la lutte contre la sédentarité présentent des solutions à plusieurs problèmes de santé. En effet, les bienfaits de l'activité physique sur notre santé, notre qualité de vie ainsi que notre longévité dépassent les effets d'un traitement médicamenteux et ceci en fonction de la multitude des effets et des mécanismes de régulation.

Cependant, avons-nous les dispositions et les outils nécessaires pour combattre les défis de la sédentarité et de l'inactivité physique? L'amélioration du niveau d'activité physique et la diminution du temps passé assis dépendent tout autant de la capacité à renforcer l'offre d'activité physique ou sportive que de la limitation des temps d'activité sédentaire. Résoudre le problème de l'inactivité physique et de la sédentarité devrait être une priorité dans les années à venir.

Une des problématiques de l'évaluation des interventions de l'activité physique repose sur la difficulté d'obtenir des indicateurs exacts de façon régulière couvrant un échantillon large de la population. Une autre problématique est en relation avec le constat suivant: la sédentarité augmente et la pratique de l'activité physique ou sportive demeure insuffisante par rapport aux seuils recommandés en termes d'effets bénéfiques sanitaires. Cette constatation nous mène à plusieurs questionnements afin d'étayer les raisons derrière ce problème de santé publique persistant. Sur ce, nous sommes amenés à proposer trois possibilités: (1) les stratégies seraient inefficaces du fait qu'elles ne sont pas adaptées à la cible et ne prennent pas en compte le type de message et le temps de transmission (2) les outils de mesures seraient inappropriés car

insuffisamment précis pour mesurer le changement après une intervention (3) la présence de facteurs externes qui interfèreraient avec la méthodologie ou les mesures.

D'après les études récentes, il existe un besoin de validation externe des interventions de promotion de l'activité physique, et une nécessité de traduire la théorie en pratique. Le domaine de la promotion de la santé par l'activité physique ou sportive manque *d'outils* simples qui mesurent l'effet du changement suite à une intervention. Pourtant, l'intérêt primordial de toute stratégie de prévention serait d'aboutir à un effet bénéfique et de le prouver.

C'est dans cette optique et afin de prouver l'utilité des interventions de lutte contre la sédentarité que nous avons analysé des outils d'évaluations utilisés dans le domaine de l'activité physique à travers des approches théoriques et pratiques.

La première partie de la thèse présente les études de prévention par l'activité physique ou sportive et décrit ce qui est connu. Les chapitres 1 et 2 soulignent l'évolution de la sédentarité, des pathologies qui en résultent et les effets préventifs de l'activité physique. Ensuite, dans le chapitre 3 investie les différents types d'interventions et les outils d'évaluations efficaces. Le chapitre 4 présente la condition physique. Le chapitre 5 précise les objectifs et la méthodologie de travail dans cette thèse.

La deuxième partie de cette thèse contient les travaux que nous avons réalisés. Chaque étude dispose d'outils spécifiques que nous exposerons et analyserons. Dans le chapitre 6, nous nous sommes intéressés à la mesure de la condition physique de la population générale. Dans ce but, nous avons testé et analysé les données issues d'un nouvel outil français. Ensuite dans le chapitre 7, nous présentons l'évaluation d'une intervention de remise en forme par l'activité physique au sein d'une entreprise. Le chapitre 8 présente une approche d'évaluation d'impact sanitaire multidisciplinaire dans une étude multicentrique internationale qui évalue les modalités de transports actifs en termes de gain sanitaire et environnemental. A la fin, les principaux résultats et les perspectives sont présentés dans la discussion.

Ce travail est le fruit de trois années d'études et de recherche au sein de l'équipe du Pr. Toussaint à l'Irnes (Institut de Recherche bio-Médicale et d'Epidémiologie du Sport) à l'INSEP (Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance). Nous espérons que ce travail permettra de susciter réflexions, échanges et avancements dans le domaine de la prévention par l'activité physique ou sportive afin d'améliorer la santé et le bien-être de la population générale.

Afin d'apporter des réponses aux différentes hypothèses et questions soulevées dans cette thèse, les projets cités ont abouti aux articles scientifiques suivants :

Nassif H, Sedeaud A, Schipman J, Toussaint JF., *Equilibres : Réflexions, actions et opportunités pour la promotion de l'activité physique ou sportive*, 2011 Cahiers de nutrition et de diététique 46, S36-S38

Nassif H, Brosset N, Guillaume M, Delore-Milles E, Tafflet M, Buchholz F, Toussaint JF., *Evaluation of a Randomized-Control Trial in the Management of Chronic Lower Back Pain in a French automotive industry*, 2011, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Acceptée – Sous presse

Nassif H, Sedeaud A, Abidh E, Schipman J, Tafflet M, Deschamps T, Maillet H, Ovigneur H, Desgorces FD, Toussaint JF., *The physical fitness of 31 133 French citizens between 8 and 60 years old*, soumis au Journal of Preventive Medicine

Mouraby R, Tafflet M, **Nassif H**, Toussaint JF, Desgorces FD, *Fiabilité et validation de la batterie de tests physiques Diagnoform*, 2011, Science & Sports, doi : 10.1016/j.scispo.2011.01.011

De Nazelle A, Nieuwenhuijsen MJ, Anto JM,...,**Nassif H** et al., *Improving health through policies that promote active travel: A review of evidence to support integrated health impact assessment*, 2011,766-777, Environment International

Autres publications:

Nassif H, Toussaint JF, *Se dépenser plus pour gagner en qualité de vie*. Juin 2009 GIS-IRSP

Nassif H, El Helou N, Toussaint JF, *L'influence du sport sur la longévité*, Nutrition et Endocrinologie, 2009 ; 7(43) : 291-293

Nassif H, El Helou N, Toussaint JF, *Régression de la condition physique et progression de l'obésité*, ADSP 2009 ; 63 : 18-19

Autres Publications: Epidémiologie du Sport et analyse des performances

K Schaal, M Tafflet, **H Nassif**, V Thibault, C Pichard, M Alcotte, T Guillet, N El Helou, G Berthelot, S Simon, JF Toussaint. *Psychopathology within high level sport: gender-based differences and sport-specific patterns*. *PLoS ONE*. 2011, 6(5): e19007. doi:10.1371/journal.pone.0019007

M Guillaume, S Len, M Tafflet, L Quinquis, B Montalvan, K Schaal, **H Nassif**, FD Desgorces, JF Toussaint. *Success and Decline: Top 10 tennis players follow a biphasic course*. *Med Sci Sports Exerc*. 2011; 43(10), sous presse DOI: 10.1249/MSS.0b013e31821eb533

Berthelot G, Len S, Hellard P, Tafflet M, El Helou N, Escolano S, Guillaume M, Schaal K, **Nassif H**, Desgorces FD, Toussaint JF. *Technology & Swimming: three steps beyond physiology*. *Materials Today*. Nov 2010; 13(11):46-51

Thibault V, Guillaume M, Berthelot G, El Helou N, Schaal K, Quinquis L, **Nassif H**, Tafflet M, Escolano S, Hermine O, Toussaint JF. *Women and men in sport performance: the gender gap has not evolved since 1983*. *J Sport Sci Med*. 2010;9:214-223

Berthelot G, Tafflet M, El Helou N, Len S, Escolano S, Guillaume M, **Nassif H**, Tolaïni J, Thibault V, Desgorces FD, Hermine O, Toussaint JF. *Athlete atypicality on the edge of human achievement: performances stagnate after the last peak, in 1988*. *PLoS ONE* 2010; jan 20;5(1): e8800 doi:10.1371/journal.pone.0008800

Guillaume M, El Helou N, Thibault V, **Nassif H**, Len S, Berthelot G, Tafflet M, Desgorces F, Hermine O, Toussaint JF. *Successes in Developing Nations: World Records Evolution under a Geopolitical Prism*. *PLoS ONE* 2009;4(10): e7573. doi:10.1371/journal.pone.0007573

Première Partie

Contexte Général

CHAPITRE 1

Chapitre 1 : La sédentarité et l'inactivité physique

1.1 La sédentarité

Les activités et comportements sédentaires traduisent l'air du temps et présentent des indications sur les changements sociaux que nous subissons. Elles sont définies comme des activités durant lesquelles la dépense énergétique est quasi égale au statut énergétique de repos (1,0-1,5 METs¹). Les activités sont par exemple : dormir, s'asseoir, regarder la télévision, travailler derrière un bureau, conduire et d'autres types d'activités qui ne sollicitent pas de dépense énergétique significative {Pate2008} {Proper2011} {Yates2011}. Ces dernières, tout comme les comportements sédentaires pourraient continuer d'augmenter dans les années à venir {Proper2011}. En dépit de l'importance de l'activité physique ou sportive et de la nutrition, la sédentarité se positionne comme un troisième facteur de risque capable de générer des risques sanitaires indépendamment du niveau d'activité physique ou sportif habituel et du régime alimentaire {Yates2011}. Ceci dit, l'incorporation d'une pratique régulière d'activité physique ou sportive dans la vie quotidienne ne protège pas complètement contre les effets du temps passé assis. Séparément du niveau d'activité physique, il existe en effet des associations directes entre la sédentarité et les risques de morbi-mortalité {Yates2011}. Des mesures efficaces devraient être mises en place rapidement de manière à freiner cette tendance qui menace la santé de la population sur plusieurs paramètres.

1.2 L'inactivité physique

La distinction entre la sédentarité et l'inactivité physique devrait être faite afin de bien distinguer les deux entités. En effet, l'inactivité physique et son rôle, indépendamment d'autres facteurs, sur la santé a récemment gagné en attention dans le domaine scientifique de la santé publique {Hamilton2007}.

L'inactivité physique est considérée comme un état dans lequel les mouvements sont réduits au minimum. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), elle représente la quatrième cause de mortalité de la population européenne avec une prévalence de 30 à 40%.

En revanche, la sédentarité est un comportement défini par des occupations pendant lesquelles la dépense énergétique est proche de celle du repos. Elle englobe des comportements physiquement passifs.

¹ METs (Metabolic Equivalent Task) est le rapport du coût énergétique d'une activité à la dépense énergétique de repos.

1.3 Prévalence et méthodes de mesures

Il existe, par pays, une grande variation méthodologique parmi les études et les données statistiques dans la mesure de la prévalence, de la sédentarité ou de l'inactivité physique. Les méthodes diffèrent selon les enquêtes, les analyses et les mesures de terrain ainsi que sur les échantillons représentatifs. On retrouve une différence entre les méthodes de mesures déclaratives (par exemple par des questionnaires du type IPAQ²) et les méthodes de mesures objectives qui mesurent spécifiquement l'activité physique avec des capteurs (par exemple les accéléromètres et les podomètres) {Lee2011}. Cette différence représente un des problèmes majeur associé à l'évaluation de l'activité physique, de la sédentarité ou de l'inactivité physique. La déclaration reste la méthode la plus simple et répandue dans les études de population générale, ainsi ces enquêtes devraient être interprétées avec précaution et en considérant le risque important de sous-estimation par les sujets des temps d'inactivité physique et une possible surestimation du niveau d'activité physique.

Monde : en 2004, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) identifie l'inactivité physique comme le quatrième facteur de risque de mortalité (Tableau 1.3-1). Une étude récente par {Dumith2011} qui analyse le résultat de trois études internationales issues de 76 pays décrit la prévalence mondiale de l'inactivité physique à 21%. L'analyse porte sur 300 000 individus âgés de 15 ans ou plus à travers le questionnaire IPAQ et associe la prévalence de la sédentarité au développement du pays (Figure 1.3-1)

Facteur de Risque	Morts (millions)	Pourcentage du total
1. Hypertension artérielle	7.5	12.8
2. L'usage du tabac	5.1	8.7
3. Glycémie élevée	3.4	5.8
4. Inactivité Physique	3.2	5.5
5. Surpoids et Obésité	2.8	4.8
6. Cholestérol élevé	2.6	4.5
7. Rapports sexuels non protégés	2.4	4.0
8. Consommation d'alcool	2.3	3.8
9. Insuffisance pondérale des enfants	2.2	3.8
10. Fumée de combustibles solides	2.0	3.3

Tableau 1.3-1 Facteur de risque et mortalité Mondiale Source OMS

² IPAQ (International Physical Activity Questionnaire) questionnaire qui évalue le niveau de pratique d'activité physique.

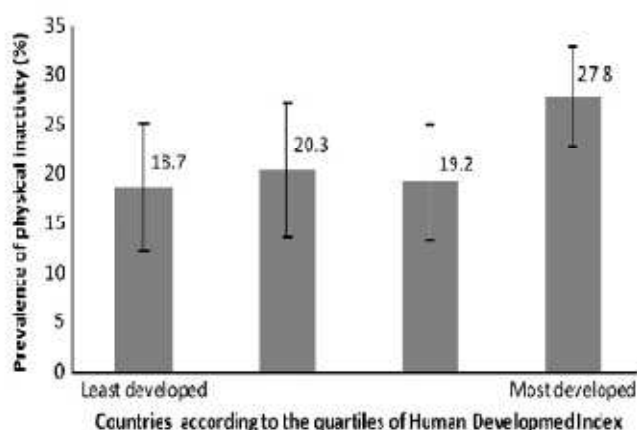


Figure 1.3-1 Prévalence de l'inactivité physique (en %) par rapport au développement d'un Pays dans le monde. Source Dumith et al 2011.

Europe : en 2002, deux tiers de la population de l'union européenne n'ont pas atteint les niveaux de recommandations d'activité physique de 30min/jour (World Health, 2006). La sédentarité est responsable de 600 000 décès/an dans la région européenne.

Etats-Unis : en 2004, on estime que 60% de la population ne participe pas à une activité physique régulière bénéfique pour la santé et 25% sont sédentaires {Stein2004}. En 2008, les statistiques montrent que 36% de la population générale est sédentaire {Pleis_JR2009}.

Canada : suite à une étude de mesure précise avec accéléromètre sur un échantillon représentatif de la population, les résultats montrent que les adultes passent 69% de leur temps dans des activités sédentaires durant la journée {Colley2011}.

France : d'après les enquêtes du Baromètre Santé 2005, on estime que 54% de la population française ne parvient pas à se maintenir au niveau minimum d'activité physique journalière recommandé.

Malgré les limites méthodologiques de comparaison entre les différentes méthodes de mesures et la variabilité des questions posées, nous constatons une haute prévalence de la sédentarité et de l'inactivité physique dans le monde entier. Ainsi, le développement d'outils efficaces de mesure et de méthodes qui limitent l'inactivité physique est un nouveau défi qui devrait être impérativement incorporé dans les stratégies de promotion d'activité physique ou sportive.

Par ailleurs, la nécessité d'étudier et de quantifier les comportements sédentaires a fait l'objet d'une étude récente par Chastin et Granat {Chastin2010}, ils ont développé une nouvelle

méthode générique afin d'analyser et de quantifier les séquences 'patterns' des comportements sédentaires dans le but d'explorer les modifications des séquences par rapport aux occupations. Les résultats révèlent des accumulations de patterns de sédentarité (par attribution posturale position assise ou couché) différentes entre les groupes avec une occupation active et les groupes avec une occupation sédentaire. Les personnes dans le groupe actif avaient une tendance générale de diviser le temps de sédentarité, tandis que les autres groupes accumulaient leurs temps de sédentarité. Cependant, on ne retrouve pas de différence significative dans le temps total de sédentarité par jour qui est estimé à une moyenne de 75% du temps quotidien (en incluant le sommeil dans le comptage).

1.4 Effets et Risques

La problématique sous-jacente, des effets et des risques sanitaires de la sédentarité remonte à 1953 avec une étude scientifique de {MORRIS1953}. Ces découvertes sont à l'origine du débat actuel entre l'effet du niveau d'activité physique et de la condition physique sur la mortalité. La première relation mise en évidence est le lien entre la survenue de maladies cardiaques et l'inactivité physique chez des sujets adultes.

Sanitaire

Dans un article récent par {Proper2011} qui résume les résultats de 19 études sur les effets de l'inactivité physique sur des paramètres de santé (poids corporel, diabète type 2, risque cardiovasculaire et mortalité) à l'âge adulte, on constate une relation forte entre le temps d'inactivité physique et la mortalité. De plus, il existe des preuves jugées modérées d'une relation indépendante entre le temps de sédentarité et la survenue du diabète type 2. En effet, de longues heures de sédentarité diminuent l'action de l'insuline et augmenteraient le risque de survenue du diabète type 2, même chez des sujets sains {Bergouignan2008} {Stephens2011}. Etre assis pendant au moins 6 heures par jour est associé à un risque de mortalité majoré de 34% chez les femmes et de 17% chez les hommes. De plus, l'effet néfaste d'une pratique insuffisante d'activité physique ou sportive quotidienne augmente le risque de mortalité d'environ 50% {Patel2010}. Cet effet cumulatif, entre le risque d'augmentation de la mortalité due à la position assise et l'incapacité d'atteindre les recommandations d'activité physique, constitue un défi du siècle.

Une étude récente Australienne a mesurée le temps passé devant la télévision et a estimée la relation avec la mortalité. Cette étude montre que les personnes qui passent plus de 6h/jour devant les écrans peuvent vivre en moyenne 4.8 année de moins que les personnes qui s'en abstiennent. Les auteurs estiment que chaque heure devant la télévision après l'âge de 25 ans diminue l'espérance de vie de 22 minutes {Veerman2011}.

Enfin, parmi les effets négatifs de la sédentarité sur la santé, l'OMS estime que 21 à 25 % des cancers du sein et du colon, 27% des cas du diabète et 30 % des maladies cardiaques ischémiques sont dus à la sédentarité.

Coût Economique

Cette forte augmentation des maladies chroniques dans les pays développés et dans les pays en développement a un coût économique assez pesant sur le système sanitaire et sur les gouvernements. Les conséquences des maladies chroniques et le prix du traitement sur une large partie de la population constituent une problématique d'actualité qui ne fera que croître à l'avenir. Plus particulièrement, les pays à faible revenu et en développement font maintenant face à la double charge de l'augmentation des maladies non-transmissibles avec l'industrialisation et la modernisation d'une part, tout en combattant encore les maladies transmissibles d'autre part {Organisation Mondiale de la Santé}.

Epigénétiques: l'influence de l'environnement sur la diversité du vivant.

Les données sur la physiologie de l'inactivité physique et sur l'effet épigénétique sont encore peu étudiées. Des études novatrices montrent que notre mode de vie affecte l'état de nos gènes sans changer la séquence de l'ADN mais en modifiant son expression. Cette branche prometteuse ouvre de nouvelles perspectives sur l'importance des habitudes saines dans la transmission des impacts environnementaux entre les générations et notamment le rôle des effets positifs de l'activité physique sur l'activation ou la désactivation de certains gènes protecteurs contre l'obésité et les maladies chroniques {Nise2010}. Cette discipline pionnière mais prometteuse pourrait compléter les preuves de l'efficacité des recommandations sur le court terme mais aussi sur le long terme. Elle pourrait même être considérée comme une nouvelle approche de conviction en matière de santé publique puisqu'elle attribue encore plus de pouvoir à l'importance des stratégies de lutte contre la sédentarité. Malgré certaines prédispositions génétiques vis à vis de maladies chroniques ou du surpoids, elle nous indique qu'il est possible d'influencer l'expression de nos gènes pour une meilleure santé.

Ces découvertes ont des répercussions fortes sur le rôle d'un environnement favorable durant la vie. Une activité physique régulière s'avère capable de modifier significativement l'expression d'une grande proportion de nos gènes avec un effet bénéfique. En contre partie, l'effet de l'inactivité physique sur l'expression génique pourrait démontrer les déséquilibres de nos modes de vie, de moins en moins adaptés à notre génome.

1.5 L'adoption de la sédentarité et de l'inactivité physique dans nos modes de vies

Le problème de la sédentarité en population générale débute avec les changements de comportement observé après la révolution industrielle. En outre, l'augmentation de l'offre technologique, qui facilite de nombreuses tâches et diminue notre dépense énergétique tout en augmentant notre performance, a offert des options attractives de mode de vie qui encouragent indirectement la sédentarité {Eaton2003} {O'Keefe2010} {Walker2003}. L'accumulation des maladies chroniques causées par ces modifications nous amène à comprendre les causes et les origines de ce problème. Il est convenu de mentionner l'avancement de ces innovations technologiques (Tableau 1.5-1).

Équipement	2004	2008
Voiture	79,5%	81,2%
Ordinateur portable	44,7%	62,8%
Internet	30,5%	54,7%
Télévision	95,4%	97,1%

Tableau 1.5-1 Augmentation des équipements (Voiture, Ordinateur portable, Internet et Télévision) en France entre 2004 et 2008 (tout type de ménage : personnes seules, famille monoparentale, Couples sans enfants, Couples avec au moins un enfant, Autre type de ménage...). Source : Insee, SRCV-SILC 2004-2008

L'espèce humaine ayant survécu grâce à ses capacités physiques et intellectuelles fait face à un dilemme spécifique: L'immobilité. Notre constitution physiologique nous a permis de nous déplacer, de découvrir de nouveaux territoires, des ressources alimentaires et des refuges de sécurité. La sédentarité entreprend son accélération depuis 100 ans, et est considérée comme un nouveau défi de santé publique à l'opposé de la nutrition qui a toujours été une préoccupation des sociétés. Les deux volets devraient être traités au même niveau afin de privilégier la santé à travers une balance énergétique appropriée. Comme le remarque les auteurs de plusieurs études, la nutrition et l'activité physique sont intimement reliées et ne peuvent être traités séparément {Morabia2009}.

CHAPITRE 2

Chapitre 2: L'Activité Physique ou Sportive

L'activité physique est définie comme tout mouvement corporel qui augmente les battements du cœur par rapport à l'état de repos {O'Donovan2010}. Elle est une fonction basique de notre constitution et de notre capacité de survie. De nos jours, l'activité physique n'est plus essentielle pour nos déplacements ou pour rechercher la nourriture. Avec les avancements technologiques des derniers siècles, l'être humain a su augmenter son rendement énergétique grâce à la mécanisation et diminuer la dépense énergétique corporelle en utilisant de multiples sources d'énergies. Ces innovations ont certes augmenté nos performances et ont ouvert des marchés et des bénéfices économiques et sociaux. Néanmoins, avec le temps, ce déséquilibre énergétique entre notre constitution génétique favorable au mouvement corporel régulier et nos réalisations de rendement économique, transport et industriel, nous amène à un état défavorable à notre santé et à notre environnement. Nous avons encouragé implicitement la sédentarité {Eaton2003}. L'offre d'activité physique ou sportive est une solution efficace et durable dans le traitement et la prévention de plusieurs maladies chroniques. Les arguments scientifiques théoriques et pratiques dans ce domaine sont en pleine expansion {Brownson2006}. Une compréhension approfondie du comportement sédentaire et du passage à l'acte d'une pratique régulière d'activité physique ou sportive est désormais indispensable afin de démasquer les mécanismes de changements de comportements et mettre en avant les leviers primaires sur lesquels les méthodes de prévention et les politiques publiques pourraient être appliquées.

La section suivante est consacrée à une brève revue de la littérature à propos de la pratique d'activité physique ou sportive, des méthodes de mesures et des effets sur la santé.

2.1. Evolution

L'espèce humaine a utilisé ses capacités intellectuelles pour augmenter ses performances avec un gain de temps considérable (optimisation du rendement) et diminuer l'effort physique de ses tâches quotidiennes. Jamais l'être humain n'a eu autant de possibilités d'amener la nourriture à lui avec un si faible coût énergétique {O'Keefe2010}. Nos ancêtres, chasseurs-cueilleurs, pesaient moins que nous mais parcouraient 10 à 16 km de plus chaque jour (Tableau 2.1-1). Malgré les avantages et l'innovation dans ce domaine, les répercussions sanitaires négatives dépassent maintenant l'intérêt initial de ces performances. Le manque d'activité physique ou sportive dans nos vies quotidiennes devient un problème de santé publique dans le monde

entier. Nos modes de vies actuels ne suivent plus les processus évolutifs naturels. Des découvertes récentes renforcent cette hypothèse puisqu'il a été démontré que l'activité physique modifie significativement l'expression d'une grande proportion de nos gènes. Ceci explique la forte corrélation entre la dépense énergétique, la condition physique, et une bonne santé {Bryan2011} {Holtermann2011} {Szostak2011} {Walker2003}.

Species	Sex	Weight kg	RMR kcal	TEE kcal	Ratio (TEE/RMR)	EE PA kcal	Day Range km
Fossil hominids							
<i>Homo habilis</i>		48.0	1404	2387	1.70	983	
<i>Homo erectus</i>		53.0	1517	2731	1.80	1214	
<i>Homo sapiens (early)</i>		57.0	1605	2880	1.80	1284	
Modern hunter-gatherers							
Kung	M	46.0	1275	2178	1.71	903	10 ←
	F	41.0	1170	1770	1.51	600	8
Ache	M	59.6	1549	3327	2.15	1778	16 ←
Acculturated modern humans							
<i>Homo sapiens</i>	M	70.0	1694	2000	1.18	306	2.4 ←
(office worker)*	F	55.0	1448	1679	1.16	231	2.4
<i>Homo sapiens</i> (runner)†	M	70.0	1694	2888	1.70	1194	11

Tableau 2.1-1 Estimation du poids corporel, de la dépense énergétique et des kilomètres parcourus quotidiennement par les différents membres de l'espèce humaine. RMR (Resting Metabolic Rate), TEE (Total Energy Expenditure) Source: {O'Keefe2010}.

2.2. Prévalence

Les statistiques sur la prévalence de l'activité physique ou sportive varient d'une source à l'autre, car les critères de mesures utilisés dans les enquêtes ne sont pas toujours les mêmes. Certains chercheurs se fondent sur le temps de pratique journalier, d'autres sur l'intensité et la durée. Depuis 15 ans, dans les enquêtes du baromètre santé français {Inpes2008}, la liste des questions posées en relation avec l'activité physique varient entre 2 à 5 pour les années 1995/96, 6 pour l'an 2000, 25 en 2005 et 39 en 2008. Clairement, l'investissement dans la mesure de la prévalence en population française augmente.

En 2008, la moitié des français (50,6%) (Âgés de 15 à 75 ans) déclare pratiquer une activité physique pendant leurs loisirs, 55,7% durant leurs déplacements et 57,7% sur leurs lieu de travail {Inpes2008}. La représentation de la pratique d'activité physique entre hommes et femmes révèle un pourcentage plus élevé en faveur des hommes pendant les activités de loisirs, du travail et durant les déplacements.

Par exemple, le temps moyen d'activité physique par jour pour les hommes durant le travail varie entre 78 minutes (pour les 65-75 ans) et 157 minutes (pour les 26-34 ans). Pour les femmes le temps moyen d'activité physique par jour au travail varie de 68 minutes (pour les 15-25 ans et les 65-75 ans) et 101 minutes (pour les 35-44 ans).

Les premiers résultats de l'enquête 2010 sur les pratiques physiques ou sportives en France révèlent que 89% des personnes âgées de 15 ans et plus ont déclaré pratiquer au moins une activité physique ou sportive au cours des 12 derniers mois.

2.3. Mesure qualitative ou quantitative de l'activité physique ou sportive

La mesure de l'activité physique est faite à travers plusieurs méthodes et avec différents outils (Tableau 2.3-1). Chaque outil varie en fonction de la spécificité et de son mode d'application. Dans le tableau suivant nous résumons les instruments les plus utilisés dans le domaine de l'évaluation de l'activité physique ou sportive {DOS_SANTOS2009} {INSERM2008} {Guelec2009} {TESSIER, 2008}.

Le questionnaire demeure l'instrument le plus utilisés dans les études épidémiologiques avec des grands échantillons du fait qu'il est simple, pratique et efficace. Avant l'utilisation d'un questionnaire il faut bien vérifier sa validation en fonction de la cible étudiée. L'IPAQ (International Physical Activity Questionnaire) est un outil validé, traduit en plusieurs langues et adapté à la population générale. Son utilisation est largement connue par les experts en matière d'évaluation de l'activité physique.

Mesure de l'Activité physique ou sportive	Mesure de la dépense énergétique
Définition et but: recueille les différentes caractéristiques de l'activité physique afin d'extrapoler la dépense énergétique. Indicateurs: temps, score, niveau. Méthodes de mesure: observation, journal log, rappel d'activité, actimétrie (podomètre, accéléromètre).	Définition: mesure la dépense énergétique spécifique expérimentalement. Unités: Kilocalories, Kilojoules, METs. Méthodes: Calorimétrie indirecte (eau doublement marquée, consommation d'O₂, échanges gazeux, VO₂) et fréquence cardiaque.

Tableau 2.3-1 Différentes méthodes de mesures de l'activité physique, Source : Expertise Inserm 2008

2.4. Effets de l'activité physique ou sportive sur les paramètres de santé

Les effets de l'activité physique ou sportive se répercutent sur la mortalité, la qualité de vie, le système cardiovasculaire, respiratoire, immunitaire, neuronal, métabolique, musculaire, osseux et certains types de cancer. En 2008, la publication de l'expertise d'INSERM << Activité physique contexte et effets sur la santé >>, qui résume les études en matière de preuve des effets de l'activité physique ou sportive sur différents systèmes physiologiques ou fonctionnels du corps {INSERM2008} est étoffée d'études et de réflexions sur ce sujet.

Mortalité

Les premières études qui décrivent un effet positif de l'activité physique sur la santé traitent des données de mortalité et datent des années 1800. Actuellement, plusieurs études épidémiologiques longitudinales ont mis en évidence une corrélation entre le niveau d'activité physique ou sportive et la survenue de la mortalité. En outre, l'activité physique réduit la mortalité prématurée de 2 à 58 % selon la méthodologie des études, le niveau, la population et le type d'exercice. La tendance des résultats de plusieurs études révèle une relation inverse entre le niveau d'activité physique ou sportive modérée ou élevée et la mortalité. Cependant, les seuils et les doses appropriés ne sont pas encore bien explorés. Les études proposent des recommandations différentes. {Paffenbarger1994} proposent 15 km ou 55 étages par semaine pour une diminution du risque relatif (RR^3) de 0,67 à 0,75 respectivement. {Kesaniemi2001} proposent une dépense énergétique hebdomadaire d'un équivalent de 1000 kcal pour une réduction de la mortalité de 30%, tandis que {Oguma2002} proposent un seuil de dépense de 1680 kcal par semaine pour infléchir la mortalité chez les femmes. En 2011, l'étude par {Wen2011} montrent que les personnes qui pratiquent une activité physique modérée de 15 min par jour diminuent leur risque de mortalité de 14% (toutes cause confondues) et avaient une espérance de vie de 3 ans de plus, en moyenne, par rapport aux inactifs.

Plus particulièrement, la mortalité par maladie cardiovasculaire est réduite de 23 à 42% suite à la pratique d'une activité physique d'intensité élevée et d'environ 18 % suite à une pratique d'activité physique modérée (marche 30 min). Un adulte sédentaire diminuera son risque de mortalité, par maladie cardiovasculaire de 36 % et de 64 % de la mortalité toutes causes après une reprise d'activité physique modérée quotidienne. En ce qui concerne la mortalité par

³ RR : Risque Relatif : mesure le risque de survenue d'un événement entre deux groupes

cancer, une pratique d'activité physique d'intensité élevée ou modérée diminue le risque relatif de 0,87.

2.5. Changement de comportement

Les stratégies de promotion d'activité physique ont comme objectif d'augmenter la pratique dans la population générale {O'Donovan2010}. Elles reposent sur deux principaux déterminants : la motivation individuelle et l'aspect environnemental avec des aménagements incitatifs (Expertise Inserm 2008). Ces deux facteurs sont généralement appréhendés de manière séparée, une approche intégrative les regroupant est à privilégier. Ainsi, les personnes sédentaires sont invitées à changer leur comportement en appliquant les recommandations de 150 minutes par semaine d'activité physique modérée ou 90 minutes d'activité physique intense. Mais, tous ne sont pas égaux face à ces recommandations. Les différences individuelles sont multiples et complexes. On cite, les facteurs génétiques, la réponse physiologique à l'exercice, la motivation et la douleur ou le plaisir perçus suite à la pratique d'une activité physique. En plus des facteurs culturels, environnementaux et sociaux jouent aussi un rôle important dans la prédisposition au changement et à la favorisation des activités physiques ou sportives {Bryan2011} (Figure2.5-1). Les raisons invoquées à la non-pratique en France {Inpes2008} sont le manque de temps (45,7%), le fait de ne pas aimer le sport (22,3%), pour des raisons de santé (17,9%), l'âge (7,6%) et les contraintes professionnelles (4,2%). Prenant en considération les différents aspects, il s'avère nécessaire de cibler les stratégies en fonction de la prédisposition des individus à changer de comportement {Brown2011} {Bryan2011}.

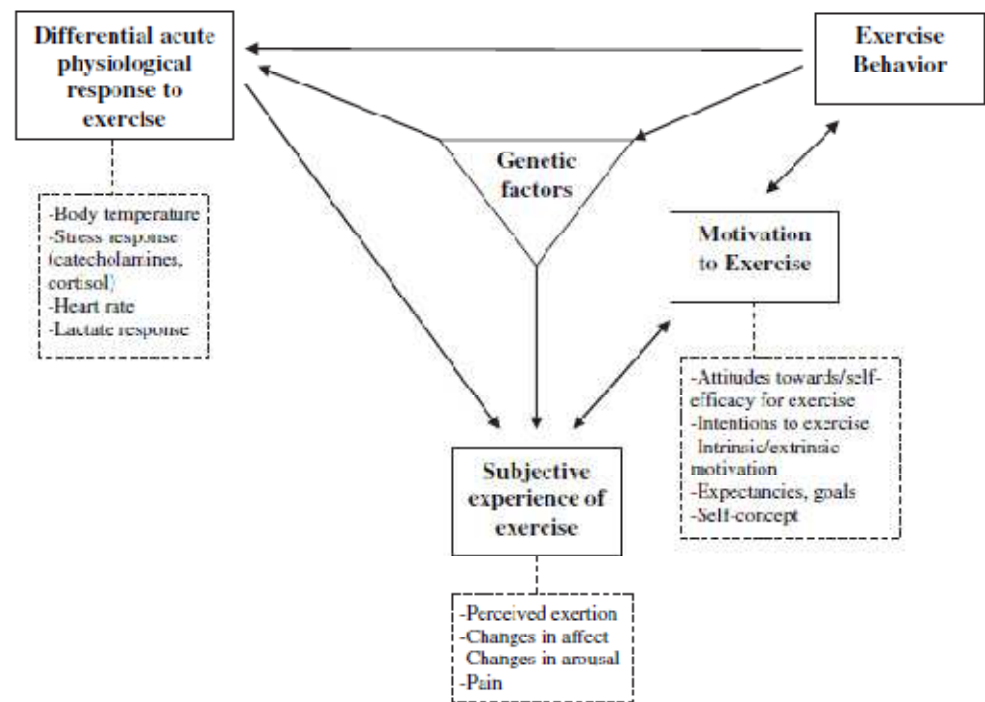


Figure 2.5-1 Modèle transdisciplinaire du comportement d'activité physique ou sportive par {Bryan2011}.

CHAPITRE 3

Chapitre 3: Les stratégies et l'évaluation

Cette partie de la thèse traite des différents types de stratégies et d'intervention pour la promotion de l'activité physique. L'objectif est (1) de résumer l'état des lieux de cette discipline et (2) d'expliquer les méthodologies de mise en œuvre et les avancements notés.

3.1. Définition

La stratégie est l'art de diriger et de coordonner des actions pour atteindre un objectif précis. Au niveau opérationnel, elle se traduit en plans d'actions par domaines et par périodes, y compris éventuellement des plans alternatifs utilisables en cas d'événements changeant fortement la situation. L'établissement d'une stratégie exige, d'une part, l'estimation des probabilités de réalisation des éventualités susceptibles d'être retenues et d'autre part, l'adoption d'une règle ou d'un indicateur de préférence permettant de classer les résultats escomptés par la mise en œuvre de différents scénarios⁴.

3.2. Prévention

La prévention est souvent caractérisée comme une solution peu coûteuse, pratique et applicable à une grande partie de la population {Flay1986}. La Charte d'Ottawa de 1986 est considérée comme un moment important de la promotion de la santé à l'échelle mondiale. Cette charte définit les domaines d'action en stratégie de promotion de santé: la politique publique, la création d'environnement favorable, le renforcement par les actions communautaires et le développement des compétences personnelles. Les mêmes principes sont applicables dans la promotion de l'activité physique mais l'effet espéré n'est pas toujours atteint. Pour l'instant, les études d'évaluation ont montré que les stratégies de préventions classifiées comme efficace (en termes de QALYS⁵) sont la vaccination des nourrissons ou le dépistage du cancer du colon chez les hommes.

⁴ Rapport 'La stratégie Nationale De Développement Durable 2009-2013, <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/104000065/0000.pdf>

⁵ QALYS : Quality adjusted life years / Années de vie ajustée sur la qualité : outil utilisé dans les analyses coût-utilité. Il mesure le nombre d'années de vie gagné par une intervention ajustée sur la valeur donnée à ces années.

3.3. La prévention par l'activité physique

Qu'en est-il de la prévention par l'activité physique? Durant nos travaux nous nous sommes posés les questions suivantes : les stratégies de communication d'augmentation de l'activité physique, sont-elles ciblées et adaptées à la population ? Les stratégies, sont-elles développées sur la base d'un caractère incitatif de haute efficacité ? Est-ce que les résultats obtenus sont à la hauteur des objectifs attendus ? Quelle est la population optimale d'intervention pour une meilleure prévention primaire avec un rapport coût / efficacité favorable?

Les chercheurs dans le domaine de l'activité physique sont en accord sur le fait qu'une meilleure compréhension de la population cible est un préalable pour toute action de promotion {Marcus2006}. Cependant, à ce jour, comprenons-nous vraiment les raisons d'un mode de vie sédentaire? Les problématiques des stratégies de communication standardisées et généralisées font l'hypothèse que la personne sédentaire fera le choix de marcher plus ou de pratiquer une activité physique régulière simplement par le fait d'avoir toutes les informations nécessaires des bénéfices sanitaires de l'activité physique et des effets nocifs de la sédentarité. Mais la vérité scientifique est loin d'en faire la démonstration {King2001}. L'information n'est pas suffisante pour entraîner un changement de comportement persistant {Vuori2004}. Par exemple la Figure 3.3-1 représente la poursuite oculaire durant le passage d'un message de promotion de santé à la télévision. Le passage à l'acte suite à une stratégie d'information ne va pas de soi et pourrait même avoir un effet négatif dans les populations à risques. Elle engendrera une deuxième problématique qui pourrait résulter en une augmentation de l'inégalité de santé. Une revue récente qui analyse les interventions de promotion d'activité physique {Foster2005} indique que des conseils professionnels avec un soutien continu peuvent encourager les gens à être plus actifs physiquement, à court et à moyen terme. Cependant, davantage de recherches sont nécessaires pour établir les meilleures méthodes au long terme.

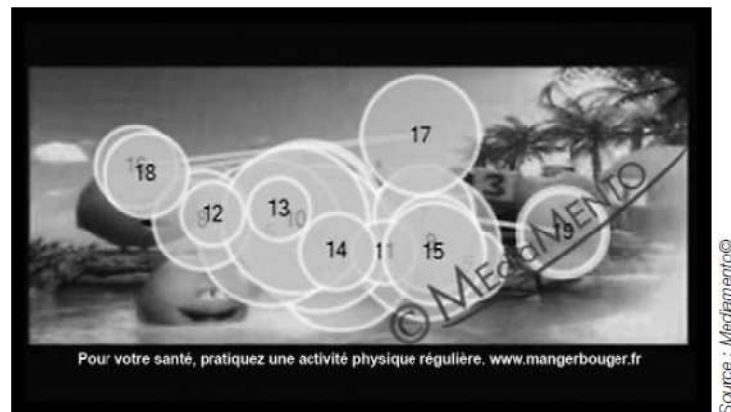


Figure 3.3-1 poursuite oculaire durant le passage du message 'pour votre santé pratiquez une activité physique régulière' www.mangerbouger.fr. Chaque cercle représente l'endroit où un sujet testé porte son attention visuelle. Les numéros dans les cercles représentent l'ordre de fixation et les diamètres représentent la durée de fixation. Dans l'exemple suivant le bandeau sanitaire ne fait partie d'aucune poursuite oculaire.

Efficacité

L'intervention de promotion d'activité physique pourrait être efficace en fonction de deux déterminants. Le premier est la motivation individuelle et les facteurs interpersonnels. Le deuxième déterminant est lié à l'environnement social et physique qui facilite la participation aux activités physiques ou sportives {Beets2009} {Simon2011}. D'après l'Union Européenne, les critères qui rendent l'application d'une intervention plus efficaces sont : la présence d'un objectif concret à atteindre, des groupes ciblés, des critères d'analyses fiables, des échéances, des personnes responsables de la mise en œuvre, un soutien législatif, les ressources adéquates, un environnement politique favorable avec un soutien et une surveillance.

{Kahn2002} prennent en considération différents types d'intervention de promotion d'activité physique et s'intéressent à évaluer leur efficacités et leurs champs de compétences. Cette étude rassemble les lignes directrices d'actions et de mise en place des interventions efficaces dans différents milieux. Les approches de promotion d'activité physique efficaces sont: informationnelles, comportementaux, sociaux, environnementaux et politiques. La méthode écologique à plusieurs niveaux qui est souvent utile durant la mise en œuvre des interventions d'amélioration de santé des populations {Brownson2010} est constituée de 4 niveaux qui englobent les facteurs clefs cités et offre une perspective d'interdépendance entre différents composants: (1) facteur interpersonnel biologique, et psychologique (potentiel physique,

génétique et capacité personnelle), (2) facteur culturel et social, (3) facteur environnemental et physique et (4) facteur politique. Le tableau 3.3.1 résume les interventions qui se sont prouvées efficaces et les interventions qui ne sont pas encore prouvées comme étant efficaces.

Interventions d'efficacité prouvée	Interventions d'efficacité non encore prouvée
Campagnes au niveau communautaires Panneaux qui encouragent l'usage des escaliers	Publicité, Radio, Panneaux, Message télé
Changement de comportement individuel Soutien par l'entourage et l'environnement social	Education à la santé à l'école et support par la famille
Accès aux sites d'activité physique Information sur l'accès et les équipements	Actions qui facilitent l'utilisation du vélo, transports en commun et zones piétonnes

Tableau 3.3-1 Classification des interventions en fonction de leur efficacité Source : Expertise Inserm et Kahn et al 2002

3.4. L'évaluation

En raison de l'accroissement non négligeable des maladies chroniques et des facteurs de risques modifiables tels que la sédentarité, l'évaluation des interventions de promotion d'activité physique constitue un facteur stratégique durant la prise de décision {Magnusson2009} ainsi que le soulignait déjà le rapport du Secrétariat à l'Assemblée mondiale de la Santé sur la lutte contre les maladies non-transmissibles en 2008. Les outils servant à l'évaluation sont nombreux et varient en efficacité. Leurs résultats doivent être analysés avec pertinence compte tenu des relations complexes entre activité et des facteurs tels que la socio démographie, la génétique ou l'environnement. Le choix de l'outil est nécessaire en fonction des objectifs souhaités surtout dans la mesure de l'activité physique {Oppert2004}. Le but est de comprendre les procédures de changement suite à une intervention afin par la suite d'améliorer la prise en charge et augmenter l'efficacité {Contandriopoulos1993}.

Les études d'évaluations d'interventions dans le domaine de l'activité physique ont mis en évidence le rôle essentiel d'une appréciation constante avec la mise en place d'un système de collecte de données en continue {Cochrane,Collaboration} {Estrabrooks2003}. Une bonne définition des facteurs à évaluer et l'utilisation de multiples outils est nécessaire afin de constituer une appréciation globale et complète {Kelly2006} {Potvin1994}.

3.5. Evaluation de l'impact sanitaire

L'appel aux outils d'évaluation des impacts sanitaires augmente depuis 20 ans et l'application sur les interventions de promotion d'activité physique demeure encore à un stade qui nécessite encore des approfondissements. L'importance et le rôle de l'évaluation de l'impact sanitaire sont bien appréhendés dans le domaine de prévention et de santé publique {Contandriopoulos1993}.

Chaque individu dispose d'un capital santé qui selon Intignano {d'_Intignano2001} est composé de cinq composantes : la génétique, le hasard, l'environnement, le comportement individuel et le système de soin. La santé est définie comme étant un état de complet bien-être physique, mental et social {OMS2000}.

L'évaluation de l'impact sanitaire est une sous-discipline de l'évaluation d'impact qui utilise diverses méthodes qualitatives ou quantitatives pour juger l'impact des politiques, programmes, plans et projets sur la santé de la population. Récemment, différentes formes d'évaluation

d'impact sanitaire peuvent être observées : (1) forme qui aide à la décision (2) forme de sensibilisation et (3) forme communautaire {Harris-Roxas2011}.

3.6. Indicateurs

Afin de mettre en évidence l'efficacité d'une intervention, les indicateurs de résultat, à court terme, en matière d'exercice physique proposés par l'OMS sont: le pourcentage de la population connaissant les bienfaits de la pratique d'activité physique ou sportive pour la santé et le pourcentage de la population qui se souviennent des messages véhiculés par les campagnes. A moyen terme, les indicateurs sont (1) le pourcentage d'adultes en surpoids ou obèses, (2) le pourcentage de personnes présentant une hypertension artérielle, (3) le pourcentage de personnes avec une hypercholestérolémie, (4) le pourcentage d'adultes faisant peu d'exercices physiques, (5) le pourcentage d'enfants faisant au moins 60 min d'exercices physiques. D'autres indicateurs à moyen terme sont le pourcentage de personnes qui pratiquent 10 min de marche ou de vélo durant le trajet domicile-travail et le pourcentage d'enfants qui se rendent à l'école dans des transports actifs. Sur le long terme, les indicateurs sont: la prévalence du surpoids, de l'obésité et la morbi- mortalité par cause.

D'après les lignes d'actions recommandées par l'Union Européenne, les indicateurs qui sont jugés importants pour fournir des renseignements à propos de la mise en œuvre et du processus des stratégies sont : (1) le pourcentage de personnes qui respectent les recommandations, (2) le niveau de forme physique et (3) les informations intéressantes de notre vie quotidienne qui peuvent refléter un changement de comportement en faveur ou pas d'une mode de vie actif tels que: le nombre de voitures par foyer, le nombre d'ordinateurs personnels, le nombre d'inscriptions et de fréquentation des clubs sportifs.

Outils

Les outils d'estimations quantitatives aident à caractériser l'ampleur et donc l'importance des impacts sanitaires potentiels. Ils recoupent des informations telles que le poids, l'IMC, le tour de taille, la condition physique, le taux de masse grasse, mais également des données appréhendées à partir de *capteurs: podomètre, accéléromètre, moniteur de fréquence cardiaque.*

Les outils qui mesurent les indicateurs démographiques tels que l'espérance de vie, le taux de mortalité, et les années potentielles de vie perdues sont important dans l'évaluation à long

terme. Les outils d'estimations qualitatives comme les questionnaires déclaratifs et les observations aident dans les mesures de prévalence et de suivi {Mindell2008}.

L'OMS a fourni un document en 2009 afin d'évaluer la mise en œuvre de la stratégie mondiale pour l'alimentation, l'exercice physique et la santé. Les indicateurs proposés rejoignent les lignes d'actions de l'Union Européenne. Nous résumons des types d'interventions avec leurs méthodes d'évaluations dans le Tableau 3.6-1.

Type d'interventions	Méthodes d'évaluations et indicateur de suivi
Campagne Communautaire Intervention en milieu scolaire Changement environnemental	1. Mesure de la prévalence de la sédentarité en population générale 2. Mesure du taux de pratique d'activité physique ou sportive Outils: Questionnaires validés et des mesures de terrain (temps passé durant des activités sédentaires ou des activités de mouvements).
Point de décisions	3. Pourcentage d'utilisateurs des escaliers Outils : Observation ou compteur

Tableau 3.6-1 Différents types d'interventions de promotion d'activité physique et d'évaluations

CHAPITRE 4

Chapitre 4: La Condition Physique

4.1. Définition

Il existe plusieurs définitions de la condition physique, cependant, la définition consensuelle internationale est la capacité à accomplir les tâches quotidiennes avec vigueur et promptitude, sans fatigue excessive et avec suffisamment d'énergie en réserve pour jouir pleinement du temps consacré aux loisirs et rencontrer les situations d'urgence (President's Council on Physical Fitness and Sports, 2000). Elle est aussi décrite en tant qu'indicateur qui reflète la capacité aérobie maximale, ajustée à l'âge et à la composition corporelle {Erikssen2001} {Ortega2008}. L'aptitude physique est la capacité globale à réaliser une activité physique en fonction des capacités cardiorespiratoires, ostéo-musculaire et psychologique.

Les composantes de la condition physique sont: la composition corporelle (IMC, plis cutanés, bio impédance), l'aptitude cardiorespiratoire (endurance), l'aptitude musculaire et neuromusculaire (force, vitesse et souplesse).

Les tests de mesure de condition physique sont particulièrement développés pour les enfants et les adolescents {Andreasi2010} {Paalanne2009} {Rizzo2007}. Un certain nombre d'études ciblent la mesure de la condition physique des personnes âgées mais rares sont les études qui mesurent la condition physique des adultes. La mise en place, d'une mesure fiable de la condition physique en population générale pourrait être un point pertinent à étudier, qui permettrait de refléter les phases de progression et régression en termes d'adaptation physique et de modes de vies. Plusieurs facteurs sont responsables des différences interindividuelles de performance et de condition physique. On note en particulier, des prédispositions liées à la génétiques, à l'âge ou encore à la pratique régulière d'activité physique ou sportive {van_der_Aa2010}.

4.2. Relation entre la condition physique et les paramètres de santé

La santé est définie comme « un état de complet bien-être physique, mental et social et ne consiste pas seulement à une absence de maladie ou d'infirmité (OMS, 1946). Un nombre important d'études reflète le lien direct entre la condition physique, l'activité physique et certaines maladies chroniques, comme le diabète de type 2 {Dela1992} {Dube2007} et les maladies cardiovasculaires {Lakoski2011} {Kohl_2001}. Ces relations se traduisent par un effet visible sur la morbidité et la mortalité d'une population {Kampert1996}. Par ailleurs, il a été

montré qu'un mode de vie sédentaire entraîne une diminution de notre masse maigre et une perte de force musculaire {Paalanne2009}.

Les auteurs d'une étude récente {Hainer2009} montrent que l'amélioration de la condition physique cardio-respiratoire diminue la mortalité et la morbidité chez les sujets obèses. D'autre part, il a été montré qu'un individu peut diminuer les effets négatifs liés à l'obésité en améliorant sa condition physique et cardio-respiratoire {McAuley2011}. Ces données scientifiques renforcent l'importance d'une bonne condition physique dans la prévention des maladies chroniques {Sawada2010} et dans la lutte contre un mode de vie sédentaire.

Condition physique et qualité de vie

Une étude récente par {Hamer2010}, évalue le lien entre la qualité de vie, l'activité physique et la condition physique. Les mesures d'activité physique et de condition physique sont objectives. La corrélation entre la qualité de vie perçue et la condition physique est en faveur des personnes physiquement actives.

Condition physique et mortalité

On observe des effets de type dose-réponse entre la condition physique, l'activité physique et la mortalité. Une faible condition physique est fortement corrélée à un risque élevée de mortalité {Blair2009}. C'est une faible condition cardiorespiratoire qui a la plus forte corrélation avec la survenue des maladies cardiovasculaires {Hasselstrøm2002} et la démence {Liu2011}.

Plusieurs facteurs physiologiques, tels que l'augmentation du tissu musculaire et une bonne fonction cardiorespiratoire contribuent à la diminution de l'hypertension artérielle et des maladies cardiovasculaires {Dunn1997} ainsi qu'une meilleure sensibilité à l'insuline {Berger1979} et une meilleure immunité {Shinkai1997}. Certains de ces facteurs physiologiques impactent sur le métabolisme, les radicaux libres, le transport d'oxygène et son utilisation par le métabolisme oxydatif mitochondrial, l'inflammation systémique de bas grade au cours de l'obésité ou l'utilisation du glucose. Le gain sur ces mécanismes semble donc jouer un rôle sur la diminution de co-morbidités liées à l'âge produisant ainsi une diminution de la mortalité et une augmentation d'espérance de vie chez les personnes avec une meilleure condition physique.

La condition physique chez les enfants et les adolescents

L'activité physique améliore les aptitudes physiques et musculaires chez l'enfant, tout en diminuant la masse grasse et les facteurs de risques cardiovasculaires. La relation entre la pratique d'activité physique chez l'enfant et l'adolescent et son maintien jusqu'à l'âge adulte n'est pas forcément une relation directe. Une étude récente montre qu'une attitude en faveur de la pratique d'une activité physique et d'une bonne condition physique durant l'adolescence pourrait prédire le comportement après un suivi de 5 à 10 ans {Graham2011}.

Par contre, la relation entre le niveau d'activité physique et la condition physique n'est pas systématiquement démontrée en partie à cause de facteurs de corrélations différents, ou des effets de la croissance et de la maturation. La relation entre le niveau d'activité physique et la condition physique s'avère complexe à déterminer. Par exemple l'accumulation de graisse au moment de la puberté chez les filles pourrait diminuer la pratique d'activité physique, ce qui par la suite pourrait se répercuter sur leurs niveaux de condition physique. D'après {Tomkinson2003}, 28 études aux Etats unis et en Australie démontrent une augmentation médiane de 0.6 % de l'IMC des enfants et des adolescents depuis 1980. De plus, les facteurs de croissance et de maturation à l'âge de la puberté dépendent de processus physiologiques complexes inter corrélés.

L'enfance et l'adolescence sont des périodes critiques pour développer un « capital santé ». Des travaux récents en France suggèrent que l'activité physique diminue le taux d'adiposité chez les jeunes de 6-12 ans {Blaes2010}. Une mesure de la condition physique et du niveau d'activité physique durant l'enfance et l'adolescence semble donner une vision de l'état de santé à court et à long terme {Ortega2008}.

La difficulté à déterminer le sens de la relation entre le niveau d'activité physique et la condition physique suggère qu'il s'agit d'une relation complexe dans laquelle par exemple l'accumulation de graisse au moment de la puberté chez les filles pourrait diminuer la pratique d'activité physique qui par la suite pourrait jouer sur le niveau de condition physique. De plus, les facteurs de croissance et de maturation à l'âge de puberté dépendent de processus physiologiques complexes inter corrélés.

4.3. Les changements de la condition physique

Il a été montré que la VO₂ max diminue à partir de 20-25 ans de 8 à 10 % par décennie pour un sujet sédentaire et de 3 à 5 % par décennie pour un sujet physiquement actif {INSERM2008}. Ceci mène à l'interprétation suivante : l'activité physique est susceptible de moduler la dimension physiologique de décroissance avec l'âge même si les capacités aérobies sont en grande partie déterminées génétiquement. De plus, la perte de force musculaire moyenne au niveau des membres inférieurs est estimée à 1,5% par an entre 45 et 65 ans, et à 3,5 % de perte par an après 65 ans {Wittink2011}.

La pratique régulière d'une activité physique favorise le maintien et l'amélioration de la condition physique. L'étude d' {Hainer2009} montre que l'augmentation de l'activité physique engendre une amélioration de la condition physique et de l'état de santé en général. Cette amélioration est perçue suite à la pratique d'une activité physique ou sportive vigoureuse⁶ et est mesurée à partir de tests de condition physique et des questionnaires spécifiques qui mesurent par auto-déclaration l'effet du changement sur la vie quotidienne. De plus, des résultats bénéfiques suscités par des activités de plus faible intensité sont également présents dans une étude récente qui étudie la quantité minimale d'activité physique nécessaire pour une diminution de la mortalité {Wen2011}.

D'autres études mettent en avant l'importance d'une augmentation de la dépense énergétique totale par jour afin d'atteindre le niveau d'activité physique recommandé de 30 min/jour {Garber2011}. Ces résultats hétérogènes pourraient être le résultat d'imprécision de mesure de la pratique et de l'intensité de l'activité physique. A la lumière de ces résultats et les différentes positions adoptées par les auteurs les questions principales de protocoles de mesures de l'activité physique, de la condition physique et de leur interrelation restent encore sous débat et nécessite des recherches approfondies.

⁶ Activité physique vigoureuse : intensité d'activité physique de > 6METs

4.4. Mesure de la condition physique

Il existe différentes méthodes de mesure des aptitudes physique qui reflète la condition physique: des tests physiques sur le terrain (par exemple le 20 mètre navette) ou des tests en laboratoire (sur vélo ergométrique ou tapis roulant) afin de mesurer plusieurs paramètres comme la force, la vitesse de déplacement et la VO₂max. Les méthodes diffèrent en fonction de leur spécificité et de leur mode d'application sur un grand échantillon. La condition musculaire est représentée par la force maximale (isométrique et dynamique), la force explosive, l'endurance, et la force iso cinétique. L'organisation Mondiale de la Santé considère que la mesure de la VO₂ max est l'indicateur le plus pertinent pour évaluer la condition cardiorespiratoire. Mais en pratique cette mesure n'est pas applicable sur un grand échantillon pour des raisons de coûts et de faisabilité. Les études AVENA⁷, EYHS⁸ et HELENA⁹ {Moliner-Urdiales2010} {Ruiz2006} ont mesuré la condition physique des enfants et des adolescents en Europe en parallèle avec d'autre indicateur de santé sur plusieurs années afin de comprendre les tendances et l'évolution de la condition physique. Les outils de mesures utilisés sont des séries de test validés et standardisés internationalement tel que l'EUROFIT® et le FITNESSGRAM®. L'échantillon d'adolescents espagnols de l'étude AVENA (2001-2002) montre de meilleurs résultats pour les tests de force musculaire (saut en longueur sans élan et force-poignée de main) que les adolescents espagnols testés dans l'étude HELENA (2006-2007). Cependant pour les tests de vitesse/coordination (4X10m) et la condition cardiorespiratoire (navette 20m) les adolescents de l'étude HELENA obtiennent de meilleures performances. Les auteurs de l'étude {Moliner-Urdiales2010} suggèrent que les changements observés sont probablement dus à une initiative nationale du gouvernement espagnol lancée en 2005 par le ministère encourageant la pratique de l'activité physique.

D'autres part, ces résultats ne sont pas en accord avec l'étude {Tomkinson2003} qui observe pour le même test (navette 20 m) une diminution de la condition cardiorespiratoire dans différents pays.

⁷ AVENA (Alimentacion y Valoracion del Estado Nutricional en Adolescentes): L'alimentation et l'évaluation de l'état nutritionnel des adolescents espagnol

⁸ EYHS (European Youth Heart Study)

⁹ HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence): étude multicentrique réalisée dans 10 villes en Europe (Athènes, Dortmund en Allemagne, Gent en Belgique, Heraklion en Croatie, Lille en France, Pecs en Hongrie, Rome en Italie et Stockholm/le Suède).

4.5. Un outil utilisé sur un grand échantillon

L'outil Diagnoform®, conçu par la Ligue Nord Pas de Calais et la Fédération Française d'Athlétisme permet de mesurer à l'aide de méthodes simples la condition physique. Les évaluations de terrain portent sur des échantillons successifs de 200 à 5 000 enfants et adolescents. La base de données comprend plus de 31 133 individus âgés de 4 à 80 ans de différentes régions françaises. L'outil est divisé en 3 catégories de test: le test Diagnoform® Kid conçu pour les enfants âgés de 4 à 7 ans, Diagnoform® Tonic un test pour les enfants, les adolescents et les adultes en bonne santé âgés entre 8 et 60 ans, le dernier test Diagnoform® santé a été conçu pour les personnes présentant des contre-indications d'effort physique et pour les seniors. Dans cette thèse et par rapport à nos objectifs, nous ne nous concentrons que sur le test Tonic.

Diagnoform® tonic est composé de plusieurs tests à effectuer sur une durée de 45-50 minutes, sous la supervision des représentants de Diagnoform®. Les dimensions physiologiques testées sont l'endurance (20m navette), la coordination-endurance (test de la croix), la coordination (5 foulées bondissantes), la force-vitesse (saut en longueur sans élan), l'endurance-force (5 sauts enchainés à 2 pieds), la vitesse-coordination (4x10m navette), la vitesse (course sur 30m), la force (pompes genoux au sol) et la souplesse (inclinaison tronc-jambes). Ces tests sont expliqués dans le tableau 4.5.1. Ensuite, nous comparons les tests réalisés par EUROFIT® et FITNESS GRAM® à ceux réalisés par Diagnoform® Tonic dans le tableau 4.5.2.

Tableau 4.5-1 Description Test Diagnoform Tonic®

Dimensions Physiologiques mesurées	Nom dans les tests Diagnoform	Description	Nomenclature en Anglais utilisé dans d'autres tests standardisés
Endurance	20m en navettes	Capacité à faire le plus grand nombre d'aller-retour pendant 3 minutes Mesure en mètres	20 meter shuttle run (non-progressive)
Force-Vitesse	Saut en longueur sans élan	Capacité à aller le plus loin possible sur 1 saut en longueur avec les pieds joints Mesure en centimètres	Standing Broad jump
Endurance-Force	5 sauts enchaînés à 2 pieds	Capacité à aller le plus loin possible sur 5 sauts à 2 pieds sans temps d'arrêt entre les sauts Mesure en centimètres	Repeated Squat Jump
Vitesse-Coordination	4X 10 mètres en navette	Capacité à faire les 40 mètres le plus vite possible Mesure en secondes	4X 10 meter shuttle run
Vitesse	30 mètres	Capacité à courir le plus vite possible sur une distance de 30 mètres Mesure en secondes	Speed test
Force-Bras	Pompes genoux au sol	Capacité à faire le plus grand nombre de flexions	Push-Ups
Souplesse	Flexion Antérieure- jambes tendues	Capacité à arriver le plus loin possible en flexion antérieure et de maintenir la position pendant 3 secondes Mesure avec une échelle de point allant de 1 à 5	Flexibility
Coordination-Endurance	Test de la Croix	Capacité à sauter pieds joints dans chaque branche de la croix dans l'ordre.	NA
Coordination	5 foulées bondissantes	Capacité à aller le plus loin possible sur 5 foulées bondissantes	NA

Tableau 4.5-2 Comparaison de deux séries de tests de condition physique (EUROFIT®, FITNESSGRAM®) par rapport à DIAGNOFORM®tonic.

Dimensions physiologiques	Mesure	Test	Inclus dans la Batterie de Test EUROFIT® ?	Inclus dans la Batterie de Test FITNESSGRAM® ?	Inclus dans la Batterie de Test DIAGNOFORM® ?
Condition Cardiorespiratoire	Capacité aérobie	20mètre navette	OUI	OUI	OUI
Flexibilité/Souplesse	Souplesse	Fléxion Longitudinale du tronc (back-saver sit and reach) {Wells1952}	OUI	OUI	NON
		Flexion antérieure	NON	NON	OUI
Force Musculaire	Force musculaire isométrique maximale	Force membres supérieurs (Hand-Grip Strength)	OUI	NON	NON
		Bras plié accroché (Bent Arm Hang)	OUI	OUI	NON
	Force musculaire	Pompe	NON	OUI	OUI
	Endurance musculaire	Curl up (mesure la force et l'endurance des abdos)	NON	OUI	NON
	Force Explosive	Saut en longueur sans élan (Standing Broad Jump)	OUI	OUI	OUI
	Force Explosive, la coordination et l'élasticité		NON	NON	NON
		5 foulées bondissantes	NON	NON	OUI
		5 sauts enchainés à 2 pieds	NON	NON	OUI
Vitesse	Vitesse, agilité et coordination	4*10 mètres en navette	OUI	NON	OUI
		30 mètres le plus vite possible	NON	NON	OUI

CHAPITRE 5

Chapitre 5: Objectifs et méthodologies de recherche

Nos travaux cherchent à évaluer différentes stratégies de promotion de l'activité physique. L'idée qui nous a motivés à mener la thèse dès le début est le manque d'études qui évaluent des interventions de promotion d'activité physique.

Afin de mieux comprendre les freins et les perspectives de progrès dans la lutte contre la sédentarité, nous avons sélectionné trois champs d'études: un échantillon de 31 133 individus Français qui ont passé le test Diagnoform® entre 2006 et 2010, une grande entreprise avec mobilisation sur le site et les déplacements quotidiens à Paris.

Dans un premier temps nous nous sommes intéressés à l'évaluation de la condition physique de la population française. L'application d'un même outil de mesure sur un large échantillon de la population française pourrait donner une image globale de l'état actuel en matière de condition physique. Pour cette raison, nous avons travaillé en collaboration avec l'équipe Diagnoform® afin de récolter et d'analyser les données et d'évaluer leurs tests de condition physique sur le terrain. Ces études répondent en effet à notre première hypothèse.

Notre deuxième but était d'appréhender une intervention en entreprise et de trouver les outils appropriés afin d'évaluer l'efficacité d'une stratégie de promotion d'activité physique au milieu de travail. Avec la collaboration du service de médecine de travail de PSA® Mulhouse, nous avons mis en place un protocole d'étude réalisable en entreprise. Le but de cette démarche était de tester la faisabilité d'une intervention d'activité physique en entreprise avec les ressources déjà en place. Cette étude fait suite à une première approche par les services de médecine de travail au sein de PSA® dans la gestion des douleurs lombaires. Les lieux de travail étant différents nous avons conçu, en collaboration avec les médecins, kinésithérapeutes et éducateurs sportifs, une boîte à outils d'évaluation et une procédure d'intervention. Cette étude randomisée et contrôlée sur terrain est une preuve de faisabilité d'application des recommandations et de la prise en charge des sujets à risque avec une stratégie visant à promouvoir l'activité physique ou sportive au sein de l'entreprise.

Notre troisième étude est spécifiquement liée aux développements d'outils en matière de transport et d'urbanisme. TAPAS est un projet européen ayant comme thème général l'activité physique et la pollution atmosphérique. Le but est de construire un modèle conceptuel sur les effets des politiques de transports actifs (vélo, marche à pied). Un autre modèle quantitatif étudie plus spécifiquement le choix des transports, l'exposition aux polluants atmosphériques, et les effets intermédiaires sur la santé. L'objectif final étant de construire un modèle conceptuel qui prendra en compte différents facteurs de la santé individuelle, collective, environnementale, économique et sociologique.

Deuxième Partie

Travaux réalisés

CHAPITRE 6

Chapitre 6: La Condition Physique d'un échantillon de 31 133 individus

6.1. Contexte

S'il est scientifiquement admis que l'activité physique régulière est un indicateur de santé, la relation entre activité physique et condition physique est beaucoup plus complexe {Paalanne 2009}.

La mesure de la condition physique n'est pas un nouveau domaine de recherche. En effet, plusieurs initiatives et programmes de mesures de cette dernière, surtout chez les enfants et les adolescents, existent en Amérique {Sternfeld1999}, en Australie et au Canada {Tremblay2010}. En France, les mesures restent timides et moins répandues. Cependant, il convient de demander l'intérêt de mesurer la condition physique chez la population générale. En termes d'éducation physique, la condition physique est une forme d'évaluation de la performance. Par contre, cet indicateur reflète aussi l'état de santé d'une population et sa prédisposition à s'adapter aux situations d'urgences {Blair1989}.

La mesure de la condition physique nous aide à démasquer le lien entre condition physique, pratique et mode de vie. Etre en bonne condition physique signifie être apte à accomplir les tâches quotidiennes avec assez d'énergie à consacrer aux loisirs et aux situations d'urgence, d'où l'intérêt de mesurer l'état de la population à travers les âges {Kampert1996} {Berger & Berchtold1979} {Dela1992} {Hainer2009}.

A l'analyse de la condition physique devrait être jumelé la pratique totale d'activité physique journalière qui est partie intégrante de la condition physique, elle-même régit par des caractéristiques notamment inhérentes à l'individu et à sa génétique. Le paradoxe souligné est d'un côté la nécessité d'une bonne condition physique pour être capable de satisfaire les exigences d'une activité physique et, de l'autre, le besoin d'une pratique habituelle d'activité physique afin de maintenir une bonne condition physique.

Des études épidémiologiques de la croissance (taille, poids) et de la condition physique sont indispensable pour évaluer et étudier les influences environnementales de nos modes de vies. Ces études permettraient de situer l'état de santé à l'échelle individuelle et de la population

générale. Ces analyses permettent d'aborder des problèmes transversaux qui posent des défis en matière de santé publique. Les auteurs d'un ouvrage récent {Floud2011} démontrent l'intérêt de mesurer et d'évaluer le poids, la taille et des informations sur la santé d'une manière longitudinale afin de comprendre les évolutions et leurs conséquences. Notre étude se situe à l'interface de cette approche et méthodologie de recherche. Notre but était dans un premier temps d'évaluer la reproductibilité de l'outil Diagnoform® qui mesure la condition physique entre 8 et 60 ans et par la suite d'analyser des tendances factuelles sur l'état de la condition physique de l'échantillon.

6.2. Etude: Fiabilité et validation de la batterie de tests physiques Diagnoform®

Objectif

Vérifier la reproductibilité et la spécificité des tests composant l'outil de mesure de condition physique en population générale Diagnoform®. La qualité de la mesure des différents paramètres est un pré-requis indispensable dont dépend la qualité des résultats obtenus et des interprétations qui en sont faits.

Sujets

Recrutement des sujets volontaires et en bonne santé.

N=142 divisés de cette manière:

- Un groupe constitué d'adolescents (n = 43 sujets ; âge : 13,1 +/-1,1 ans, 21 non sportifs et 22 sportifs)
- Un groupe constitué d'étudiants (n = 43 sujets ; âge : 20,1 +/- 1,4 ans, 18 non sportifs et 25 sportifs)
- Un groupe constitué d'adultes (n =56 sujets, âge : 32,8 +/-5,9 ans, 24 non sportifs et 32 sportifs)

- **Méthodes de comparaison et de validation**

Afin d'évaluer la reproductibilité les sujets ont été évalué à deux reprises. De plus, le test d'endurance a été comparé aux résultats obtenus lors d'un test standardisé de 20m navette progressive (test de référence). Enfin, nous avons calculé les corrélations entre les tests.

Analyse Statistique

Nous avons utilisé le coefficient de Kappa pour les variables qualitatives et le coefficient de corrélation interclasse (CIC) pour les variables quantitatives.

Résultats

Nos principaux résultats montrent une très bonne reproductibilité des tests (CIC de 0,81 à 0,90), une forte corrélation entre les tests et une corrélation élevée entre le test d'endurance et le test de 20m navette de référence. De plus, la différence entre les sujets sportifs et les non sportifs est en faveur du groupe sportif.

Diagnoform Tonic	Moyenne $\pm$ écart- types	Reproductibilité
Souplesse jambes tronc	3,5 $\pm$ 0,9	0,91
Force Bras (répétitions)	41,8 $\pm$ 22,9	0,83
Vitesse (s)	4,9 $\pm$ 0,59	0,85
Vitesse Coordination (s)	10,6 $\pm$ 1,01	0,90
Endurance Force (m)	948,8 $\pm$ 222	0,88
Force Vitesse (m)	184,1 $\pm$ 40,7	0,84
Coordination (m)	998,2 $\pm$ 178	0,90
Coordination endurance (répétitions)	33,4 $\pm$ 9,50	0,81
Endurance (m)	569,2 $\pm$ 81,1	0,84

Figure 6.2- 1 Moyenne des résultats à la première passation des tests Diagnoform® Tonic (n=142) et les résultats de reproductibilité des tests (coefficient Kappa pour la souplesse jambes-tronc et coefficient inter classe CIC pour les autres tests).

Discussion

L'outil Diagnoform® offre des résultats prometteurs et cohérents avec les dimensions physiologiques mesurées. Cependant, plusieurs points devront être pris en considération. Premièrement, le test d'endurance de 20m de navette non-progressif ne semble pas être suffisamment intense pour mesurer le pic maximal de fréquence cardiaque d'une manière équivalente au test de 20m de navette progressif. Néanmoins, il donne une tendance réelle de la capacité aérobie. En ce qui concerne les 9 tests, nous avons observé une redondance pour deux tests qui mesurent la coordination-endurance (test de la croix) et la coordination (5 foulées bondissantes). Suite à cette analyse et à une vérification dans la littérature des tests utilisés, nous avons décidé de ne pas inclure les résultats de ces tests dans notre deuxième étude.

6.3. Etude: La condition physique d'un échantillon de 31 133 Français

Objectif

Après validation de la reproductibilité de l'outil Diagnoform® notre but était d'analyser les données brutes des tests physiques en relation avec l'âge, l'IMC (Indice de masse corporelle) et le sexe. Dans un deuxième temps nous avons voulu modéliser l'ensemble des données à travers les différents âges afin d'avoir une idée de la tendance et de l'état du groupe en général.

Sujets

Un échantillon de 31 133 individus français volontaires qui sont venus tester leur condition physique pendant les journées organisées par Diagnoform® entre 2006 et 2010. Le pourcentage des enfants et des adolescents constitue 84% contre 16,5% pour les adultes.

Méthodes d'analyse

Statistique

Une analyse descriptive (moyenne, écart-type, min et max) et une analyse de corrélation (IMC-tests) avec le test de Spearman Rho a été faite. Une ANOVA a été choisie pour mesurer la différence statistique entre les groupes d'âges, l'IMC et les performances. Nous avons utilisés, pour les moins de 18 ans, les courbes de corpulence établie par le PNNS, MF Rolland-Cachera (INSERM) en collaboration avec l'APOP¹⁰.

Modèle bi-exponentiel
$$P(t) = a \times (1 - e^{bt}) + c \times (1 - e^{dt})$$

Un modèle bi-exponentiel récemment développé suggère l'application d'une loi universelle de phases de progression-régression dans les sports quantifiables (Moore, 1975) {Berthelot2011}. Dans ce contexte, nous avons voulu tester l'application de ce modèle sur des performances de condition physique de la population générale afin d'élaborer une modélisation de cette dernière par rapport à l'âge. Les coefficients a , b , c and d sont obtenus par régression non linéaire des moindres carrés avec:

$$\begin{cases} a, c, d > 0 \\ b < 0 \end{cases}$$

L'analyse a été faite avec les logiciels MATLAB et SPSS, v.19.0 pour WNDOWS; SPSS Inc, Chicago.

¹⁰ APOP (l'Association pour la Prévention et la prise en charge de l'Obésité en Pédiatrie)

Résultat

Age, sexe et condition physique: les meilleures performances dans la pluparts des tests Diagnoform® sont observées dans le groupe d'âge 18-39 ans (Tableau 6.3-1).

Test \ Age	MEN				WOMEN			
	8 to 11	12 to 17	18 to 39	40 to 60	8 to 11	12 to 17	18 to 39	40 to 60
	n= 3267	n= 9786	n= 2172	n= 557	n=3227	n=9710	n=2001	n=413
20m Shuttle Run (meters)	519.61	566.99	618.27	566.19	490.24	512.2	515.64	482.05
4*10m shuttle (seconds)	12.28	11.33	10.4	11.09	12.96	12.27	11.84	12.57
Speed (seconds)	5.84	5.33	4.7	5.13	6.24	5.81	5.63	6.1
Standing Broad Jump (cm)	143.12	174.74	213.26	195.21	130.64	147.17	159.79	150.15
Repeated Squat jump (cm)	702.86	858.46	1075.93	986.14	653.73	719.22	791.83	750.85
Push-Ups (nb reps)	26.12	34.27	46.78	40.39	20.00	20.85	25.97	27.5
Flexibility (index)	3.29	3.46	3.76	3.73	3.57	3.86	4.13	4.24

Tableau 6.3-1 Moyenne des résultats dans les tests Diagnoform Tonic en fonction des groupes d'âges. 20m Shuttle Run = 20m navette en mètres, Standing Broad Jump = saut en longueur sans élan (cm), Repeated Squat Jump = 5 sauts enchaînés à 2 pieds (cm), 4*10m shuttle run = 4*10m en navette (secondes), Speed = Vitesse (secondes), Push-ups = Pompes (nombres de fléchions), Flexibility index = indice de souplesse de 1 à 5.

Différence homme-femme: pour tous les tests nous observons un écart entre les hommes et les femmes. Cet écart est en faveur des hommes sauf pour l'indice de souplesse. Pour le test saut en longueur sans élan (Standing Broad Jump) la différence entre homme et femme varie de 12,5 cm chez les enfants à 27,6 cm chez les adolescents, 53,5 cm chez les 18-39 ans, et 45cm pour les 40-60 ans. On retrouve les mêmes tendances pour les différents tests.

IMC et condition physique : les sujets en surpoids ou obèses à tout âge ont des scores inférieurs aux sujets en poids normal (Tableau 6.3-2,3).

ADULTS BMI Category	Gender	n	20m Shuttle Run	Standing Broad Jump	Repeated Squat Jump	4*10 m Shuttle Run	Speed	Push-Ups	Flexibility Index
Under Weight (< 18,5)	Men	126	603.04	199.78	1004.38	10.82	4.99	38.10	3.72
	Women	246	521.03	159.78	795.35	11.80	5.53	27.09	4.02
Normal Weight (18,5-24,99)	Men	2029	621.17	213.90	1077.63	10.40	4.70	47.30	3.76
	Women	1890	516.01	160.73	797.15	11.85	5.65	27.15	4.20
Over Weight (25-29,99)	Men	482	568.79	199.57	1017.22	10.86	5.01	41.70	3.78
	Women	222	467.30	142.69	706.59	12.70	6.20	20.91	4.03
Obese (>30)	Men	92	519.29	179.77	899.67	11.58	5.26	34.90	3.56
	Women	56	423.75	125.09	632.68	13.74	6.66	13.41	3.68

Tableau 6.3-2 Moyenne des résultats des tests en fonction de la catégorie de l'IMC chez les adultes. 20m Shuttle Run = 20m navette en mètres, Standing Broad Jump = saut en longer sans élan (cm), Repeated Squat Jump: 5 sauts enchaînés à 2 pieds (cm), 4*10m shuttle run = 4*10m en navette (secondes), Speed = Vitesse (secondes), Push-ups = Pompes (nombres de fléchions), Flexibility index = indice de souplesse de 1 à 5.

Children and Adolescents BMI category	Gender	n	20m shuttle run	Standing Broad Jump	Repeated Squat jump	4*10m shuttle Run	Speed	Push-ups	Flexibility index
Under Weight	Boys	336	553.54	166.45	810.05	11.56	5.55	31.43	3.2
	Girls	319	516.92	147.23	712.08	12.28	5.78	21.29	3.6
Normal Weight	Boys	10,216	567.59	171.45	842.55	11.38	5.38	34.19	3.43
	Girls	10,471	514.16	146.3	717.94	12.29	5.83	21.41	3.82
Over Weight	Boys	1,881	518.25	152.25	748.05	12.15	5.78	25.92	3.4
	Girls	1,681	477.06	129.41	641.12	13.05	6.24	17.58	3.68
Obese	Boys	611	466.62	136.36	666.5	12.82	6.2	20.52	3.36
	Girls	475	444.75	118.71	591.98	13.75	6.63	14.35	3.59

Tableau 6.3-3 Moyenne des résultats des tests en fonction de la catégorie de l'IMC chez les enfants et les adolescents à partir des normes PNNS. 20m Shuttle Run = 20m navette en mètres, Standing Broad Jump = saut en longer sans élan (cm), Repeated Squat Jump: 5 sauts enchaînés à 2 pieds (cm), 4*10m shuttle run = 4*10m en navette (secondes), Speed = Vitesse (secondes), Push-ups = Pompes (nombres de fléchions), Flexibility index = indice de souplesse de 1 à 5.

Modélisation: à l'aide du modèle bi-exponentiel nous avons identifié un pic de performance à l'âge de 26 ans en moyenne dans les tests de: vitesse, saut en longueur, navette 20 mètres et 5 sauts enchaînés à 2 pieds chez les hommes et de 21 ans chez les femmes révélant une précocité physique de la population féminine.

Modélisation bi-exponentielle, à travers les différents âges, des performances durant le test de vitesse en m.s^{-1} (capacité à courir le plus vite possible sur 30mètres).

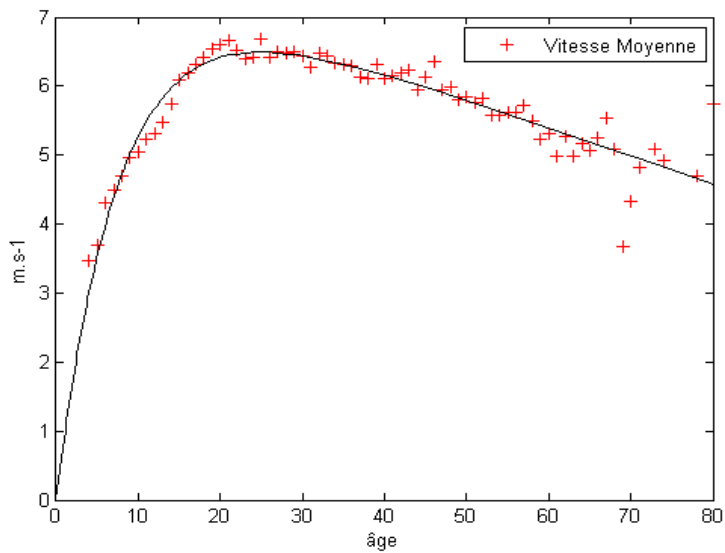


Figure 6.3-1 Performances hommes, pic calculé à 24,9 ans, $R^2=0,86$

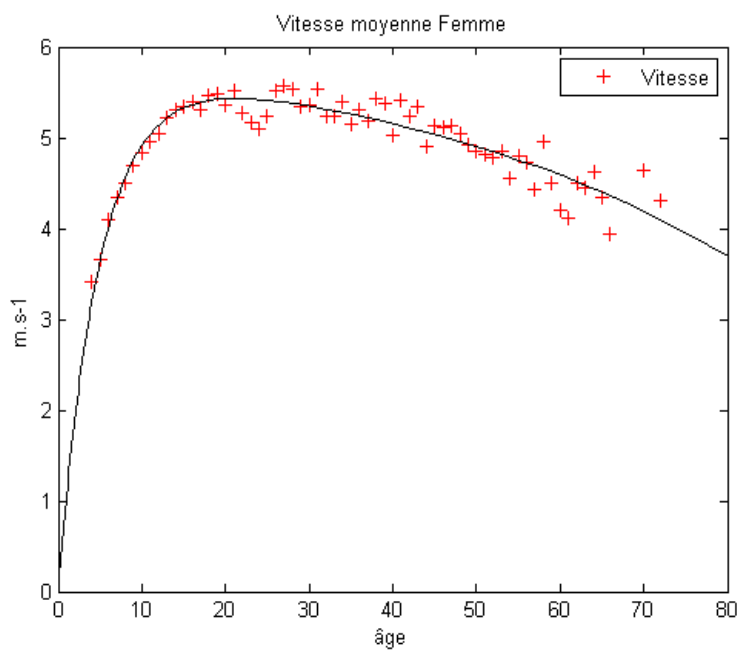


Figure 6.3-2 Performances femmes, pic calculé à 21,2 ans, $R^2=0,87$

Modélisation bi-exponentielle, à travers les différents âges, des performances durant le test de force-vitesse en cm (capacité à sauter le plus loin possible sur 1 saut en longueur).

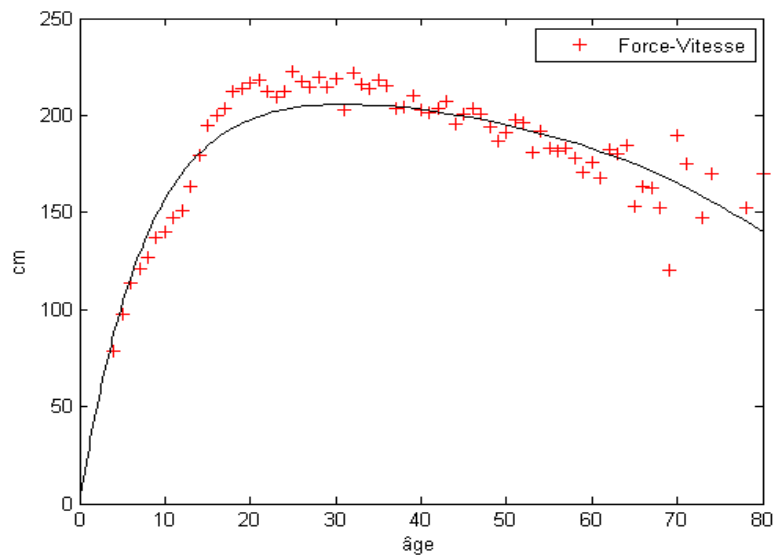


Figure 6.3-3 Performances Hommes, pic calculé à 30,9 ans, $R^2=0,84$

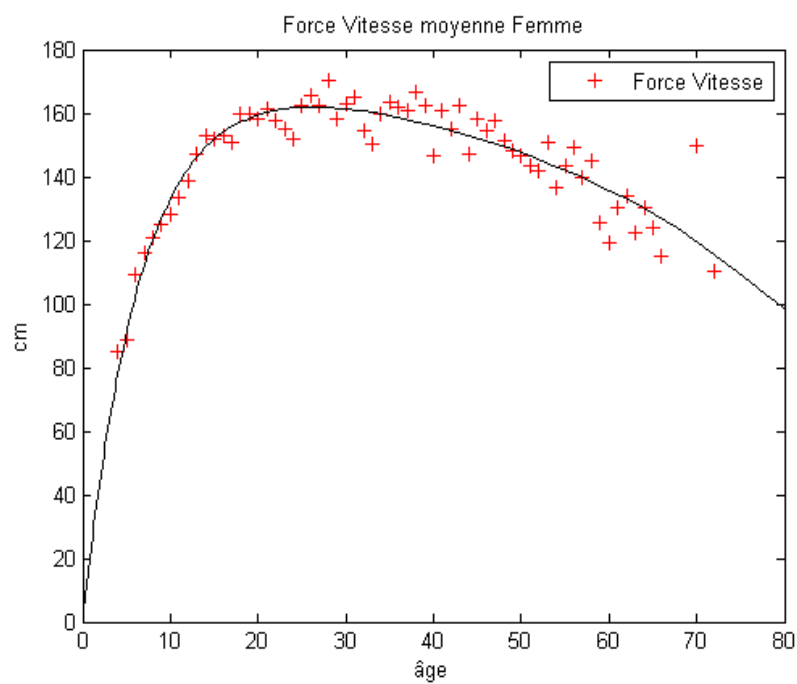


Figure 6.3-4 Performances Femmes, pic calculé à 26,1 ans, $R^2=0,86$

Modélisation bi-exponentielle, à travers les différents âges, des performances durant le test d'endurance-20 mètres navette en ms^{-1} (capacité à faire le plus d'aller-retour possible en courant sur un terrain de 20 mètres pendant 3 minutes).

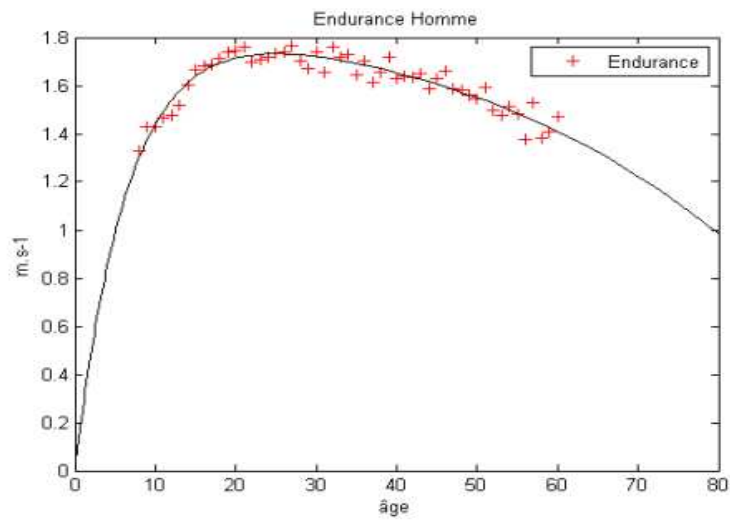


Figure 6.3-5 Performances Hommes, pic calculé à 22,5 ans, $R^2=0,77$

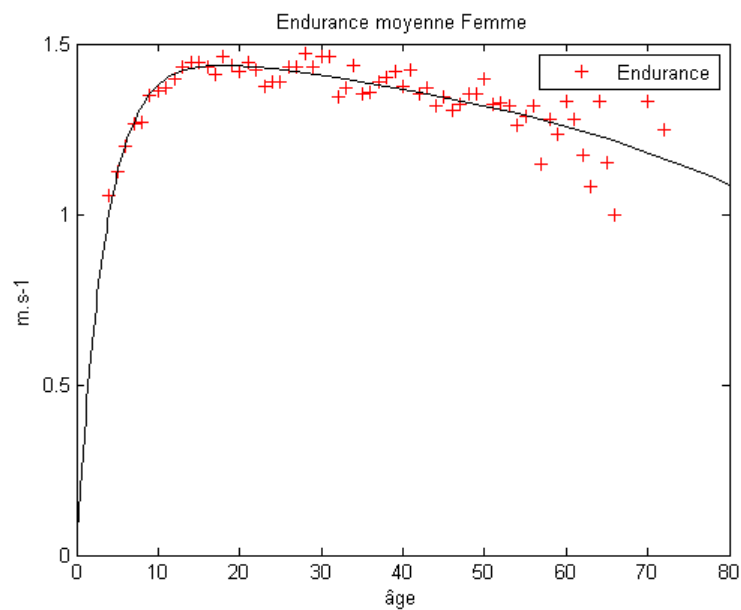


Figure 6.3-6 Performances Femmes, pic calculé à 17,7 ans, $R^2=0,71$

Modélisation bi-exponentielle, à travers les différents âges, des performances durant le test d'endurance-force/ 5 sauts enchainés à 2 pieds en centimètres (capacité à enchaîner un mouvement de force des jambes en allant le plus loin possible sur 5 sauts à 2 pieds).

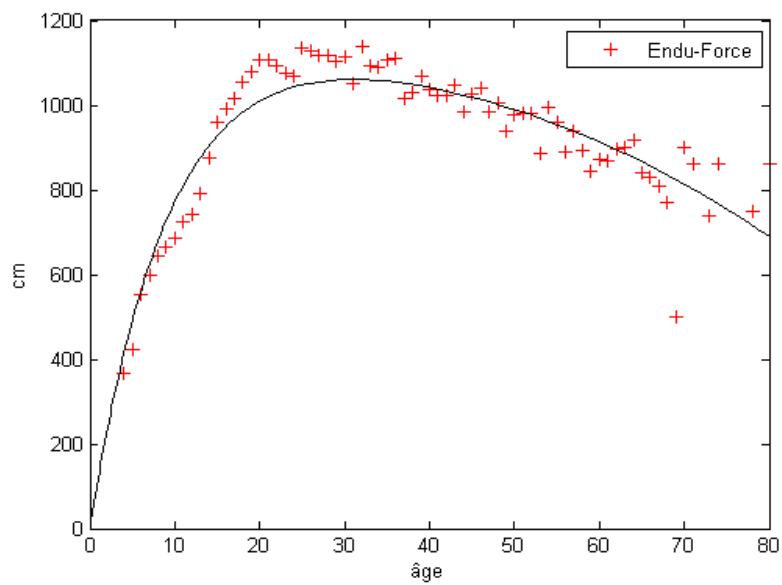


Figure 6.3-7 Performances Hommes, pic calculé à 30.9 ans, $R^2=0,85$

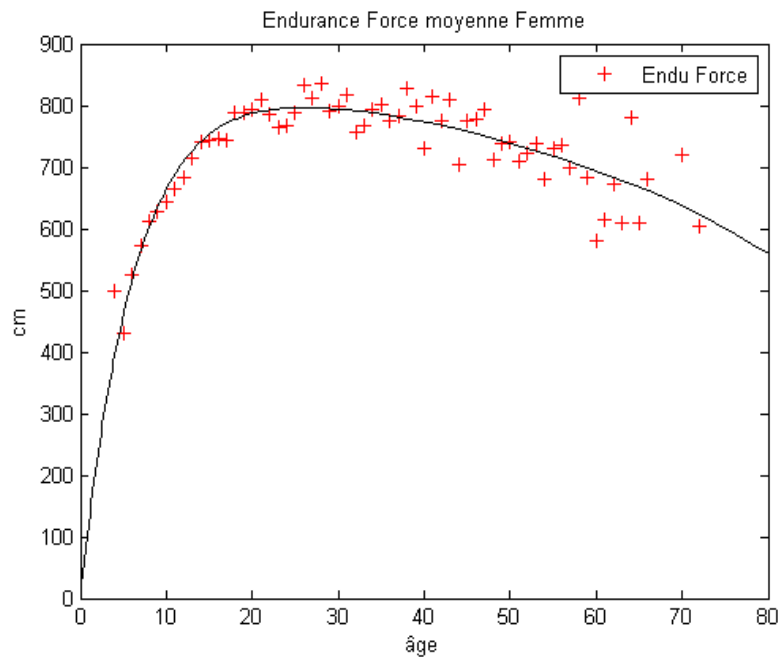


Figure 6.3-8 Performances Femmes, pic calculé à 26 ans, $R^2=0,78$

Discussion

Les meilleures performances pour la majorité des tests Diagnoform® sont observées pour le groupe d'âge 18-39 ans. Ceci est probablement dû au développement physiologique et physique qui atteint son pic durant cette période ce qui facilite la coordination, la vitesse et l'endurance durant la performance. De plus, pour tous les âges, les sujets en surpoids ou obèses présentent des scores inférieurs aux sujets en poids normal, suggérant l'effet négatif de l'adiposité sur la condition physique.

La fonction bi-exponentielle utilisée, déjà observée pour une population de sportif de haut-niveau révèle la présence d'une loi de progression-régression sur l'évolution par âge des résultats des tests de conditions physiques en population générale. Ce modèle permet d'exprimer, sous forme de courbe, la relation entre l'âge et la condition physique. Dans une étude récente où nous analysons les performances des joueurs de tennis avec une approche similaire nous avons mis en évidence un pic de performance de 23,7 pour les hommes et de 21,5 ans pour les femmes {Guillaume2011} (en annexe).

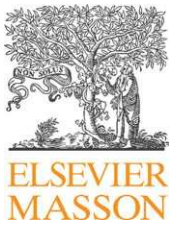
La contribution de cette étude réside dans l'utilisation de données récentes d'une grande population d'enfants et d'adolescents. Cependant, il est important de prendre en considération le profil des sujets qui sont venus tester volontairement leur forme durant les journées Diagnoform®. En fait, les enfants et les adolescents représentent environ 80% de la population testées. Cette observation nous mène à plusieurs suppositions et interrogations:

1. Les adultes volontaires qui se sont présentés pour tester leur forme sont certainement plus motivés à faire de l'activité physique que la moyenne de la population générale. La représentativité de la population générale qui était la cible est certainement biaisée.
2. Il était difficile de cibler par une promotion de l'outil Diagnoform® une population de personnes sédentaires. Il serait intéressant de promouvoir cet outil à travers des entreprises ou lors de tests médicaux.
3. A ce jour, malgré le grand nombre d'individus testés avec cet outil, l'étude ne nous permet pas d'analyser un échantillon représentatif de la population française, il serait intéressant de construire une étude permettant de mesurer la condition physique de la population française afin de renforcer les premiers résultats.

Perspective

Suite à ces travaux, nous proposons l'utilisation et l'incorporation de cet outil de mesure de condition physique lors d'interventions d'évaluation des stratégies de promotion d'activité physique. Cet indicateur servira à mesurer et à contrôler l'avancement des sujets dans la pratique d'activité physique ou sportive. Ce travail vise à apporter des éléments complémentaires aux méthodes utilisées dans l'évaluation des stratégies de promotion d'activité sportives. Enfin, il permet de compléter notre compréhension de l'évolution de la taille et du poids dans la population française, et de mesurer l'effet des conditions mésologiques sur l'expression du génotype.

Dans le même ordre d'idée, cette fonction pourrait être utilisée pour prédire différents scénarii possibles d'évolution d'une capacité physique et de son effet sur la santé. Il est aussi suggéré de développer des relations entre le niveau de pratique d'activité physique, de sédentarité ou d'inactivité physique et les paramètres de mesure de la condition physique. Il existe de nombreuses possibilités d'analyse aussi en termes de corrélation entre les différents statuts sociodémographiques et les paramètres de conditions physiques. Le but est d'être capable de prédire l'effet d'un certain changement sur le niveau de condition physique en fonction de l'âge. Par conséquent, les questions émanantes pourraient être: quel est l'effet d'une augmentation de la pratique d'activité physique sur les courbes de progression régression de par exemple la vitesse, souplesse, coordination, et l'endurance.



Disponible en ligne sur
ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.com



NOTE BRÈVE

Fiabilité et validation de la batterie de tests physiques Diagnoform

Reliability and validity of Diagnoform fitness test procedure

R. Mouraby^{a,b}, M. Tafflet^{a,c}, H. Nassif^{a,b}, J.-F. Toussaint^{a,b,d},
F.-D. Desgorces^{a,b,*}

^a Institut de recherche biomédicale et d'épidémiologie du sport, INSEP, 75012 Paris, France

^b UFR STAPS, université Paris Descartes, 75006 Paris, France

^c Inserm U970, centre de recherche cardiovasculaire de Paris, 75015 Paris, France

^d Centre d'investigation en médecine du sport, Hôtel-dieu, Assistance publique–Hôpitaux de Paris, 75004 Paris, France

MOTS CLÉS

Aptitude physique ;
Évaluation en
population ;
Validation

KEYWORDS

Physical capacity;
Population
assessment;
Validity

Résumé

Objectif. – Mesurer la reproductibilité et la pertinence des tests proposés par le protocole d'évaluation des capacités physiques Diagnoform.

Patients et résultats. – Cent quatre-vingt-trois sujets répartis par groupes d'âge et d'activité physique ont été évalués à deux reprises et les corrélations entre chaque test ont été calculées. La reproductibilité des tests est bonne à très bonne. Certains coefficients montrent une relation forte entre les tests mettant en jeu la puissance musculaire, suggérant une redondance dans l'évaluation de cette capacité.

Conclusion. – La méthode Diagnoform est un outil efficace pour satisfaire aux objectifs d'évaluation de l'état de forme des populations.

© 2011 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Summary

Aim. – To assess the reproducibility and relevancy of the tests that composed the Diagnoform physical fitness estimation procedure.

Methods and results. – We studied 183 subjects twice, who were divided into groups of age and physical activity intensity. Correlations between both sessions have been calculated. Reproducibilities are good to very good. Some correlation coefficients show strong relationships between tests involving muscular power suggesting a possible redundancy in the assessment of this capacity.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : francois.desgorces@univ-paris5.fr (F.-D. Desgorces).

Conclusion. — Diagnoform is an efficient tool to assess the level of physical fitness in populations.
© 2011 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

Diagnoform est un programme développé pour permettre une évaluation de masse, rapide et peu coûteuse (en temps et en matériel) des états de condition physique de la population générale [1]. Cette batterie de tests existe en trois versions selon l'âge ou la comorbidité des sujets testés et met en place des exercices d'endurance, de force, de coordination, de vitesse et de souplesse dont les résultats sont traités et exprimés à l'aide d'une base de données informatisée. À l'heure actuelle, quelques 40 000 personnes ont déjà été testées à l'aide de cet outil. Les données issues du test permettent d'initier une reprise d'activité physique au niveau individuel mais également d'évaluer le niveau de forme ou de capacité physique de divers groupes ou populations. Cette utilisation est conditionnée par la validation de ces tests quant à leur pertinence et leur reproductibilité.

La validation des tests d'aptitude physique pose des problèmes complexes liés à la nature habituellement multidimensionnelle de l'activité motrice et sportive, et à l'importance des facteurs subjectifs, environnementaux et motivationnels intervenant dans les mesures [2,3]. Ainsi, une unique mesure de la capacité d'endurance peut sembler suffisante, alors que des capacités plus complexes (puissance, souplesse, coordination) ne pourraient se justifier que par rapport à une tâche bien identifiée (durée, charge, groupes musculaires...) [2]. Par conséquent, l'objectif de notre travail était de vérifier la reproductibilité et la spécificité des tests proposés composant les batteries Diagnoform Tonic et Diagnoform Kid. Des groupes de sujet répondant aux caractéristiques de l'évaluation Diagnoform (sédentaires-sportifs; groupes d'âges) ont participé à deux sessions d'évaluation, ainsi qu'à une évaluation particulière pour le test endurance.

2. Patients et méthode

Cent quatre-vingt-trois sujets ont participé à l'étude, ces sujets étaient répartis en quatre groupes d'âge distincts : le groupe « Enfants » (41 sujets, $9,4 \pm 0,7$ ans, 20 non sportifs et 21 sportifs) soumis aux tests Diagnoform Kid [1], puis un groupe « Adolescents » (43 sujets, $13,1 \pm 1,1$ ans : 21 non sportifs et 22 sportifs), un groupe « Étudiants » (43 sujets, $20,1 \pm 1,4$ ans, 18 non sportifs et 25 sportifs) et un groupe « Adultes » (56 sujets, $32,8 \pm 5,9$ ans, 24 non sportifs et 32 sportifs), ces trois derniers groupes étant soumis aux tests Diagnoform « Tonic » [2].

L'évaluation de la validité du test « Endurance » de Diagnoform (distance maximale lors d'une course de trois minutes en aller-retour sur 20 mètres) a été réalisée par comparaison avec le test navette progressivement accéléré de l'université de Montréal chez 42 sujets du groupe étudiant et adulte [4]. Au cours de ces deux tests, l'enregistrement de la fréquence cardiaque et de son pic de

fréquence a été réalisé (Vantage NV, Polar Electro, Kempele, Finlande).

La reproductibilité des tests constituant les deux batteries Diagnoform (Kid et Tonic) a été étudiée par comparaison à des résultats enregistrés lors de la première et de la seconde session grâce au coefficient kappa pour les variables qualitatives (pour le test de souplesse, échelle de 0 à 5) et au coefficient de corrélation intraclasse (CIC) pour les variables quantitatives (pour tous les autres tests).

Les relations entre les différents tests de capacité physique ont été évaluées par le coefficient de corrélation de Pearson, en particulier pour le test endurance Diagnoform et le test navette triangulaire. Le seuil de significativité statistique a été fixé à 0,05.

3. Résultats

Le coefficient kappa pour le test de souplesse est très bon, démontrant une fidélité élevée entre les deux sessions (Tableau 1).

Pour les autres tests (mesures quantitatives), les CIC sont également très bons à l'exception du test « coordination–endurance » de 30 secondes consistant à cumuler des sauts pieds joints dans une étoile dessinée au sol et cela, dans un ordre préétabli (Tableau 1). Les coefficients CIC ne sont pas différents en fonction de l'âge mais sont plus élevés chez les sportifs que chez les non sportifs.

Les corrélations des tests deux à deux à la première évaluation sont moyennes à faibles pour la majorité des tests entre eux mais significativement supérieures à 0 (Tableau 2). Cependant, des corrélations très fortes sont observées entre les tests faisant intervenir les capacités de puissance musculaire : entre les tests « Force–Vitesse » (détente horizontale) et « Force–Endurance » (quintuple bond pieds joints), « Coordination » (cinq foulées bondissantes) et « Force–Vitesse », et « Coordination » et « Force–Endurance ».

Le test « Endurance » de Diagnoform est également fortement corrélé avec le test navette à intensité progressive pris en référence ($r = 0,78$; $p = 0,001$). Les pics de fréquence cardiaque associés à chacun de ces tests sont cependant significativement différents (en moyenne $191,1 \pm 7,0$ pour le test endurance vs $195,6 \pm 8,0$ pour le test navette ; $p < 0,01$).

4. Discussion

Les CIC démontrent une très bonne reproductibilité des tests composant Diagnoform. Celle-ci ne semble pas modifiée selon l'âge des sujets évalués, alors qu'elle est meilleure chez les sportifs que chez les non sportifs. Ce dernier résultat suggère une marge de progression possible aux tests physiques chez les non sportifs, moins habitués à la pratique ou à l'effort physique.

Tableau 1 Résultats moyens à la première passation des tests Diagnoform Tonic ($n = 142$) et Diagnoform Kid ($n = 41$), et résultats de l'évaluation de la reproductibilité des tests (coefficient kappa pour les tests de souplesse et coefficient de corrélation intraclasse pour tous les autres).

Diagnoform Tonic			Diagnoform Kid		
	Moyenne $\pm$ écart-types	Reproductibilité		Moyenne $\pm$ écart-types	Reproductibilité
Souplesse jambes-tronc	3,5 $\pm$ 0,9	0,91			
Force Bras (répétitions)	41,8 $\pm$ 22,9	0,83			
Vitesse (s)	4,9 $\pm$ 0,59	0,85	Souplesse	3,7 $\pm$ 0,8	0,78
Vitesse Coordination (s)	10,6 $\pm$ 1,01	0,90	Vitesse	26,5 $\pm$ 2,33	0,86
Endurance Force (m)	948,8 $\pm$ 222	0,88	Force Vitesse	138,3 $\pm$ 21,4	0,87
Force Vitesse (m)	184,1 $\pm$ 40,7	0,84	Coordination	5,6 $\pm$ 0,81	0,60
Coordination (m)	998,2 $\pm$ 178	0,90	Endurance	908,8 $\pm$ 83,0	0,77
Coordination endurance (répétitions)	33,4 $\pm$ 9,50	0,81			
Endurance (m)	569,2 $\pm$ 81,1	0,84			

Le CIC du test « Coordination–Endurance » entre les deux sessions est plus faible que ceux des autres tests mais reste bon. Les résultats sont améliorés lors de la deuxième session, ce qui laisse supposer une adaptation à l'exercice proposé. Cette adaptation rapide ne remet pas en cause la validité des mesures, d'autant plus que cet effet apprentissage peut être considéré comme inhérent à la coordination que ce test évalue. Une des possibilités d'amélioration réside certainement dans une préparation spécifique à ce test lors de l'échauffement mis en place pour la batterie de test et/ou avant le test lui-même.

À l'exception des tests appelés « Force–Vitesse », « Force–Endurance » et « Coordination » qui semblent mettre en jeu les capacités de puissance musculaire, les corrélations moyennes à faibles entre les tests suggèrent une mesure spécifique et originale des capacités motrices des sujets. À l'inverse, la forte corrélation entre les trois tests mettant en jeu la puissance musculaire nous questionne quant à la nécessité de réaliser ces trois tests successivement.

La durée du test « Endurance » (trois minutes en aller-retour) semble trop réduite pour mesurer la capacité physique d'endurance que l'on peut associer à la consom-

mation maximale d'oxygène. Cet a priori est confirmé par la différence statistique enregistrée entre les fréquences cardiaques atteintes lors du test trois minutes et lors du test navette référence. Le protocole du test, rectangulaire sur trois minutes, ne permet pas aux sujets d'atteindre leur pic maximal de fréquence cardiaque et ne sollicite donc pas la consommation d'oxygène maximale. Cependant, la corrélation élevée entre les résultats obtenus aux deux tests suggère que le test « Endurance » de Diagnoform donne une bonne estimation des capacités réelles des sujets.

En conclusion, les évaluations issues de Diagnoform apparaissent fiables et reproductibles. Quelques modifications pourraient être envisagées pour ramener le test « coordination–endurance » à une reproductibilité très bonne, notamment une préparation spécifique à ce test. Par ailleurs, les appellations des tests faisant référence à des qualités physiques nous semblent parfois sujettes à controverses (i.e. « Coordination » pour un test de cinq foulées bondissantes). Ces appellations pourraient se rapprocher de ce que sont ces tests physiques : cinq foulées bondissantes ; vitesse aller-retour sur dix mètres ; test de l'étoile ; détente horizontale sans élan...

Tableau 2 Matrice de corrélation entre les tests réalisés lors de la première passation de Diagnoform Tonic ($n = 142$) et Diagnoform Kid ($n = 41$).

Diagnoform Tonic								Diagnoform Kid							
Tests		1	2	3	4	5	6	7	8	Tests		1	2	3	4
1	Force Bras	1								1	Vitesse	1			
2	Vitesse	–0,6	1							2	Force Vitesse	ns	1		
3	Vitesse Coordination	–0,5	0,77	1						3	Coordination	ns	0,81	1	
4	Endurance Force	0,67	–0,8	–0,7	1					4	Endurance	0,33	ns	0,81	1
5	Force Vitesse	0,65	–0,8	–0,6	0,94	1									
6	Coordination	0,64	–0,8	–0,7	0,93	0,91	1								
7	Coordination Endurance	0,49	–0,4	–0,4	0,51	0,5	0,53	1							
8	Endurance	0,67	–0,7	–0,7	0,75	0,72	0,75	0,53	1						

Il semble d'ores et déjà que l'évaluation Diagnoform est suffisamment fiable pour estimer les capacités motrices des individus issus de populations diverses.

Conflit d'intérêt

Aucun.

Remerciements

Nous remercions Thibault Deschamps (ligue Nord-Pas-de-Calais d'athlétisme) et Hervé Ovigneur (Société Aptéo) pour leur aide technique.

Références

- [1] Descriptif et présentation complète disponible via internet : <http://www.diagnoform.com>.
- [2] Sinard JR, Pate RR. Physical activity assessment in children and adolescents. *Sports Med* 2001;31:439–54.
- [3] Michaud PA, Narring F. La condition physique des enfants et des adolescents : comment la mesurer ? Une revue de littérature. *Arch Pediatr* 1996;3:497–504.
- [4] Léger L, Gadoury C. Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict VO_2max in adults. *Can J Sport Sci* 1989;14:21–6.

6.5. Article: Monitoring fitness levels and detecting implications for health on a large scale of the general population

(The physical fitness of 31,133 French citizens aged between 8 and 60 years old) (Soumis-sous révision)

Hala Nassif MS* ^{ab}, Adrien Sedeaud MS ^{ab}, Elisa Abidh^e, Julien Schipman MS ^a, Muriel Tafflet MS ^{a c}, Thibault Deschamps^f, Hervé Maillet^f, Hervé Ovigneur^f, François Desgorces PhD ^{a b}, Jean-François Toussaint MD PhD ^{a b d}

^a IRMES, INSEP, 11 avenue du Tremblay, 75012 Paris, France

^b Université Paris-Descartes, Sorbonne Paris cité, 12 rue de l'école de médecine, 75006 Paris, France

^c INSERM, U970, Paris Cardiovascular Research Center - PARCC, 56 rue Leblanc 75015 Paris, France

^d CIMS, Hôtel-Dieu, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, 1 Parvis Notre Dame, 75004 Paris, France

^eInsa Lyon France

^fDiagnoform France

Abstract

Objective

To analyze the physical fitness level of 31 133 French citizens aged between 8 and 60 years old and represent the performances through a bi-exponential model.

Methods

We collected data from 231 events that took place in French regions between 2006 and 2010 and analyzed participation and physical fitness. We assessed outcome measures in relation to age and BMI using Spearman Rho, a one way ANOVA and a bi-exponential model.

Results

Our major results showed higher performances for men and for subjects with normal BMI at all age groups except for the flexibility test. Body mass Index is strongly correlated across all ages with physical fitness $p < 0.0001$. Those results are in accordance with the literature. Furthermore, through a bi-exponential model, a mean peak performance was identified at 26.32 years old for men and 22.18 years old for women.

Conclusion

Physical fitness assessment using a simple series of tests is applicable on the general population. It is a major information to assess with age, BMI and health impact assessments. The application of a bi-exponential model offers a global approach to monitor public health.

Key words: physical fitness; physical activity; bi-exponential; model; promotion

Introduction

Human species has been increasing in body size over the past two centuries. Interestingly, weight continues to increase in spite of height stability {Cole2003}. Physical fitness is one of the most important factors that determined the survival of our ancestors {O'Keefe2010} and it is also an indicator of health status. Several epidemiological studies have measured fitness levels using different methodologies in order to understand the secular trends and their relation to health {ANDREASI2010} {MARQUES-VIDAL2010} {NIELSEN2003} {SASSEN2010}.

Despite the evidence of a strong inverse mortality gradient across fitness groups, with a 50% lower mortality rate for the highly fit group {Blair2001} better lipid profile and decreased incidence of coronary heart disease {Sternfeld1999}, sedentary behavior and declining physical fitness are still serious public health threats across all ages.

We are witnessing a worldwide burden of metabolic risk factors with 1.46 billion adults overweight or obese affecting health expenditure through the cost of morbidity and mortality. A low percentage of children (23.8% boys/ 15.4% girls) aged between 13 and 15 years old in 34 developing countries are meeting the 60min exercise/day recommendations {Guthold2010}. This high level of sedentary behavior is observed in worldwide regions and patterns of physical activity and fitness are deteriorating {Guthold2010}. Also, European adolescents are not meeting the recommendations set to limit time viewing television to no more than 2 hours per day {Rey-López2010}. The physical inactivity pattern of children and adolescents is highly correlated with media availability, access to electronic offer and time spent television viewing, internet surfing, and playing computer or video games.

A number of international studies investigated the fitness level of children and adolescents on representative samples of the population (e g: HELENA, AVENA, EYHS...) {MOLINER-URDIALES2010} {ORTEGA2005} {POWELL2009} and secular trends in the aerobic performance of children and adolescents have been evaluated in the developed world {TOMKINSON2003}. However, to our knowledge there exist few studies reporting the physical fitness level of adolescents, adults and elderly through the same test.

The measurement of physical fitness is a challenging objective due to high variability and the presence of correlated factors {Tremblay2010}. For instance, total body fat, habitual physical activity and socioeconomic status have been independently correlated to physical fitness {Jiménez_Pavón2010}.

The objective of the following study is to describe the results of a French series of tests designed by the Athletic Track and Field Federation Ligue-Nord-Pas-de-Calais and performed on a large sample of the population between 2006 and 2010.

Methods

Sample preparation and origin

Advertising promotional campaigns in the region, via schools or organization took place prior to the date of the test. The schools, municipalities and major local representatives were aware of the coming event and encouraged all inhabitants of the region, children at school and workers to come and test their physical fitness. The total sample however cannot be considered representative of the French population.

Tests and Subjects:

We extracted anonymous data from the organizers of the physical activity promotional events that took place in several geographical regions in France between 2006 and 2010. The physical fitness series of test has been developed by the organizers of this event and validated in a previous study {MOURABY2011}. Indicators were age, Body Mass Index (BMI) ($\text{Weight (kg)}/\text{Height (m)}^2$), and fitness score on each test. Body Mass Index for children and adolescents was according to PNNS scale (National Plan of Nutrition and Health). For adults a BMI < 18.5 was considered underweight (UW), BMI 18.5 to 24.9 Normal Weight (NW), BMI 25-29.9 Overweight (OW) and BMI > 30 was considered Obese (OB). All subjects performed the same series of tests named 'Diagnoform tonic[®]', separate batteries of tests were designed for other age groups or subjects with health contraindications. The kid test is for 4-7 years old and the health test is for subjects older than 60 or suffering from cardiac problems or any medical issue hindering performance during.

Field site description

The event took place in large settings such as a schools' play ground or sports club gymnasiums. The organizers of the event prepared the site in advance and planned the process to welcome a large flow of people at the same time. A separate area was specifically set to fill in the results on the database, print result sheets and lead each participant to a nutritionist or physical educator present to give oral advice on health, physical activity and nutrition.

Data collection protocol

The measurements were collected by trained staff and the reporting was supervised.

Description of Tests: (35-40mn Workshop)

1. Non-progressive 20m shuttle run measures the maximum distance reached during 3 minutes (in meters). The subject is invited to run back and forth on a straight 20m line for 3 minutes. The supervisor counts the number of times the subject went back and forth and translates it to a measurement.
2. Standing broad jump measures explosive strength (in centimeters). The subject jumps as far as possible with legs joined.
3. Repeated squat jump measures explosive strength, elastic energy and coordination (in centimeters). The subject jumps 5 consecutive jumps with legs joined.
4. 4*10 meter shuttle run measures speed and agility by recording the minimal time needed to complete the 40 meters course (in seconds).
5. Speed measures anaerobic capacity by running as fast as possible the 30 meters (in seconds).
6. Flexibility measures leniency and the capacity to reach as far as possibly down starting from standing position and maintaining the position for 3 seconds. Records are indexed: for placing hands flat on the ground = 5, fingers touch the ground = 4, fingers reach the ankle = 3, fingers reach the tibia = 2, fingers/hand reach the knees = 1
7. Pushups measure muscular strength and endurance. Subject performs repetitions with knees on the ground, lowering body to a 90 degree elbow angle and then back up to the initial position.

Statistical Analysis

Descriptive analysis: Mean, standard deviation, Min and Max of measures for each test and according to age groups (children: 8 to 11, adolescents: 12 to 17 and adults 18 to 60) were calculated.

Comparisons: A one-way ANOVA has been used to test for statistical difference between age groups, weight categories and performances for each test.

Correlation: Spearman Rho correlation was calculated to measure the relationship between BMI and the different measures of tests.

Model: The equation of Moore {Moore1975} {Berthelot2011} was used to fit the progression-regression curve across all age groups for each of the speed test, Standing Broad Jump, 20 meter Shuttle Run and the Repeated Squat Jump test.

$$P(t) = a \times \left(1 - e^{bt}\right) + c \times \left(1 - e^{dt}\right)$$

The coefficients a , b , c and d are estimated using a least-square non-linear regression method with:

$$\begin{cases} a, c, d > 0 \\ b < 0 \end{cases}$$

Analysis was performed using MATLAB and SPSS, v.19.0 for WINDOWS; SPSS Inc, Chicago.

Results

Descriptive

The total number of recruited subjects was 31 133 for 8-60 years old. Children 8 to 11 $n=6494$ (20.85%), adolescents (12-17) $n=19\,496$ (62.62%), and adults (18-60) $n=5143$ ($n=16.51\%$). The year 2008 was the year with the highest number of promotional campaign days and participants per campaign. The number of promotional campaign days between the years 2006-2010 with the corresponding number of participants per year is presented in **table 1**.

Underweight children and adolescents were 2.57% (boys) and 2.46 % (girls). Normal BMI was 78.32% (boys) and 80.88% (girls). Overweight and obese children and adolescents were 14.42 % in boys, 12.90 % in girls and 4.68% in boys, 3.66% in girls respectively. Mean scores for the Diagnoform test across age groups are described in **table 2**.

Correlations

BMI and performance

Boys generally performed better than girls in all performances. Girls seem more flexible than boys across all ages and weight categories.

Adults in the normal weight for height category (BMI 18.5-24.99) performed longer distances in the *20m shuttle run* (Men: 621. 2 meters for Normal Weight (NW) versus 568. 8 meters for overweight (OW), Women: 516 meters for NW versus 467. 30 meters for OW) ; *standing broad jump* (Men: 213.9 cm NW versus 199,57 cm OW, Women: 160,73cm NW versus 142. 7 cm OW) ; *repeated squat jump* (Men: 1077.6 cm NW versus 1017,22 cm OW, Women: 797.1 cm NW versus 706.6 cm OW) and had the best records in respect to time for each of the *4*10m shuttle run* and *speed test*.

ANOVA analysis revealed a statistically significant difference $p < 0.0001$ between all groups in function of BMI category UW, NW, OW, OB.

Figure 1 and **Figure 2** represent the relationships between the BMI and the 7 fitness tests.

Age and performance

Spearman Rho correlations were a small to medium between age and the physical tests for females $p < 0.0001$ and a medium to strong correlation for the male group $n = 15\,782$, but all significant $p < 0.0001$.

Performance increases with age until the ages 26-28 then we observe a decrease, demonstrating a progression regression curve that is represented in **Figure 3**.

The mean age performance peak for the Speed, Standing broad jump, 20m shuttle run and repeated squat jump fitness tests is 26.32 for men and 22.18 for women.

Discussion

This study analyzes the data collected from the Diagnoform® test in function of age, sex and BMI. The major results of the following study are the mean average performances of the sample and the application of progression-regression law on performance revealing a mean peak at 26.32 years old for males and 22.18 for females showing a greater precocity and earlier decline in women suggestive of determinants in biological development. We found that girls had a lower performance rate at all ages compared to boys except for the flexibility test which is in accordance with the literature. In addition, overweight and obese subjects performed less well compared to their peers in the same age group and sex.

Children and adolescents

Through the test results French adolescents performed similarly to their Spanish scholars in the HELENA and AVENA studies {Moliner-Urdiales2010} specifically in the 4*10m shuttle run and the standing broad jump revealing a similar trend that can be measured with the same tool in different countries.

The development of physical fitness performance with age

Several studies identified the age of peak performance. The relationship between age and physical ability is a major characteristic of human development {Schulz1988}. An important factor to take into consideration is the inter-subjects variability that is affected by physical activity; nutritional status and genetic constitution. In addition, the performance during the test can vary due to environmental factors and conditions {Tomkinson2003}. All individuals are subject to a development phase then undergo a decline during ageing that can be easily described through a bi-exponential model {Berthelot2011}. The general population is now subject to sedentary behavior. Thus the measurement of fitness is necessary to evaluate the physical capacity and capability of coping. Moore's equation offers a simple model that clearly depicts the development phase of children, adolescents, young adults and the declining phase

of older adults and elderly. Adults in our sample (18-60 years old) performed higher scores than children and adolescents in all tests. Furthermore, we specifically observed that adults aged 40 to 60 years old performed better than expected given their age. In fact, physical fitness is expected to decline with age if not maintained with a habitual physical activity {Kampert1996} {Lakoski2011} {Paalanne2009}. However, given the lack of detailed information on their habitual physical activity we are unable to report correlations that might infer this conclusion.

Physical fitness measurement: a promotional tool?

Measuring physical fitness as a health indicator similar to body mass index (BMI) and waist circumference (WC) constitutes an essential variable to be monitored in order to analyze and understand the secular trends and the evolution of risks for metabolic and cardiovascular disease {Erikssen2001}. Nevertheless, the correlation between the measurement at a given time and the follow-up process has not shown to reverse habits or modify behavior to increase physical fitness and increase in daily energy expenditure. In fact, physical fitness testing and awareness is efficient if part of a larger multi-dimensional health promotion campaign that takes into consideration the nature and amount of habitual physical activity, the environment and the barriers {Naughton2006}.

Assessing relevant health indicators using simple tools such as the physical fitness series of test offers an essential component of health impact assessment. Although, some authors discussed the inconclusive negative effects of large scale fitness testing {Naughton2006} {Wrench2008}. Our study reinforces its importance and suggests implementing it following an intervention on habitual physical activity in order to demonstrate that the small changes in fitness are associated with a change in health {Blair2001}.

Perspectives

This series of tests seems to be an important initiative in the field of prevention and physical activity promotion in the French regions. The consequences of physical deconditioning can be mitigated with a well designed risk reduction strategy targeting the more in need while maintaining a critical approach in the understanding of the secular increase in the obesity and the sedentary behavior {HOLTERMANN2011} {Ross2009}. Multilevel programs such as ICAPS {Simon2006} in the eastern French region proved to be efficient in improving physical activity in adolescents. Other proposed effective ways to help in reversing the deconditioning process and in preventing undesirable effects is active transportation which can help in increasing physical fitness. For instance a 20 to 30 min cycling transportation to school or work may increase aerobic power and thus result in higher levels of fitness {Andersen2009}.

Successful physical activity interventions target intrapersonal, social, physical environmental and policy changes. This series of tests can be considered an important health indicator and might be able to complement strategies as a promotional tool. Its application on a representative population across all ages will open the possibility of creating quintiles, healthy fitness zones and analyze correlations with different life-style factors. Thereafter, evaluating changes that differ from normal zones would offer a new tool for public health monitoring.

Study limitations and strengths

The strengths in the following study are (1) the applicability of the same series of tests on a large French population across 4 years (2) the high number of participants during the promotional days and (3) the possibility of modeling the data using a new approach that offers a global transversal picture of the fitness level in a population according to performance in the series of tests. The major limitations in this study are the non-normal distribution of age, the minor representation of the elderly and the insufficient details on the physical activity habits of the participants.

Conclusion

Our study reports the physical fitness level of a large French sample and uses a bi-exponential model to show the consistency in depicting the progression- regression of fitness levels. Its applicability as an evaluation and monitoring tool might offer new insights in the field of health promotion.

Acknowledgments

We thank the INSEP teams, and the Ligue Nord Pas De Calais for their full support. We thank Ms.Nour El Helou, Mrs. Karine Schaal, Ms. Marion Guillaume, Mr.Stéphane Len, Mr.Geoffroy Berthelot and Mr. Andy Marc for their helpful input during the analysis and the review of the article.

Article - Condition Physique

Year	MALES 4-80		FEMALES 4-72	
	Promotional Campaign days	Participants	Promotional Campaign days	Participants
2006		8 919		9 1004
2007		44 2754		41 2272
2008		80 6598		83 6712
2009		68 3465		73 3615
2010		27 2190		25 1829
Total		227 15917		231 15432

Table 1: Participants by year and gender

Standing Broad Jump (cm)	Age	Gender	n	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max
	8 to 11	Boys	3267	143.12	23.24	50	300	12.28	1.12	8.02	21.82	519.61	62.36	80	950	702.86	115.82	230	1740
		Girls	3227	130.64	22.38	50	250	12.96	1.18	9.37	24.00	490.24	55.77	180	900	653.73	108.76	180	1123
	12 to 17	Boys	9786	174.74	35.18	45	305	11.33	1.35	8.1	38.25	566.99	75.77	200	1000	858.46	180.94	300	1900
		Girls	9710	147.17	26.44	30	400	12.27	1.28	8.5	40.00	512.2	60.58	120	980	719.22	122.23	280	1224
	18 to 39	Men	2172	213.26	30.48	90	400	10.4	1.04	7.91	20.5	618.27	69.68	300	1000	1075.93	153.25	420	1610
		Women	2001	159.79	27.16	49	255	11.84	1.25	9.02	26.00	515.64	68.02	200	800	791.83	130.66	160	1260
	40 to 60	Men	557	195.21	28.64	80	265	11.09	1.2	9.18	20.16	566.19	72.21	200	760	986.14	147.05	300	1360
		Women	413	150.15	28.89	60	250	12.57	1.62	9.69	24.74	482.05	68.57	240	700	750.85	141.1	200	1620
Age	Gender	n	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max					
Speed (sec)	8 to 11	Boys	3267	5.84	1	4	45.74	Push-Ups (reps)	26.12	15.93	0	126	Flexibility Index (1-5)	3.29	0.89	1	5		
		Girls	3227	6.24	0.77	4	19.00		20.00	12.35	0	100		3.57	0.93	1	5		
	12 to 17	Boys	9786,00	5.33	0.72	3.33	12.53		34.27	19.02	0	160		3.46	0.92	0	5		
		Girls	9710	5.81	0.69	3.67	16.13		20.85	12.63	0	148		3.86	0.95	0	5		
	18 to 39	Men	2172	4.7	0.52	3.63	10.15		46.78	20.55	0	150		3.76	0.9	1	5		
		Women	2001	5.63	0.75	4	12.97		25.97	14.81	0	110		4.13	0.89	1	5		
	40 to 60	Men	557	5.13	0.67	4.05	12.37		40.39	19.97	0	160		3.73	0.92	1	5		
		Women	413	6.1	0.88	4.33	11.79		27.5	16.2	0	150		4.24	0.88	0	5		

Table 2: Means scores (+/- SD, Min-Max) of fitness tests according to 4 age groups and gender

Article - Condition Physique

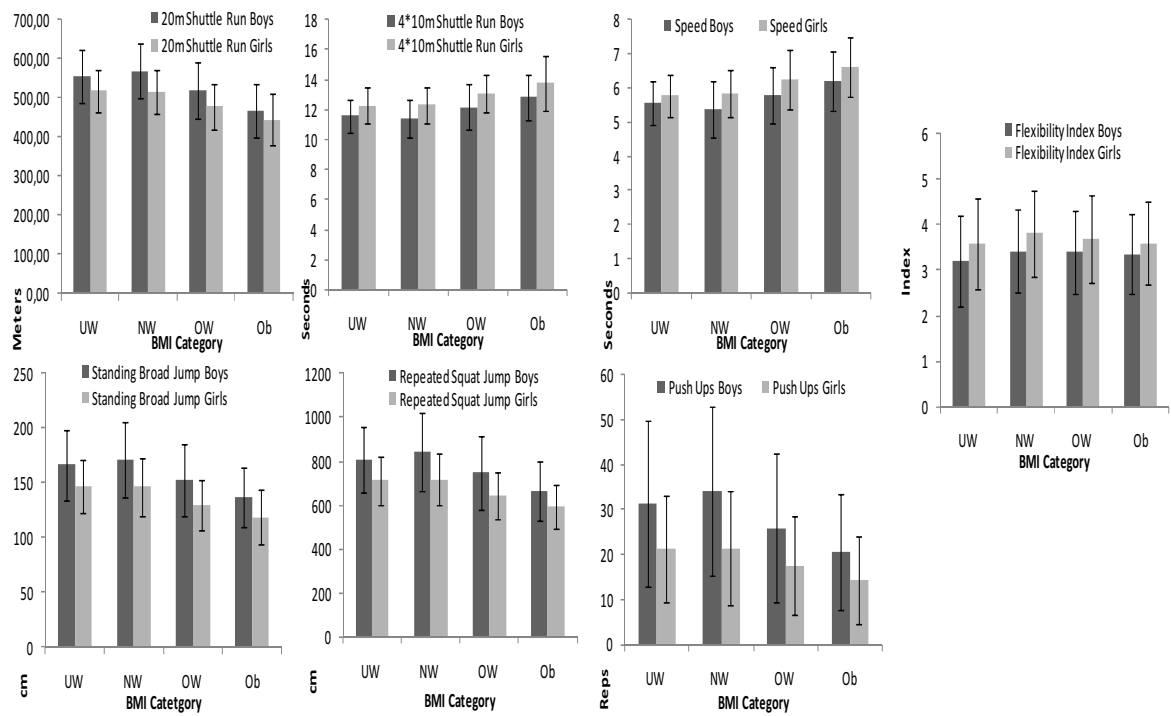


Figure 1: Mean performance according to BMI category in children and adolescents. (UW: underweight for age and height, NW: normal weight for age and height, OW: overweight for age and height, Ob: obese). Bars represent +/-SD.

Article - Condition Physique

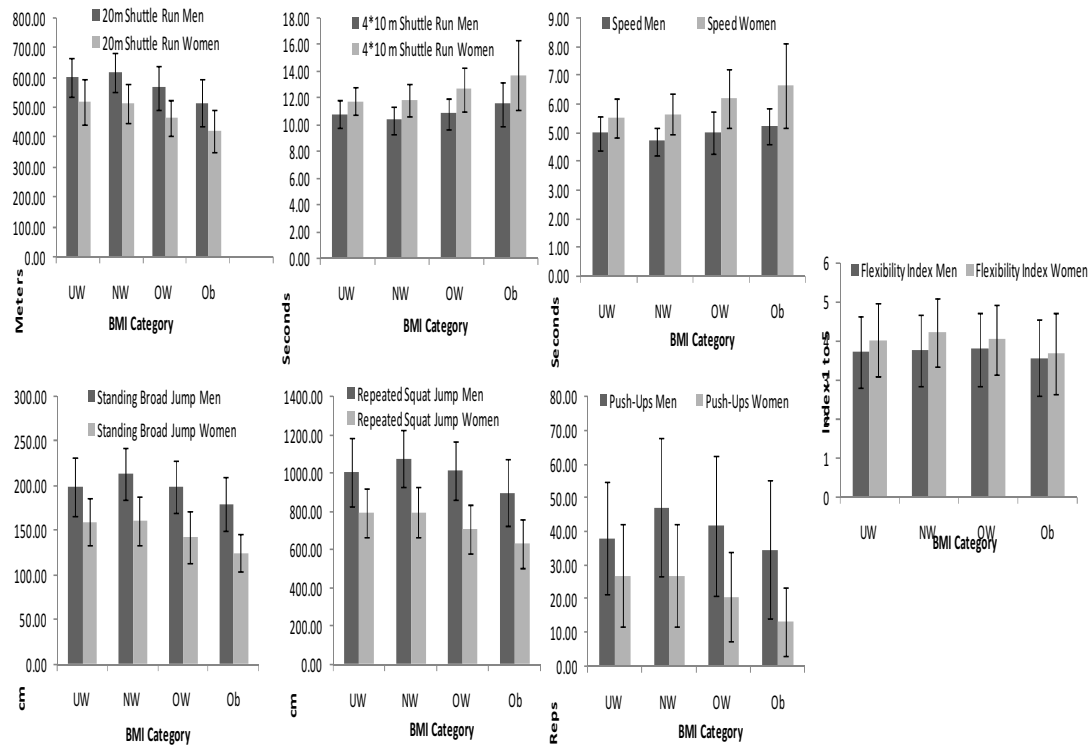
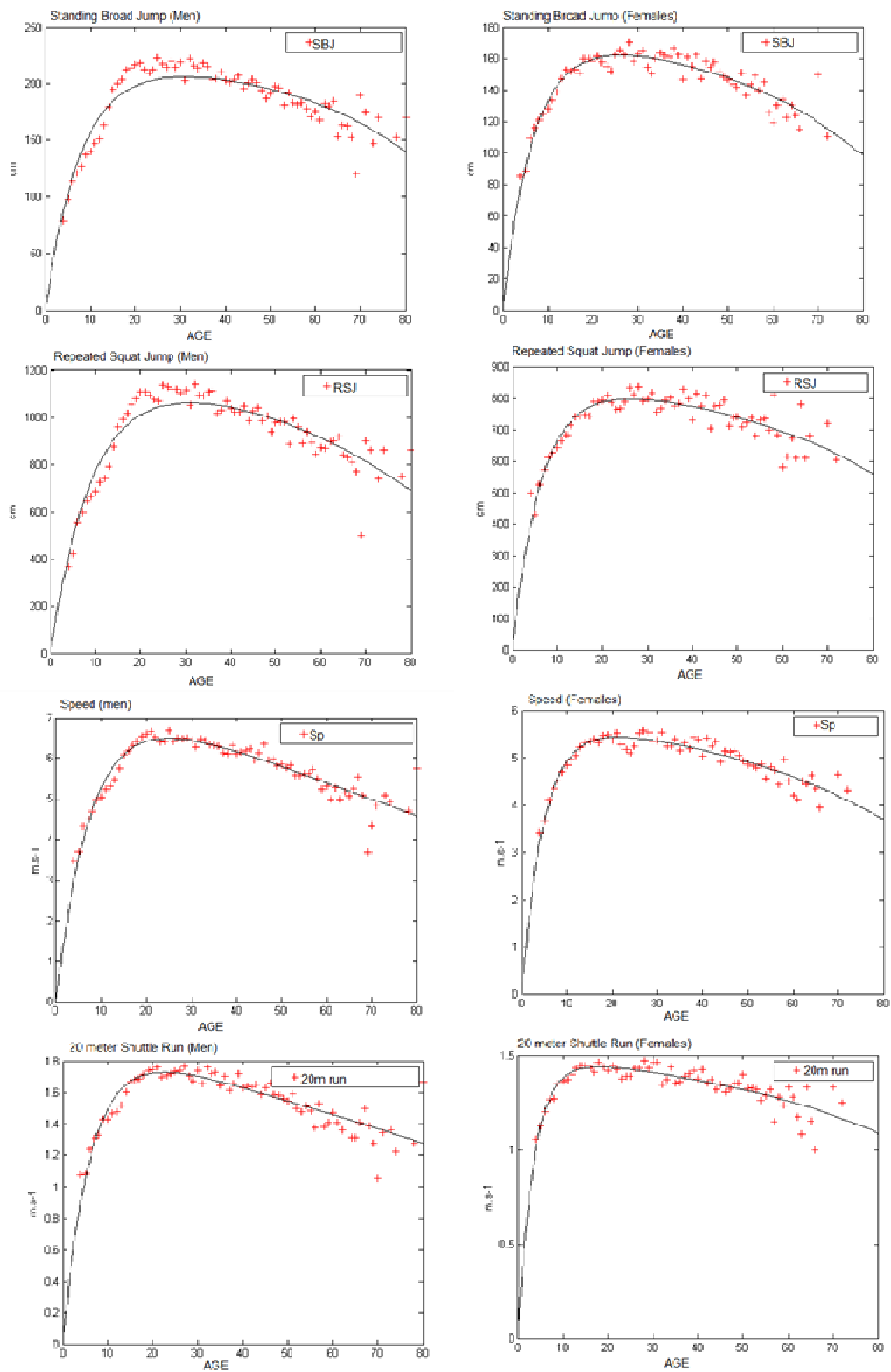


Figure 2: Mean performance according to BMI category adults. (UW: underweight for age and height BMI<18.5, NW: normal weight for age and height BMI 18.5-24.9, OW: overweight for age and height BMI 25-29, 9, Ob: obese BMI >30). Bars represent $\pm$ SD.

Figure 3: Progression-Regression curve using a bi-exponential model on the mean results of 4 quantifiable tests: Standing Broad Jump-Repeated Squat Jump-Speed-20 meter shuttle run.



CHAPITRE 7

Chapitre 7: Intervention en Entreprise

7.1. Contexte général

L'entreprise constitue un environnement idéal d'intervention pour la promotion de la santé compte tenu du fait qu'une grande partie de la population générale travaille au sein d'une entreprise. L'entreprise pourrait être alors considérée comme un environnement important pour promouvoir et encourager des changements positifs sur le mode de vie {Maes2011}. La création d'environnement favorable au sein et autour de l'entreprise s'inscrit dans les recommandations de promotion d'activité physique. De plus, la commission de rapport préparatoire du PNAPS (Plan National de Prévention par l'Activité physique ou Sportive) {Toussaint2008} recommande d'intégrer l'activité physique ou sportive au sein de l'entreprise au titre de la prévention. Les auteurs d'une méta-analyse d'interventions en entreprise identifient un besoin de mise en place d'études d'évaluation d'intervention en entreprise {Conn2009}.

En plus, des effets bénéfiques mentionnés dans le chapitre 2, l'activité physique ou sportive en entreprise augmente : l'efficacité durant le travail, diminue l'absentéisme et offre un état de bien-être et de santé chez les salariés {Bauman2009} {MAES2011} {Toussaint2008}.

Une des problématiques dans les entreprises est relative aux troubles musculo-squelettiques (TMS) et notamment à la douleur lombaire (lombalgie), elle représente un enjeu social et économique. Les TMS touchent principalement les industries où les salariés qui effectuent des gestes répétitifs durant leur temps de travail. Pour cela, le ministère du travail, de la solidarité et de la fonction publique a mis en place une campagne de prévention des TMS en 2010 afin de faire un état des lieux de la prévalence, des risques et des solutions pour les entreprises.

La lutte contre la lombalgie est considérée comme un enjeu majeur de la santé au travail, pour cela, il est important de mobiliser l'ensemble des acteurs afin de diminuer les TMS dans les entreprises {Schonstein2003}.

L'activité physique est une solution dans la gestion des TMS et plus particulièrement la lombalgie.

7.2. Etude Pratique en entreprise - Essai contrôlé et randomisé -

Dans le cadre d'une stratégie de promotion de la santé au sein de l'entreprise nous avons mis en place une démarche de remise en forme des salariés souffrant de douleur lombaire chronique. Le but de cette intervention était de prouver l'efficacité et l'utilité d'un traitement par l'activité physique en entreprise sur des sujets à risques. L'hypothèse était qu'une intervention sur le lieu de travail aura des effets positifs en termes d'impact sanitaire et permettra de diminuer la kinésiophobie et encouragera la pratique d'activité physique de loisirs.

La Douleur Lombaire

Les facteurs de risques de sa survenue sont nombreux {Thiebaut2008}. Les plus cités dans les études sont l'âge, le surpoids, le déconditionnement physiques, le statut sociodémographique, la position inadéquate lors de tâches répétées durant le travail ou les traumatismes {Manchikanti2000} {Schneider2005}. En France, les douleurs lombaires présentent un défi pour les autorités sanitaires et des coûts importants.

L'activité physique ou sportive intervient dans la prévention en diminuant les effets de la lombalgie sur plusieurs paramètres biologiques et psychiques. C'est par ce biais que nous avons pu tester l'application d'une intervention de promotion d'activité physique en entreprise car les difficultés d'application y sont multiples {Conn2009}. La remise en forme des salariés en entreprise présente une porte d'entrée pour les stratégies de promotion d'activité physique.

Type d'étude: Essai contrôlé et randomisé

Population: Soixante quinze salariés (N=75) volontaires travaillant au sein de l'entreprise sur un atelier montage et présentant une lombalgie chronique selon les critères du document de synthèse de la HAS en 2005. Ces sujets ont été sélectionnés par le médecin de travail et randomisés en 2 groupes. L'attribution a été faite par tirage au sort. Un groupe a reçu des séances d'exercice physique et d'éducation en matière de douleur lombaire durant 2 mois pendant les heures de travail, l'autre groupe a seulement bénéficié d'une séance de prévention de la douleur lombaire. Les deux groupes ont été suivis pendant 6 mois.

Critères d'exclusion: Chirurgie récente ou présence d'une pathologie intercurrente

Matériel et méthodes

Données

1. Les champs suivants ont été recueillis: l'année de naissance, le sexe, l'IMC, la pratique ou non d'une activité physique régulière et les antécédents médicaux.
2. **Paramètres Physiques**
 - a. **Evaluation de l' hypo-extensibilité musculaire des ischio-jambiers** (Hypo.H) par la mesure de la distance en centimètre (cm) entre les doigts et la pointe des pieds en position assise au sol avec jambes tendues, **des quadriceps** (Hypo.Q) en mesurant la distance (en cm) entre talon-fesse en position allongé sur le ventre et **des fléchisseurs du bassin** (Hypo.HF) en mesurant la distance (en cm) entre le genou et le plan de table en procubitus.
 - b. **Evaluation de la déficience articulaire** par la mesure de la distance entre les doigts et le sol (en cm) durant une flexion antérieure (A.Incli)
 - c. **Evaluation de la force musculaire du dos et des abdominaux** avec les tests SORENSEN et SCHIRADO respectivement.
3. **Paramètres psychologiques et la qualité de vie liés à la douleur**
 - a. **EIFFEL (Roland Morris Disability Questionnaire)** Echelle d'incapacité fonctionnelle pour l'évaluation des lombalgies à travers 24 items qui mesurent l'effet de la lombalgie sur l'activité physique, les tâches domestiques et la vie quotidienne.
 - b. **L'échelle de Québec** mesure l'évaluation fonctionnelle des sujets souffrant d'une lombalgie chronique. Elle consiste en 20 items cotés de 0 à 5.
 - c. **Echelle TAMPA** pour la mesure de l'indice de kinésiophobie. Le score est sur 68. Un score de 40 est considéré comme significatif.
 - d. **Le questionnaire DALLAS ou D.R.A.D** mesure l'effet de la douleur sur les activités quotidiennes (Ddaily), les activités professionnelles et les loisirs (Dwork-rec), l'anxiété, la dépression (Danx-dep) et la sociabilité (Dsocial). Le questionnaire est divisé en quatre parties et les scores sont sur 100%.
 - e. **Echelle de la douleur EVA** (échelle visuelle analogique) (NRS Numercial Rating Scale) de 1 à 10 cm avec un 1 signifiant pas de douleur, et 10 douleur maximale

Description de l'intervention

Toutes les mesures ont été recueillies durant les heures de travail par la kinésithérapeute ou l'éducateur physique à T0 (début de l'intervention), T1 (2 mois après l'intervention) et à 6 mois (T2).

Les sujets du groupe actif ont suivi 3 séances d'activité physique et de renforcement musculaire par semaine d'une durée de 60 minutes, pendant 2 mois. Le nombre de séances par semaine et le contenu de l'intervention ont été choisis en fonction des recommandations du American College of Sports Medicine exercise guidelines (2000 édition). Les paramètres pris en compte sont notamment la fréquence et l'intensité des méthodes de renforcement musculaire, de souplesse et des exercices d'endurance.

En parallèle, les deux groupes actif et contrôle ont suivi un cours de prévention, expliquant l'anatomie, la biomécanique et les méthodes (d'ergonomie) recommandées de positionnement et d'exercice contre la douleur lombaire.

Détails des séances:

1. Echauffement pendant 10 minutes
2. Exercice proprioceptif pour une meilleure mobilité et afin de prévenir la kinésiophobie (15 minutes).
3. Exercice de renforcement musculaire des principaux muscles: dos, abdominaux, fessiers, psoas, ischio-jambiers et le grand-dorsal (10 minutes).
4. Flexibilité: travaille de souplesse et étirement (10 minutes).
5. Physiothérapie avec pack chaud à la fin de la séance afin de détendre le muscle et de prévenir les douleurs (15 minutes).

Saisie et Analyse Statistique

Les données ont été saisies sur Excel et anonymisées. Après chaque session (T0, T1, T2), les résultats étaient transférés à l'IRMES pour analyse.

Nous avons effectué une analyse multivariée (MANOVA) pour une analyse globale et pour tester l'évolution en fonction du temps. Nous avons effectué un test de student pour $n > 30$ et un test de Wilcoxon pour $n < 30$ afin de tester l'existence d'une différence significative entre les trois périodes de temps pour l'ensemble des tests de l'évaluation.

Le traitement des données statistiques a été fait sur R et SAS.

Résultats

Nous avons observé une amélioration $p < 0.05$ à 2 mois chez les patients du groupe expérimental pour l'ensemble des tests, excepté pour l'effet de la douleur sur la sociabilité et la pratique régulière de la marche. Après l'intervention (à 6 mois), les améliorations persistent sur le plan de la capacité fonctionnelle, la kinésiophobie, l'hypo-extensibilité, la déficience articulaire, la force musculaire du dos, l'effet de la douleur sur les activités quotidiennes et professionnelles, l'anxiété, la pratique régulière d'une activité physique et la marche. Parallèlement, nous avons observé des effets bénéfiques à 6 mois pour le groupe témoin, sur l'échelle de la douleur EVA, l'effet de la douleur sur les activités professionnelles, l'hypo-extensibilité des quadriceps et la flexion antérieure.

Au cours de l'étude, certains sujets sont sortis de l'essai en raison d'arrêt maladie ou d'absence aux séances d'évaluation et/ou d'intervention. 22% (8/37) des patients du groupe expérimental et 40% (15/38) des patients du groupe contrôle ont été retirés de l'analyse.

Discussion

Les résultats de cette étude montrent l'effet positif d'une intervention promouvant l'activité physique, d'une fréquence de 3 fois par semaine pendant 2 mois en entreprise sur la douleur lombaire chronique. Les données montrent une remise en forme très significative ($p < 0.01$) et mettent en évidence l'impact de la pratique d'une activité physique supervisée, renforçant les paramètres physiques d'extensibilité, d'inclinaison, et de force, ainsi que les paramètres psychologiques (anxiété, kinésiophobie) liés à la douleur. L'amplitude de ces changements

présente un réel bénéfice sur la santé. En effet, les résultats observés sur des facteurs déterminant comme la diminution de la douleur et l'augmentation de la capacité fonctionnelle (facilité de mouvement) soulignent l'impact d'une prise en charge de sujets souffrant de douleur lombaire. Par ailleurs, les effets bénéfiques observés chez le groupe témoin à T2 pourraient être dus au fait que ces derniers déclarent avoir pris part à des activités physiques et de loisirs durant leur temps libre. Toutefois, ces mesures restent déclaratives, en effet, nous n'avons pas mesuré leur niveau d'activité physique en dehors des séances de tests prévues par le protocole. D'autre part, l'impossibilité de mettre en place une intervention en double aveugle dans le milieu de l'entreprise a pu intervenir dans les résultats de l'étude. En effet, nous supposons que les sujets perdus de vue du groupe contrôle se sont sentis moins investis que ceux du groupe pris en charge, et ont ainsi absenté aux séances d'évaluation.

En parallèle, un des éléments déterminant de la mise en place de stratégies politiques (et sanitaires) est le rapport coûts/bénéfices. L'analyse repose sur l'évaluation du gain (diminution de l'absentéisme, diminution des arrêts de travail, efficacité dans le travail) versus le coût d'investissement pour la mise en place de l'intervention (recrutement kiné, matériel...). Cependant, nous ne disposons pas des données nécessaires afin d'intégrer et mesurer cet élément dans notre étude.

L'intérêt de cette étude est l'application concrète des recommandations au sein d'une entreprise et la mise en évidence d'une amélioration de la santé suite à la pratique d'une activité physique. Une démarche similaire pourrait être alors envisagée dans d'autres entreprises. L'entreprise semble être un lieu efficace pour mettre en pratique les recommandations et ainsi toucher une grande partie de la population générale.

7.3. Article: Evaluation of a Randomized Control Trial in the Management of Chronic Lower Back Pain in a French automotive industry: an Observational Study

Evaluation of a Randomized Control Trial in the Management of Chronic Lower Back Pain in a French automotive industry: An Observational study

Hala Nassif MS* ^{ab}, Nicolas Brosset MD ^e, Marion Guillaume MS^a, Emilie Delore-Milles MS ^e, Muriel Tafflet MS^{a c}, Frédéric Buchholz MS^e, Jean-François Toussaint MD PhD^{a b d}

^a IRMES, INSEP, 11 avenue du Tremblay, 75012 Paris, France

^b Université Paris-Descartes, 12 rue de l'école de médecine, 75006 Paris, France

^c INSERM, U970, Paris Cardiovascular Research Center - PARCC, 56 rue Leblanc 75015 Paris, France

^d CIMS, Hôtel-Dieu, Assistance Publique Hôpitaux de Paris, 1 Parvis Notre Dame, 75004 Paris, France

^e AUTOMOBILES PSA PEUGEOT CITROEN site de Mulhouse, Service de santé au travail, BP 1403 68071 Mulhouse Cedex

SOUS PRESSE ARCHIVES OF PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION

Abstract

Objective: To evaluate a specific work-place intervention for the management of chronic lower back pain among employees working in assembly positions in the automotive industry.

Design: Randomized controlled trial.

Setting: On site at the workplace of a French automotive industry.

Participants: Subjects (N = 75 volunteers) were recruited on site and randomly assigned to either an experimental group (n=37) or a control group (n=38).

Intervention: The experimental group followed a supervised 60 minute session, 3 times per week, of muscle strengthening, flexibility and endurance training during 2 months. The control group received no direct intervention. Evaluation took place at baseline, 2 months and 6 months.

Main outcome measures: Pain related parameters measuring (Quebec, RMDQ, DALLAS, TAMPA) were evaluated using validated questionnaires translated into French, Perceived pain intensity was evaluated using the NRS and physical outcome measures were evaluated using specific indicators (Flexibility, Sorensen, Shirado). Each of the MANOVA, t-test and Wilcoxon were used for statistical analysis.

Results: We observed significant beneficial effect ($P < 0.025$) for the experimental group at 2 and 6 months in pain parameters, in specific flexibility and back functions and a v significant improvement at 6 months in the control group for the perceived pain intensity, anterior flexion, flexibility of quadriceps and DALLAS's work-recreational score. An increase in the practice of physical activity outside the workplace was noted in both groups at 2 months but persisted at 6 months for the experimental group.

Conclusion: This study reinforces the multiple health benefits of physical activity and physical therapy care in the workplace by assisting individuals at risk suffering from chronic LBP.

Key words: low back pain; exercise; physical therapy; workplace

Abbreviations:

RCT Randomized Controlled Trial

LBP Lower Back Pain

MSD Multiple Skeletal Defects

NRS Numerical Rating Scale

Ddaily Impact of pain on daily activity

Dwork-rec Impact of pain on work and recreational activity

Danx-dep Impact of work on anxiety and depression symptoms

Dsocial Impact of pain on social activity

RMDQ Roland Morris Disability Questionnaire

FFD Finger to Floor Distance

FTD Finger Tip of toes Distance

HBD Heel Buttock Distance

Hypo H Hypo extensibility of the Hamstrings

Hypo Q Hypo extensibility of the Quadriceps

Hypo HF Hypo extensibility of the Hip Flexors

EXP Experimental Group

CONT Control Group

Low back pain (LBP) accounts for 56% of Multiple Skeletal Disorders (MSDs) in the food industry, retail, construction and public work, and personal services. In France MSDs represent 95% of occupational disease and the number of new MSDs has increased by approximately 13% since 1995. MSD compensation in 2008 generated a loss of 8.4 million days of work.

Throughout the past years, there has been growing research and practice improvements. Our understanding of LBP and its management has improved following several evidence based-research studies {VAN_MIDDELKOOP2010}. Even though numerous surveys on the prevalence of LBP have been published, no significant improvements have been observed {Dagenais2008} {Rossignol2009} {Dunn2004} LBP is still a major concern in public health policies within the 45-65 year old age group; and is one of the most frequently reported medical reasons for work-loss {WADDELL2001}. Industries may have a large impact in the prevention and management of LBP through the adoption of prevention strategies and practices. The burden of work disability is shared by the worker, the industry and the general economy.

The relationship between pain, disability and work offers a large field of study in ergonomics and work health related issues. Jobs at risk of developing or worsening LBP symptoms are jobs that require highly repeated gestures, overexertion, and static work maintained over time. The correlation between physical demands at work and LBP is complex {COSTA-BLACK2010}. Several environmental and personal factors interrelate in the burden of LBP. Risk factors include biomechanical, psychosocial and individual factors. Additionally, several confounding variables such as age, gender, social and psychological status cannot be excluded and should be taken into consideration. The environment and the coping demands of the work are also confounding variables {PFINGSTEN1997}. Psychological problems can be both risk factors and consequences of chronic LBP, the elusive nuance is difficult to assess. Low level of education (affecting lifestyle factors) and older age are other associations {LECLERC2009}. Current international strategies for physical activity promotion recommend the implementation of physical activity opportunities within the work settings in order to reach a larger part of the population {BAUMAN2009}. A long period of pain is susceptible to build up physical, social and psychological disabilities {KARJALAINEN2001}. Thus an early intervention and a prevention strategy are essential to avoid entering the vicious cycle of LBP. Although key risk factors have been identified, the onset of LBP has been increasing during the past years rendering its management a persistent challenge {KENT2010}. However a large number of workers suffering from back pain will not engage in a physical activity beneficial for their health due to fear of movement and pain {RAINVILLE2004}. It has been proven that any type or form of physical activity with on-going supervision and long

term follow-up are successful determinants of an intervention to properly treat LBP and prevent its onset {Negrini2008}. In fact, effective interventions have been described in several studies {CAROLY2010} {WADDELL2001}, but due to the disparities in methodology, in the outcome measures chosen and in the clinical settings, there is a need for more evidence-based quality trials in specific work settings such as factories. Effective management of chronic LBP with a persistent long term effect is an important factor in decreasing the burden of LBP in general. The workplace is a good environment to reach a large number of the general population {CONN2009}.

The primary objective of the current study is to evaluate the effectiveness of a specific workplace intervention in a car manufacturing company by targeting workers in “at-risk” jobs who suffer from chronic LBP. We test the hypothesis that a fully supervised workplace intervention results in improvements in physical parameters, and pain related parameters. Through this study, we aim to promote the importance of on-site interventions for increasing physical activity and managing LBP.

Methods

Overview and Study Design

Workers currently working in the assembly line of a car manufacturing company (N=75) (Peugeot Citroën Mulhouse) suffering from chronic LBP took part in the study. All participants signed a written informed consent prior to the intervention and were assigned by simple randomization into either the experimental (EXP) (n=37) or the control (CONT) group (n=38) accordingly. The random allocation sequencing was generated by the medical doctor using a random number table. The EXP group (n= 37) followed a supervised work place intervention of exercise and physiotherapy during 2 months. Workers were informed of their rights as participants in scientific research according to the Helsinki declaration.

Inclusion criteria

Voluntary workers (men and women) aged 18 years old and above currently working in the assembly department of the Mulhouse site and suffering from chronic LBP.

Exclusion criteria

After a medical consultation, patients with recent surgery or serious pathologies related to the onset of LBP or interfering with the measurements (malignant, traumatic, inflammatory LBP, cardiac or respiratory problems and severe psychological disorders) were excluded from the study.

Intervention

Based on the American College of Sports Medicine exercise guidelines (2000 edition)(American College of Sport Medecine, 2000) for muscle strengthening, flexibility training, and cardiovascular endurance, the EXP group performed 60-minute sessions of physical therapy and physical exercise 3 times per week during 2 months. All sessions were administered to groups of 2 to 6 patients and fully supervised by an in-house physical therapist and a physical educator. For organizational purposes within the workplace and for proper supervision the participants were divided into 3 groups that started the intervention at different stages throughout the year (January, July, and December 2009). The sample size (N=75) of the experiment was the minimum needed for statistical power (0.8) with effect size (Cohen's $d= 0.65$) and was determined in relation to the previously stated organizational purposes.

The EXP group's sessions focused on training the major muscle groups. The intensity of the exercises during the intervention was personally adapted to each participant and all the sessions took place within the workplace medical department. The types of exercise performed during the intervention included: joint flexion and extension, stretching, stability, coordination and

muscle strengthening exercises. The overall aim was to facilitate movement and to encourage workers to remain physically active and be aware of inappropriate postures or movements that might increase pain and discomfort. Advice to change maladaptive behavior and general advice about healthy lifestyle were also offered. Participants in the CONT group received no direct intervention but were free to consult externally. All participants received medical and paramedical consultation on the benefits of physical activity and proper working posture positions as part of a global workplace policy and strategy.

Physical therapy refers to the warm physiotherapy using warm packs on the physical part in pain (15mn at end of session) and exercise refers to the warm-up, joint flexion, extension, coordination, muscle strengthening-endurance and stretching/flexibility (45mn per session).

Data collection strategy

A data collection grid was prepared prior to the beginning of the intervention. Information and measurements were collected by the physician or the physiotherapist on-site and then transferred to the IRMES for statistical analysis while maintaining confidentiality.

Outcome measures and monitoring criteria

Demographic characteristics

Collected data were: age, body mass index (BMI), practice of regular physical activity, and medical history.

Pain and its impact

To evaluate the subjective perceived pain intensity a numerical rating scale (NRS, 0-10) was used. The impact of pain on different activities was assessed using the DALLAS questionnaire (0-100%); the questionnaire is divided into 4 parts: Ddaily, Dwork-rec, Danx-dep, Dsocial. This describes Ddaily: Impact of pain on daily activity; Dwork-rec: impact of pain on work and recreational activity; Danx-dep: Impact of work on anxiety and depression symptoms; Dsocial: Impact of pain on social activity. Furthermore each of the Quebec back pain disability questionnaire (score 0-100) and the Roland Morris Low back Pain and disability questionnaire (RMDQ) (score 0-24) were also used in the evaluation of the impact of pain in daily life. The TAMPA scale (0-56) was used to measure kinesiphobia (fear of movement).

The use of this large selection of questionnaires was chosen to strengthen our understanding and verify that the changes observed are in accordance and follow a similar trend.

Physical parameters

To evaluate the flexibility of major lower muscles the muscular hypo-extensibility was evaluated for each of the hip flexors (HF), the hamstrings (H) and the quadriceps (Q). We evaluated the flexibility of the HF by measuring the knee to table distance (KTD) position laying face down. For the hamstrings: the finger tip of toes distance (FTD) sitting position on ground legs straight. For the quadriceps: the heel/buttock distance (HBD) position face down. All measurements are in centimeters (cm). To estimate the isometric endurance of trunk extensor and abdominal muscles, the Sorensen {DEMOULIN2006} and the Shirado endurance tests (in seconds) were chosen. To evaluate overall flexibility, the anterior flexion was measured by the finger to floor distance (FFD). Our decision to measure the following physical parameters was in relation to the effect of LBP on gait and the activity of the lumbar erector spinae {LAMOTH2006}.

All measurement tools have been previously used and validated in previous studies {CALMELS2005}. Validated French versions of the questionnaires were used accordingly.

Statistical analysis

Data are expressed as mean $\pm$ standard deviation and qualitative variables as number and percentage.

1) As a global approach, we performed a multivariate analysis of variance (MANOVA) on each outcome measured. We used outcome measures as dependent variables and each of the time and the interaction of time by groups as independent variables. Level of significance was set at $p < 0.05$.

2) Outcome measures (baseline, 2 and 6 months) were described and we compared (2 and 6 months) to baseline using student test and Wilcoxon test as appropriate, for the two groups separately.

Data were analyzed using the R version 2.6.2 and the SAS software version 9.2.

Assessment procedure and follow-up

Detailed physical assessment was carried out by the medical doctor and the physiotherapist at the workplace. Outcome measures were assessed at baseline, following 2 months of the start of the intervention and a follow-up at 6 months. The total mean gain was calculated between the mean score difference at 6 months and at baseline. We excluded subjects with a large amount of missing data, for instance at 6 months follow-up $n=3$ in the EXP group and $n=5$ in the CONT group were not included in the analysis.

Interpretation of results and thresholds

A beneficial effect of the intervention leads to a decrease in the scores obtained on the NRS, DALLAS, Quebec, RMDQ, and TAMPA and to a decrease in the distance (cm) for each of the FTD, HBD and FFD. Whereas the KTD (cm), Sorensen and Shirado tests (seconds) should increase.

For better interpretation and since there is no consensus for the minimum important difference between groups we evaluated the results according to different approaches (1) Statistical significance using MANOVA to test the global effect of time and interaction of time by group, (2) student t-test or Wilcoxon test to evaluate the difference between the two time points and baseline.

According to literature {Nicholas2008} {Ostelo2005} {Wilhelm2010} {JORDAN2006} a 50% score or greater in the DALLAS questionnaire and a score of 40 and above for the TAMPA scale are considered pathological. In general, a 30% improvement threshold is identified as clinically meaningful.

Results

Baseline Characteristics

The mean age was 45.13 ± 9.1 (range, 30-59) for the EXP group and 45.3 ± 8.8 (range, 27-60) for the CONT group. Demographic data, physical activity practice, and anthropometric measurements are shown in Table 1.

The compliance of the subjects at each stage of the study are presented in the CONSORT Flow-chart diagram in Figure 1. There was no statistically significant difference between the two groups. Participants who were more compliant and present for the follow-up measurements were younger than the absent or sick ones. The ratio men/women didn't change throughout the study. The most frequent reason for missing data was absence or sickness the day of the measurement. Subjects couldn't be re-evaluated on another day due to organizational reasons within the company.

Detailed Assessment of outcome measures

In all outcome measures, MANOVA revealed that there were an effect of time and an interaction between time and group, except for 2 measures, the Dsocial and the Shirado test (Table 2).

Pain Related Parameters

The evolution of pain related parameters with time and according to group are presented in Figures 2 and 3. The mean scores for all the outcome measures at baseline, 2 months and 6 months with the p-values difference between each times for groups separately are presented in table 3. Means of flexibility and endurance at each time in both groups are presented in Figure 4.

Perceived Pain (NRS)

At 2 months the total mean difference was significantly lowered compared to the CONT group (1.8 versus 0.51). At 6 months however the total mean difference no longer differed between groups (1.39 and 1.4 for EXP and CONT respectively).

Kinesiophobia (TAMPA)

We observe a statistically significant decrease in the EXP group at 2 and 6 months. From a clinical point of view 5 Patients in the EXP and 6 in the CONT group recovered and had a score < 40 after 6 months follow-up. These 11 patients that recovered had lower scores at baseline. The total mean difference was significantly lowered by 5.12 scale points following 2 months in the EXP group compared to 1.92 in the CONT group. At 6 months the CONT's group total mean difference compared to baseline was higher than for the EXP group (2.65 versus 2.07) but wasn't statistically significant.

Work and Daily Disability

RMDQ and Quebec questionnaire

The mean average scores for both questionnaires decreased significantly $p < 0.025$ following the intervention in the EXP group (from 13.91 ± 4.63 to 9.75 ± 5.00 for the RMDQ and from 40.86 ± 18.52 to 26.51 ± 13.51 for the Quebec). The CONT group had a general tendency in score amelioration but wasn't statistically significant. The difference in difference between the 2 groups for the RMDQ and Quebec scores is in favor for the EXP group which decreased by a mean of 2.69 RMDQ points and 9.9 Quebec points at 2 months and by 2.18 RMDQ points and 7.76 Quebec points at 6 months more than the CONT group.

DALLAS (percentage)

Ddaily

At 6 months-follow-up both groups showed a decrease in percentage. The effect was statistically significant for the EXP group at both time points.

Dwork-rec

A statistically significant change was observed for the EXP group at 2 and 6 months and at 6 months for the CONT group.

Danx-dep

The EXP group had on average a higher score at baseline compared to the CONT group (44.73 ± 19.45 versus 36.48 ± 22.96) with 41 % having a score > 50% at baseline versus 32.4 % in the CONT group. Following the intervention at 2 months the status was reversed. The EXP group had less anxiety and depression symptoms with an average of 30.00 ± 20.74 (23.5%) while we observed stagnation in the CONT group (32.3%).

At follow-up we observed a persistent amelioration in the EXP group (15% having score > 50) and a decrease for the CONT group (17.4%).

Dsocial

No statistically significant change was observed in either group at 2 or 6 months.

Physical Parameters

Flexibility

The Hypo-extensibility for each of the Hamstrings (FTD), the Quadriceps (HBD), the Hip Flexors (KTD) and the Anterior Inclination (FFD) is described. Results are presented in Figure 4.

Hypo-extensibility Hamstrings (FTD)

The mean baseline FTD was not equivalent in both groups. The EXP group had a mean distance of 15.66 ± 11.12 cm while the CONT had a mean distance of 9.51 ± 8.72 cm. At 2 months mean FTD distance increased by 7.94 cm (statistically significant < 0.025), and decreased back by 3.42 cm at 6 month but remained statistically significant compared to their baseline measurement: total mean gain was 4.73 cm ($p < 0.025$). The control group had a decrease in mean change at 6 month follow-up, gaining a total of 1.83 cm NS.

Hypo-extensibility Quadriceps (HBD)

Results are significant at both time points for the EXP group and at 6 months for the CONT group. The total mean net gain is 4.73 cm for the EXP group and 3.53 cm for the CONT group.

Hypo-extensibility Hip Flexors (KTD)

A mean total increase of 3.82 cm was observed in the experimental group and a decrease of 2.19 cm in the control group at 6 months follow-up. Results are statistically significant at 2 months and 6 months for the experimental group and non-significant for the control group.

Sorensen and Shirado

The EXP group gained 14.23 seconds in the Sorensen test at 2 months ($p < 0.025$) and a total mean gain of 11.92 seconds at follow-up ($p < 0.025$) compared to the CONT group that didn't show any differences at either 2 or 6 months.

For the Shirado test the EXP group showed a significant improvement only at 2 months. For the CONT group results were not significant.

Anterior Inclination (FFD)

A statistically significant improvement was observed for the EXP group at 2 and 6 months ($p < 0.025$). The results for the CONT group were significant at 6 months.

Practice of Physical Activity

The number of workers who declared practicing a regular leisure time physical activity increased in both groups. At 2 months 16/32 (50%) in the EXP group and 9/28 (32.14%) in the CONT group. At 6 months the number increased to 15/29 (51.72%) in the Exp group. 9/23 (39.1%) CONT group. The number of workers that declared practicing walking also increased. EXP group 18.9 % (7/37) at baseline, 25% (8/32) at 2 months and 48.2% (14/29) at 6 months. CONT group 10.52% (4/38), 14.28% (4/28), and 21.73% (5/23). The group that started the intervention in July reported a slightly higher rate in the practice of physical activities outside the workplace 2 months after the intervention.

Clinical Relevance

Improvement was verified according to the 30% threshold in all parameters. We observed a clinically relevant change in approximately 65% to 70% of the participants in the EXP group versus 21% of the participants in the CONT group following the 2 months intervention. The results persist at 6 months follow-up.

Discussion

We present an assessment of a physical activity and exercise therapy intervention in the workplace, designed to manage chronic LBP. Our major finding is that the intervention proved to be clinically and statistically relevant in favor of the experimental group at 2 and 6 months. A higher difference in change is observed in the EXP group. Those results are in accordance with the current evidence suggesting that exercise treatment programs and regular physical activity are likely to be beneficial for chronic LBP by decreasing pain severity {Beaudreuil2010} {Liddle2007} {MAURICE2008} and reducing physical de-conditioning {Jacob2004} {ROCHE2007}. To our knowledge there exist few RCT studies investigating the application of LBP management and physical activity promotion recommendations within the workplace {MAURICE2008}{SCHONSTEIN2003}. In general, improvement in outcome measures indicates less severe pain, lower disability and a better overall physical movement resulting in a positive health impact. Much of the latest available evidence on LBP is in support of interventions that tackle pain effectively.

The effectiveness of this intervention was reflected by a significant decrease in perceived pain intensity (NRS), work disability (RMDQ, Quebec, and DALLAS), kinesiophobia (TAMPA) and an improvement in physical parameters and back-specific functions (Anterior Inclination, Hypo-extensibility, Sorensen, and Shirado). Those benefits translate into substantial health gains and are similar to findings in comparable studies {BEAUDREUIL2010} {LIDDLE2004} {SCHONSTEIN2003}.

The extent of health effects vary between age groups and types of LBP {ROSSIGNOL2009}. In France, epidemiological studies have been carried out on samples representative of the working population {LECLERC2009}. There is consensus that efficient workplace interventions are highly beneficial for the workers, managers, medical doctors and public health representative {SCHNEIDER2005}. We evaluated this on-site workplace intervention in quest of understanding real-case scenarios. The strength of this investigation compared to previous studies is that rehabilitation interventions took place at the workplace on workers suffering from chronic LBP rather than in a hospital with patients on sick leave. Furthermore the use of a wide variety of outcome measures {COSTA-BLACK2010} {Negrini2008} and the incorporation of a physical activity promotion strategy adds value and insight to the study. In a recent cohort study evaluating the short and midterm effectiveness of a retrospective back school 1997-2004, results proved to be positive on pain and functional status but minor on health impact {MAURICE2008}. In addition, a 1 year cognitive-behavioral intervention resulted in a mean improvement of 2.4 points (1.89-

2.84) from baseline for the RMDQ {LAMB2010}. In our study a mean change of 3.88 points in the experimental group and 1.70 in the control has been observed at 6 months follow-up.

Our control group had a significant improvement at 6 months for NRS, Dwork-rec, FFD and FTD even though they did not go through the intervention. Possible explanations are related to motivational factors due to the lack of patient blinding and to their increased predisposition in practicing a form of exercise after seeing their colleagues' change of behavior. Indeed, a number of workers in the control group declared taking part in leisure time physical activity outside the workplace as a form of compensation after 2 months ($p < 0.025$). The exact duration and type of physical activity hasn't been analyzed.

The onset of LBP increases the risk of sedentary behavior due to fear of movement and pain, thus resulting with time in a decline of physical fitness, a negative health impact and quality of life {JACOB2004} {MANCHIKANTI2000}. This reflects the importance of incorporating physical activity in the workplace especially in jobs susceptible of increasing the risk of LBP {JACOB2004}. Individuals affected by chronic LBP are most likely to benefit from a physical activity promotion in the workplace {KRISMER2007}. However, precautionary measures should be taken into account in transmitting the appropriate message of no-over exertion and proper behavior modification.

Physical activity in the workplace offers an answer to the management of LBP since all types of LBP benefit from exercise {LIDDLE2004}. The timing of the intervention in relation to their symptoms plays a role in either preventing the onset or the intensity of pain symptoms and disabilities. Scientific research has consistently proven that LBP is tightly linked to age-related disorder due to biomechanical predisposition and postural evolution. It is aggravated or accelerated by several multi-factorial events and factors {TVEITO2010}.

The detrimental effects of sedentary behavior are well known in the current literature. On the contrary; a dilemma still persists between physical activity and LBP prevalence and severity. The contribution of exercise to the onset and severity of LBP is still debatable. In a recent study aiming at clarifying the ambiguous evidence, results reveal that participating in physical activity contributes indirectly to the severity of LBP but has no effect on its prevalence {JACOB2004}.

We excluded workers suffering from severe psychological problems in order to minimize the confounding variables. An important factor interfering with the analysis is the timing of the intervention that coincides with the peak of the economic crisis, affecting the automotive industry especially hard. Under similar stressful conditions workers from both groups might have overestimated their improvement of perceived pain or work ability by fear of negative consequences such as losing their work {BEAUDREUIL2010}. The physical parameters are less

susceptible to this indirect effect. Despite the presence of similar underlying external uncontrollable factors, which might have affected our results by over-estimating some subjective parameters, the statistical difference observed within this limited time in our study is strong and remains promising.

Furthermore, workers in our study showed a high degree of kinesiophobia and work disability scores at baseline. Reviews evaluating different types of physical exercise interventions have reported small to moderate changes in certain outcome measures (pain intensity, return to work, physical parameters) and the progress was clinically more relevant in patients that had lower baseline scores {VAN_MIDDELKOOP2010}.

Another observation is that the number of workers practicing a form of physical activity outside of the workplace (leisure) increased in both groups because they observed the positive impact of exercise on work disability.

From a broad spectrum, our results imply that an intervention combining physical activity promotion, exercise therapy along with advice on healthy lifestyle is effective on the short-term but needs to be maintained with a form of physical exercise for the benefits to persist. A targeted 2-months intervention at work helps employees decrease perceived pain, kinesiophobia, work disability and improves their physical parameters more rapidly than leisure time physical activity and advice alone. Although we observe an insufficient minimally clinically important change in the NRS scale at 6 months follow-up the results of the other outcome measures still imply a positive beneficial impact.

Further research is needed in real work settings to add to these findings, in order to better understand the functionality and efficiency of physical activity promotion in workers suffering from chronic LBP.

Study limitations

Potential limitations in this study are: (1) Due to the complexity of the workplace setting there could be no patient blinding. (2) The large disparity and multiplicity of variables, the effect of seasonality {SNOOK2004} and the restricted small sample size are all underlying factors that might limit the study. (3) The exact duration, type and intensity of physical activity performed outside the workplace and information on the exact duration and intensity of pain prior to the intervention haven't been analyzed. Nevertheless, our results reflect a real case scenario with challenges faced when applying recommendations within the workplace.

Conclusions and Perspectives

Scientific evidence places the management of LBP as a much more realistic solution to a disorder tightly linked to age ⁴⁰. Our study reinforces the multiple benefits of the promotion of physical activity and physical therapy care in the workplace so as to assist individuals at risk suffering from LBP. Engaging in an active lifestyle provides protective effects by reducing the negative impact of LBP {SCHNEIDER2005}. Although the dose-response relationship between exercise intensity level or type and LBP are still inconclusive, our analysis shows that a 2 month intervention of moderate physical activity and exercise therapy generates substantial health gains maintained at 6 months.

The contents of the program are not work specific and can be performed in different groups or settings. The results offer ample opportunities and perspectives.

As such, a similar intervention strategy in the workplace can achieve substantial gain for the individual and the group by decreasing the burden of pain and physical deconditioning. More RCT studies with larger sample sizes are recommended to detect low to medium effect sizes.

Figure and Table Legends

Table 1: Baseline Characteristics of the Study Subjects

Baseline	EXP (N=37)	CONT (N=38)
Age (y)	45.13±9.11 (30–59)	45.34±8.80 (27–60)
BMI (kg/m ²)	25.03±3.70 (19–34)	25.70±4.61 (17–37)
Women	11	21
Overweight	35	34
Obese	13.5	16
Practice sports	5 (13.51)	6 (15.78)

NOTE. Values are mean ± SD (range), percentages (%), or n (%).
Abbreviation: BMI, body mass index.

Table 1: Baseline characteristics of the study subjects, values are expressed as mean (±SD), range (min-max) or n (percentage.)

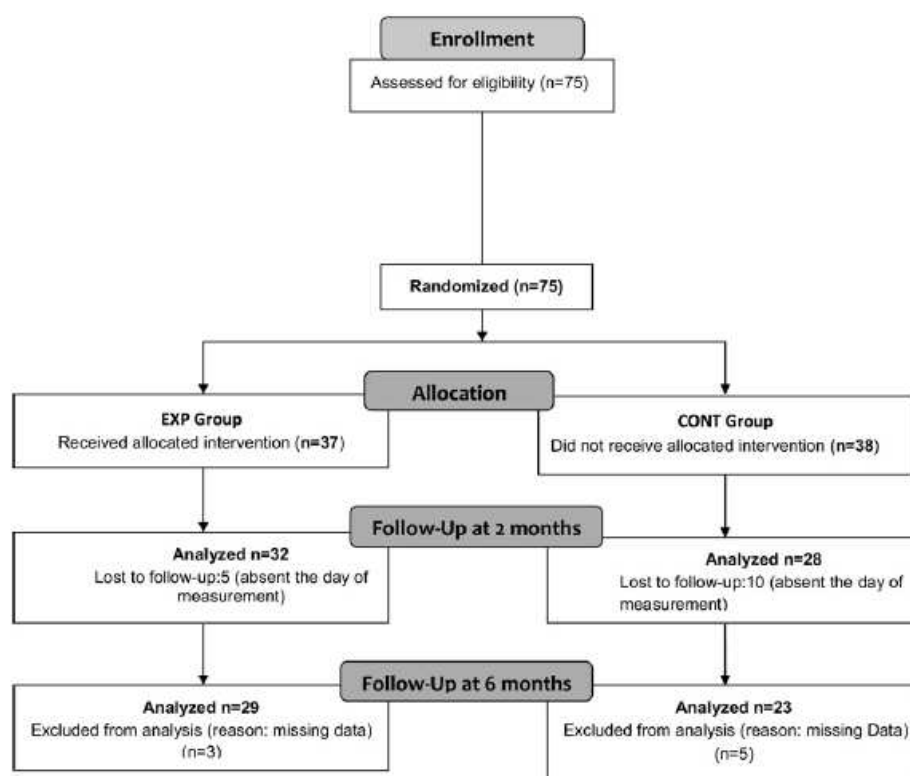


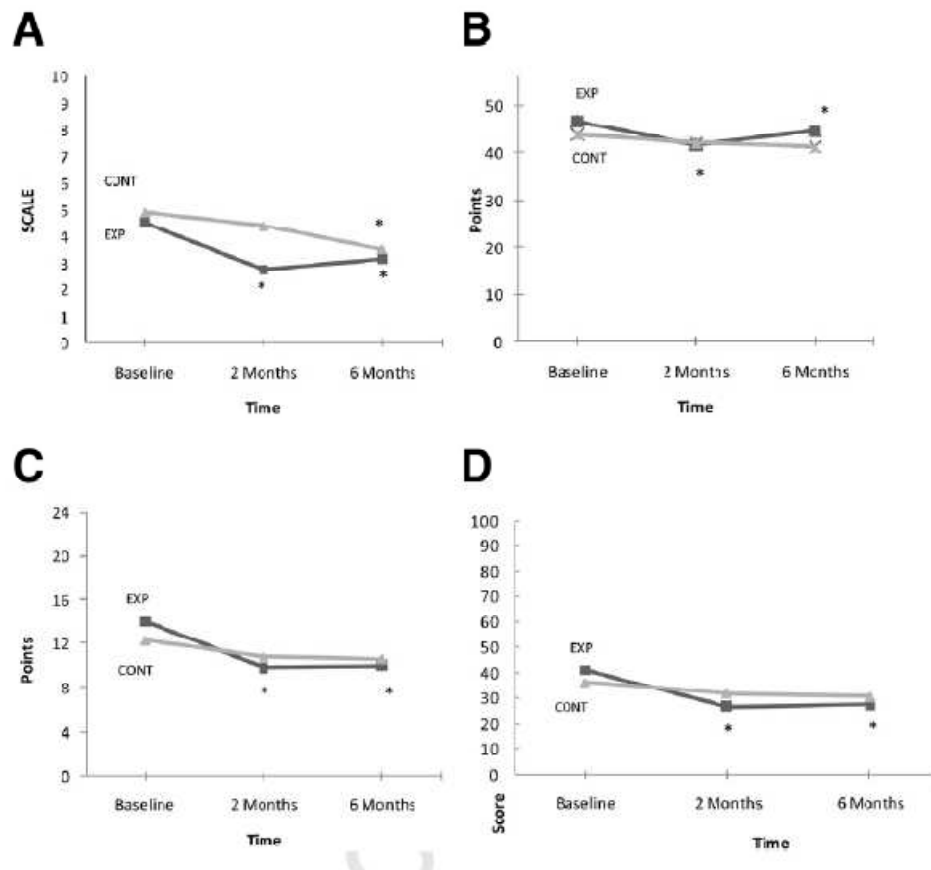
Fig 1. CONSORT flowchart diagram.

Figure 1: Flow Chart Diagram CONSORT Diagram.

Table 2: MANOVA P Value Results of All Outcome Measures for Both Groups, Taking Into Consideration the 3 Time Points

	NRS	Quebec	RMDQ	TAMPA	Ddaily	Dwork-rec	Danx-dep	Dsocial	HypoH	HypoQ	HypoHF	Sorensen	Shirado	A.Incli
Time	.001	.0002	.0002	.003	.04	.0008	.003	.06 NS	.0007	<.0001	.005	.004	.45 NS	.001
Time*Group	.02	.01	.007	.005	.04	.07	.056 NS	.79 NS	.0003	.0045	<.0001	.006	.05 NS	.001

Abbreviations: A.Incli, anterior inclination; HypoH, hypoextensibility of the hamstrings; HypoHF, hypoextensibility of the hip flexors; HypoQ, hypoextensibility of the quadriceps; NS, not significant.

Table 2: MANOVA results of outcome measures. * p<0.05 and NS: non-significant.

Figure 2 Evolution of pain intensity, kinesiophobia and work disability with time

The grey line with triangles represents the CONT group; the black line with a square represents the EXP group. Values are mean $\pm$ SD, * represents a significant p-value. (**p<0.01, *** p<0.001, **** p<0.0001, NS: non significant).

2A Pain intensity using the NRS (0-10). EXP (baseline 4.54 $\pm$ 2.73; 2 months 2.76 $\pm$ 2.05 ****p<0.001; 6 months 3.15 $\pm$ 2.30 **p<0.01). CONT (baseline 4.92 $\pm$ 2.35; 2 months 4.41 $\pm$ 2.74 NS; 6 months 3.53 $\pm$ 2.47 **p<0.01).

2B Kinesiophobia using the TAMPA scale (0-24). EXP (baseline 46.71 $\pm$ 6.82; 2 months 41.59 $\pm$ 6.93 ****p<0.0001; 6 months 44.64 $\pm$ 6.72 **p<0.01). CONT (baseline 43.82 $\pm$ 8.00; 2 months 41.90 $\pm$ 8.50 NS; 6 months 41.17 $\pm$ 8.28 NS).

2CWork Disability: Impact of pain on daily life using the Roland Morris low back pain Disability Questionnaire (RMDQ) (0-24).EXP (baseline 13.91 $\pm$ 4.63; 2 months 9.75 $\pm$ 5.00 ****p<0.0001; 6 months 10.03 $\pm$ 5.12 ****p<0.0001).CONT (baseline 12.30 $\pm$ 4.95; 2 months 10.83 $\pm$ 5.65 NS; 6 months 10.60 $\pm$ 5.36 NS).

2DWork Disability: Impact of pain on daily life using the Quebec Questionnaire (0-100).EXP (baseline 40.86 $\pm$ 18.52; 2 months 26.50 $\pm$ 13.51 ****p<0.0001; 6 months 27.15 $\pm$ 13.78 ****p<0.0001).CONT (baseline 36.16 $\pm$ 17.07; 2 months 31.70 $\pm$ 19.57 NS; 6 months 30.21 $\pm$ 17.26 NS).

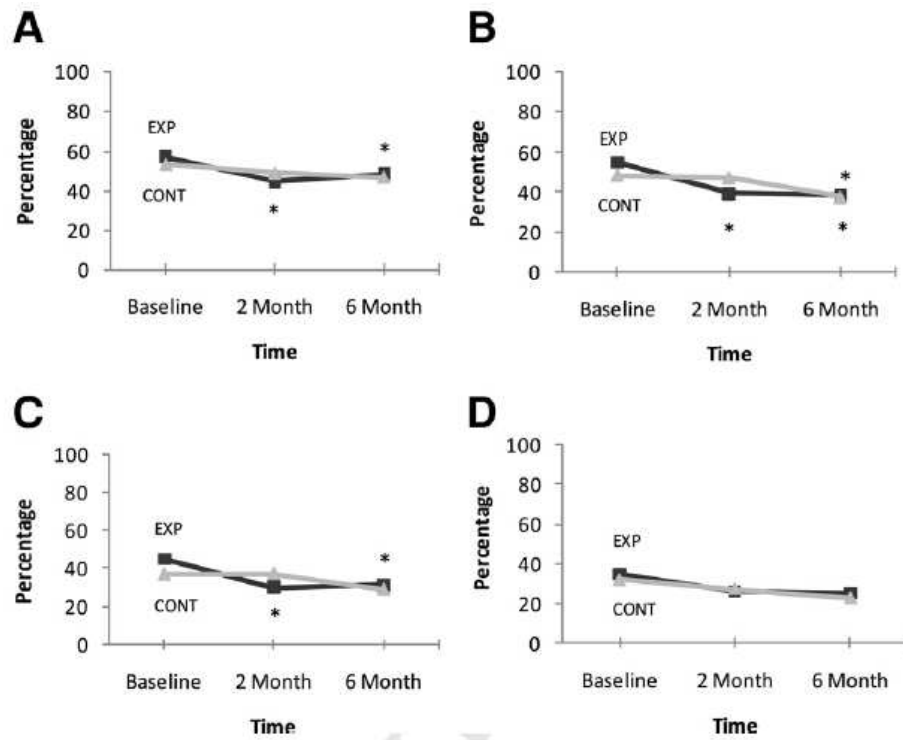


Figure 3 Evolution of the DALLAS Questionnaire.

The grey line with triangles represents the CONT group; the black line with a square represents the EXP group. Values are mean $\pm$ SD, * represents a significant p-value. (** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$, **** $p \leq 0.0001$, NS non significant).

3A: Impact of pain on daily activity (Ddaily): EXP (baseline 57.29 $\pm$ 16.19; 2 months 44.55 $\pm$ 17.89 *** $p < 0.001$; 6 months 48.54 $\pm$ 14.57 * $p = 0.01$) CONT (baseline 53.16 $\pm$ 19.57; 2 months 48.77 $\pm$ 22.36 NS; 6 months 46.78 $\pm$ 20.23 NS).

3B: Impact of pain on work and recreational activity (Dwork-recr): EXP (baseline 54.85 $\pm$ 20.90; 2months 39.11 $\pm$ 19.67 *** $p < 0.001$; 6 months 38.33 $\pm$ 17.57 *** $p < 0.001$) CONT (baseline 48.37 $\pm$ 19.54; 2months 47.00 $\pm$ 23.23 NS; 6 months 37.60 $\pm$ 20.38 * $p < 0.025$).

3C: Impact of pain on anxiety and depression symptoms (Danx-dep): EXP (baseline 44.73 $\pm$ 19.45; 2 months 30.0 $\pm$ 20.74 *** $p < 0.001$; 6 months 31.21 $\pm$ 17.50 ** $p = 0.01$) CONT (baseline 36.48 $\pm$ 22.96; 2 months 36.93 $\pm$ 24.10 NS; 6 months 28.91 $\pm$ 20.22 NS).

3D: Impact of pain on social activity (Dsocial): EXP (baseline 34.50 $\pm$ 24.85; 2 months 25.88 $\pm$ 18.68 NS; 6 months 25.30 $\pm$ 20.80 NS) CONT (baseline 31.75 $\pm$ 24.07; 2 months 27.25 $\pm$ 22.31 NS; 6 months 22.60 $\pm$ 22.09 NS).

Article – Essai Contrôlé Randomisé

	Time	ExpGrp	±SD	P		ContGrp	±SD	P	
NRS	Baseline	4.54	2.73			4.92	2.35		
	2 Months	2.76	2.05	< 0.001	***	4.41	2.74	NS	
	6 Months	3.15	2.30	0.005	**	3.53	2.47	0.01	*
TAMPA	Baseline	46.71	6.82			43.82	8.00		
	2 Months	41.59	6.93	< 0.001	***	41.90	8.50	NS	
	6 Months	44.64	6.72	0.008	**	41.17	8.28	NS	
RMDQ	Baseline	13.91	4.63			12.30	4.95		
	2 Months	9.75	5.00	< 0.001	***	10.83	5.65	NS	
	6 Months	10.03	5.12	< 0.001	***	10.60	5.36	NS	
Quebec	Baseline	40.86	18.52			36.16	17.07		
	2 Months	26.50	13.51	< 0.001	***	31.70	19.57	NS	
	6 Months	27.15	13.78	< 0.001	***	30.21	17.26	NS	
Ddaily	Baseline	57.29	16.19			53.16	19.57		
	2 Months	44.55	17.89	< 0.001	***	48.77	22.36	NS	
	6 Months	48.54	14.57	0.01	*	46.78	20.23	NS	
Dwork-rec	Baseline	54.85	20.90			48.37	19.54		
	2 Months	39.11	19.67	< 0.001	***	47.00	23.23	NS	
	6 Months	38.33	17.57	< 0.001	***	37.6	20.38	0.01	*
Danx-dep	Baseline	44.73	19.45			36.48	22.96		
	2 Months	30.00	20.74	< 0.001	***	36.93	24.10	NS	
	6 Months	31.21	17.50	0.002	**	28.91	20.22	NS	
Dsocial	Baseline	34.50	24.85			31.75	24.07		
	2 Months	25.88	18.68	> 0.05	NS	27.25	22.31	NS	
	6 Months	25.30	20.80	> 0.05	NS	22.6	22.09	NS	
Hypo.H	Baseline	15.66	11.12			9.51	8.72		
	2 Months	7.72	8.10	< 0.001	***	9.5	9.70	NS	
	6 Months	11.14	10.46	0.043	*	7.68	9.69	NS	
Hypo.Q	Baseline	15.05	7.41			17.82	6.75		
	2 Months	9.21	5.19	< 0.001	***	15.89	6.13	NS	
	6 Months	10.32	6.48	< 0.001	***	14.29	5.75	0.01	*
Hypo.HF	Baseline	13.52	5.47			16.52	6.04		
	2 Months	18.81	4.43	< 0.001	***	13.85	4.98	NS	
	6 Months	17.34	3.38	< 0.001	***	14.33	5.07	NS	
Sorensen	Baseline	18.91	23.75			21.35	29.74		
	2 Months	33.14	32.15	< 0.001	***	22.96	39.08	NS	
	6 Months	30.83	26.30	< 0.001	***	25.45	39.94	NS	
Shirado	Baseline	19.94	20.47			14.38	15.80		
	2 Months	25.29	22.09	0.017	*	14.66	21.67	NS	
	6 Months	23.06	21.11	> 0.05	NS	16.20	23.50	NS	
A.Incli	Baseline	16.23	13.75			14.83	16.60		
	2 Months	10.63	10.03	< 0.001	***	13.89	15.95	NS	
	6 Months	12.45	12.32	0.005	**	7.75	11.67	0.001	**
PA	Baseline	0.13	0.34			0.16	0.37		
	2 Months	0.45	0.50	< 0.001	***	0.29	0.46	0.02	*
	6 Months	0.48	0.50	0.005	**	0.36	0.48	NS	
Walking	Baseline	0.19	0.40			0.10	0.31		
	2 Months	0.23	0.43	> 0.05	NS	0.12	0.34	NS	
	6 Months	0.45	0.50	0.008	**	0.24	0.43	NS	

Table 3: Mean Scores (+/- SD) for all outcome measures at baseline, 2months, and 6months with p-values.

Level of significance: P-value > 0.05 NS; P-value between 0.01 and 0.05 * significant; P-value between 0.001 and 0.01 ** very significant, P-value < 0.001 *** extremely significant

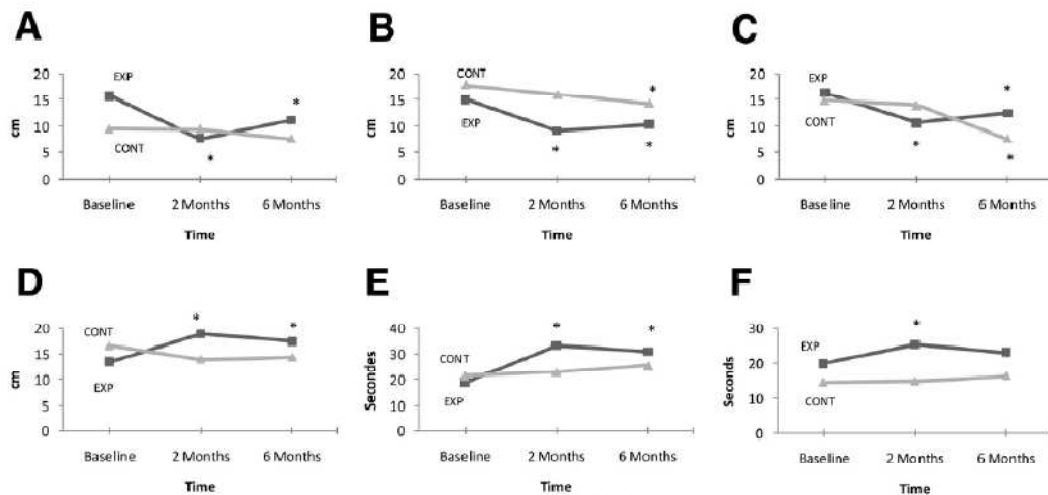


Figure 4: Evolution of Flexibility and Endurance.

The grey line with triangles represents the CONT group; the black line with a square represents the EXP group. Values are mean $\pm$ SD, * represents a significant p-value. (** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$, **** $p \leq 0.0001$, NS non significant). 4A, 4B, 4C should decrease for beneficial effect and 4D, 4E, 4F should increase.

4A: Flexibility: Hypo-extensibility of the Hamstrings (HypoH) by measuring the finger to tip of toes distance (FTD). EXP (baseline 15.66 ± 11.12 ; 2 months 7.72 ± 8.10 **** $p < 0.0001$; 6 months 11.14 ± 10.46 ** $p < 0.01$) CONT (baseline 9.51 ± 8.72 ; 2 months 9.50 ± 9.70 NS; 6 months 7.68 ± 9.69 NS).

4B: Flexibility: Hypo-extensibility of the Quadriceps (HypoQ) by measuring the heel buttock distance (HBD). EXP (baseline 15.05 ± 7.41 ; 2 months 9.21 ± 5.19 **** $p < 0.0001$; 6 months 10.32 ± 6.48 **** $p < 0.0001$) CONT (baseline 17.82 ± 6.75 ; 2 months 15.89 ± 6.13 NS; 6 months 14.29 ± 5.75 ** $p < 0.01$).

4C: Flexibility: Anterior Inclination (A.Incli) by measuring the finger to floor distance (FFD). EXP (baseline 16.23 ± 13.75 ; 2 months 10.63 ± 10.03 **** $p < 0.0001$; 6 months 12.45 ± 12.32 ** $p < 0.01$) CONT (baseline 14.83 ± 16.60 ; 2 months 13.89 ± 15.95 NS; 6 months 7.75 ± 11.67 ** $p < 0.01$).

4D: Flexibility: Hypo-extensibility of the Hip-flexors (HypoHF) by measuring the knee to table distance (KTD). EXP (baseline 13.52 ± 5.47 ; 2 months 18.81 ± 4.43 **** $p < 0.0001$; 6 months 17.34 ± 3.38 **** $p < 0.0001$) CONT (baseline 16.52 ± 6.04 ; 2 months 13.85 ± 4.98 NS; 6 months 14.33 ± 5.07 NS).

4E: Endurance of the back muscles using the Sorensen Test. EXP (baseline 18.91 ± 23.75 ; 2 months 33.14 ± 32.15 *** $p < 0.001$; 6 months 30.83 ± 26.30 **** $p < 0.0001$) CONT (baseline 21.35 ± 29.74 ; 2 months 22.96 ± 39.08 NS; 6 months 25.45 ± 39.94 NS).

4F: Endurance of the abdominal muscles using the Shirado Test. EXP (baseline 19.94 $\pm$ 20.47; 2 months 25.29 $\pm$ 22.09 * p <0.025; 6 months 23.06 $\pm$ 21.11 NS) CONT (baseline 14.38 $\pm$ 15.80; 2 months 14.66 $\pm$ 21.67 NS; 6 months 16.21 $\pm$ 23.50 NS).

ADDITIONAL MATERIAL

Principals of the Intervention

6. **Warm-up** (duration per session: **10 minutes**).
7. **Proprioceptive exercises:** for a better general mobility and balance. Preventing kinesiophobia by learning the benefits of movement (duration per session: **15 minutes**).
8. **Muscular strengthening-endurance:** Reinforcing major muscle groups: back muscles, abdominals, buttock, psoas, hamstrings, latissimus dorsi...etc) using simple techniques and workouts (duration per session: **10 minutes**).
9. **Flexibility/Stretching:** Regain the mobility of muscle groups (duration per session: **10 minutes**).
10. **Warm Pack Physiotherapy:** for optimal muscle relaxation at the end of the session before resuming work and preventing muscle aches and uncomfortable positions (duration per session: **15 minutes**).

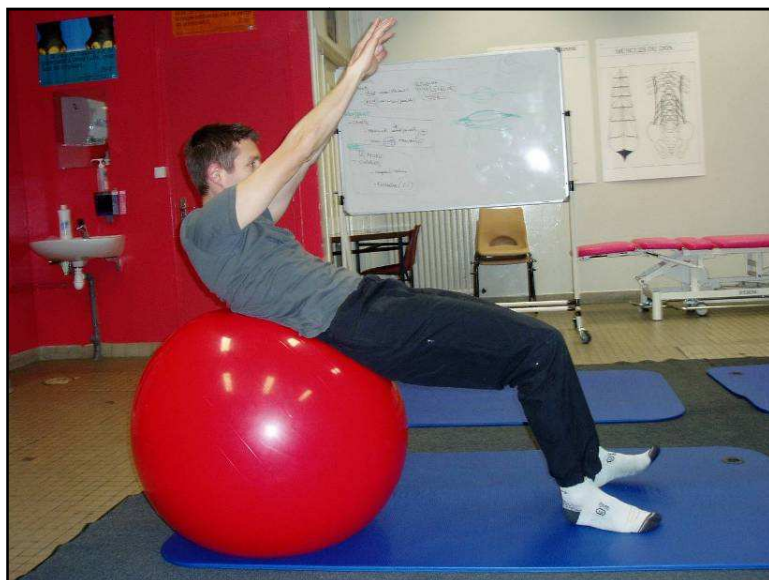
Total: 60 minutes per session

An additional prevention course was given to explain anatomy and biomechanics of LBP while describing the recommended prevention techniques and exercise guidelines.

Practical demonstration with sample pictures

Warm-up

Figure A: Retroversion pelvic exercise on the balloon associated with respiration techniques and abdominal workout



Proprioceptive exercises

Figure B: Proprioceptive :



Figure C: Mobility workout on unstable surface: sitting position, moving face down.



Muscular Strengthening Workout

Figure D: Progressive resistant work with elastic



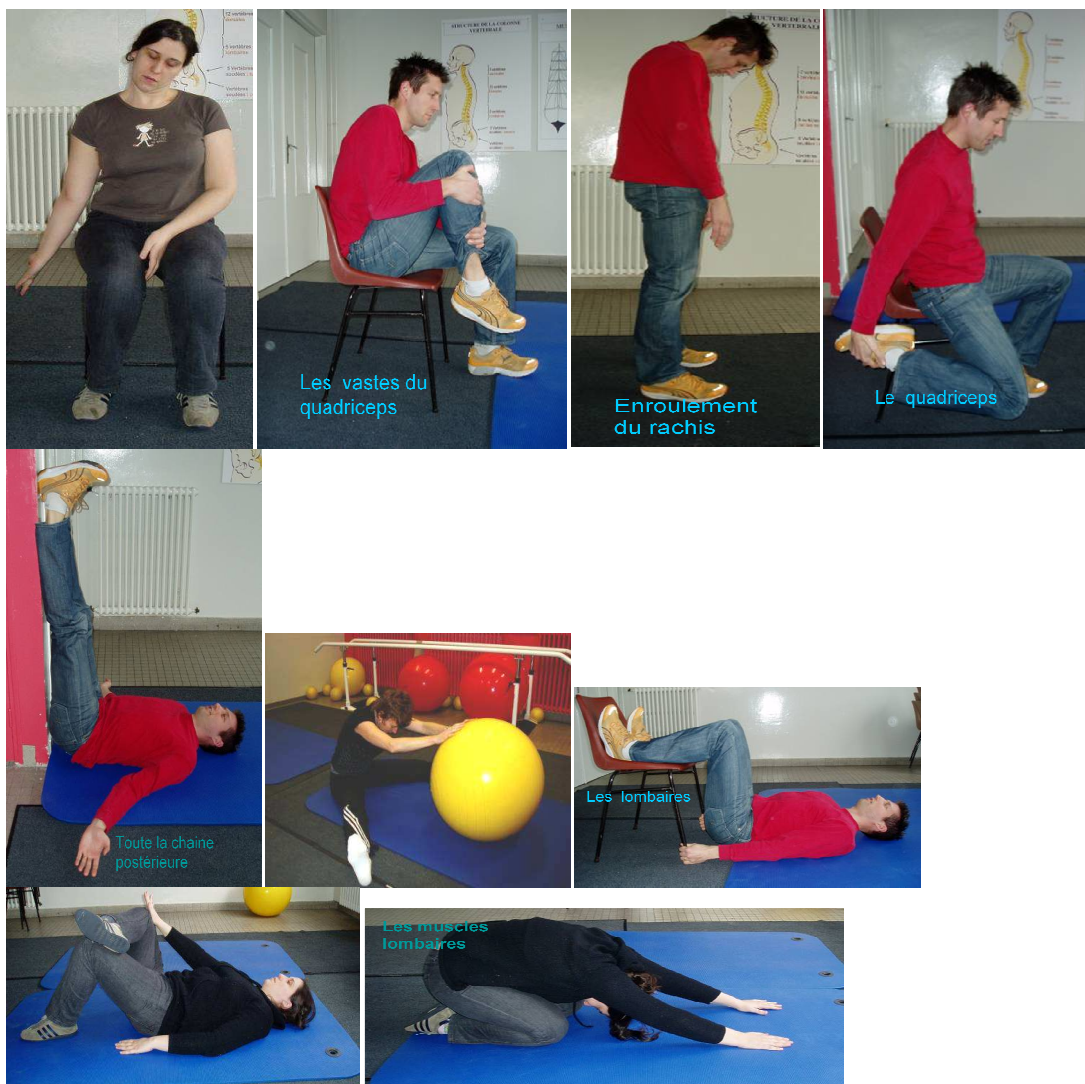
Figure E: Specific Muscular reinforcement



Figure F: Balance and resistance



Stretching



CHAPITRE 8

Chapitre 8: L'activité physique dans les modes de transport

8.1. Contexte général

Plusieurs défis comme le changement climatique, la sécurité énergétique et le transport exigent de développer des solutions durables et efficaces. La mobilité active est un sujet d'actualité compte tenu des effets combinés des impacts de la pollution et de la lutte contre la sédentarité. Les transports actifs entraînent une augmentation de la pratique de l'activité physique parmi les sédentaires qui se concrétise par des effets bénéfiques individuels et à l'échelle de la population. Même une faible augmentation de la pratique occasionnelle (de 5 à 8 fois par mois ou de 10 à 15 km par sortie), a un impact rentable en termes de santé et d'économie. En effet, l'impact économique de la pratique du vélo en France, toutes catégories confondues, s'établit à 5,6 milliards d'euros (Md) pour 4,6 milliard de km parcourus soit 1,2€/km {BAUMAN2011}. Avec un peu plus de 200 km par an et par habitant, les économies de santé s'établiraient à plus de 15 Md {BAUMAN2011} {MASCOT2006}.



TRANSPORTATION, AIR POLLUTION AND PHYSICAL ACTIVITIES: the Paris case study

Dans ce contexte, l'IRMES participe à l'étude européenne TAPAS (Transportation Air-Pollution and Physical Activities) dirigée par le CREAL (Centre de Recherche en Epidémiologie et l'Environnement de Barcelone) qui a pour but d'évaluer l'effet des modes de transports actifs (vélo et marche) en milieu urbain sur la santé. Le projet a démarré en 2009 et associe les équipes de 6 villes européennes (Bâle, Barcelone, Paris, Copenhague, Prague, Varsovie). Pour Paris, les équipes comprennent l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'énergie), Pr. Ari Rabl et l'IRMES avec la collaboration de l'Observatoire Régional de Santé de la région Ile de France. TAPAS permet de nombreux échanges de connaissances et d'enseignements. A cette fin, un modèle conceptuel est en cours de constitution {DE_NAZELLE2011}{Figure 8.1-1}. Un article de Review a été publié dans le Journal Environment International 2011.

Actuellement, nous travaillons également sur la mesure de la dépense énergétique en fonction des modes de transport. De plus, nous travaillons avec plusieurs parties prenantes dans le

monde des transports et des stratégies afin de faire le lien entre la recherche et l'application des recommandations sur le terrain.

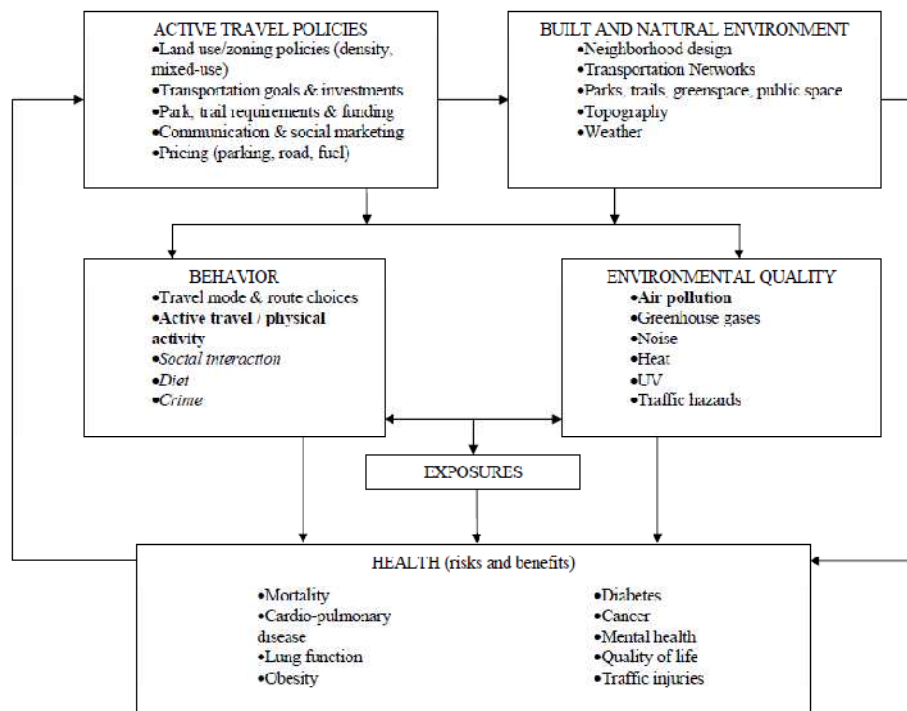


Figure 8.1-1 : Modèle global TAPAS

Problématique

L'un des principaux points forts dans la mise en œuvre des modes de transports actifs contribue à augmenter la dépense énergétique quotidienne de la population générale, ce qui, par la suite, aidera à diminuer les risques de mortalité et de morbidité par manque d'activité physique. Cependant, certains facteurs comme la pollution atmosphérique et la sécurité routière (Figure 8.1-2) constituent des freins. Autre point intéressant à étudier est l'effet des transports actifs sur les comportements sédentaires. Le développement d'outils fiables qui évaluent les facteurs influençant l'utilisation des transports actifs est nécessaire afin d'acquérir une certaine visibilité de l'impact sur la santé, l'économie et l'environnement.

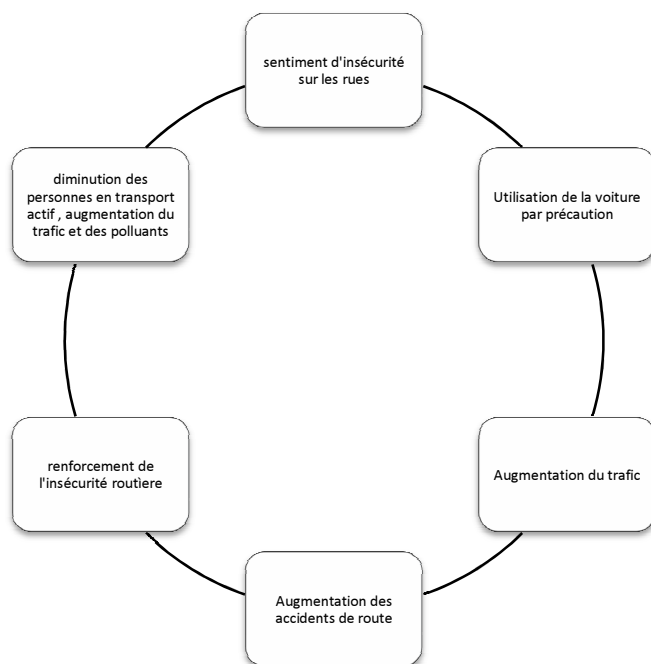


Figure 8.1-2 Cercle vicieux de la sécurité routière et l'enchaînement des effets négatifs

Pollution atmosphérique

Nous sommes souvent exposés, lors de nos déplacements, à la pollution atmosphérique de la circulation et du trafic. Il existe une forte corrélation entre les maladies respiratoires et la fréquentation des routes à fort trafic {WHO2000}. Le transport routier est responsable de 48% des NOx, 24% des COV (Composés Organiques Volatiles), 34% de CO et SO₂ {CHOMBART2011}.

Profil des cyclistes

D'après le bilan des déplacements en 2007 sur Paris par l'observatoire des déplacements, le profil des utilisateurs du vélo suit la répartition suivante: 61% d'hommes, 50% âgés entre 30 et 50 ans, 47% ne possèdent pas de voiture et 78% sont des cyclistes actifs. Les raisons citées pour l'utilisation du vélo sont la praticité (46%) et la rapidité (46%). Les cyclistes utilisaient précédemment en grande partie les transports en commun (93%), la marche (22%) et la voiture (15%).

Les déplacements professionnels constituent 67% des déplacements réalisés par jour de semaine avec une durée moyenne déclarée de 25 minutes.

Exposition

Les automobilistes sont plus exposés au benzène que les cyclistes et les piétons du fait qu'à vélo ou durant la marche, l'air expiré est au dessus des pots d'échappement. Par ailleurs, l'exposition du cycliste à la pollution est en moyenne deux fois moins élevée sur piste dédiée que dans la circulation générale (Exposition mesurée au NO₂ et au benzène caractéristique du trafic routier (AFSSET 2007) {Chombart2011}).

Aménagement sur Paris

En 2007, 28,4 km de nouveaux aménagements cyclables ont été mis en place. En comparaison, avec 1998 où les aménagements cyclables étaient d'une longueur totale de 122,1 km et de 399,3 km en 2007. Ainsi, l'évolution annuelle du nombre de vélos a augmenté de 33% entre 1998 et 2007.

Le Vélib, nouveau système de location de vélo en libre service, est introduit en 2007 offrant un total de 1030 stations de location entre les zones centrales et les zones périphériques. 58% des utilisateurs sont des hommes et 42% des femmes. Ce sont en majorité des Parisiens entre 26 et 45 ans.

Evaluation économique des impacts de la pollution

Les cyclistes qui parcourent annuellement 4,4 milliards de km contribuent à une économie d'impact de 42M€ par rapport au nombre de kilomètres parcouru en voiture particulière. Selon la commission européenne, le coût social d'une tonne de carbone pourrait être compris entre 20 et 80 €/t. A Paris, 95% de l'espace de déplacement est utilisée par la voiture (évaluation RATP 1997). Un gain d'espace et de temps est à espérer si les aménagements cyclables sont empruntés de façon optimale. La substitution des déplacements en voiture par des déplacements à vélo a des effets importants sur certains coûts collectifs. Les 4,4Md de km parcourus à vélo contribuent à limiter les coûts de stationnement, de congestion, de bruit, d'effet de serre et de pollution pour un montant de 160M€ par an par rapport aux déplacements en voiture {Cherry2009}.

Marche, Vélo et dépense énergétique- Cadre de réflexion

La marche et le vélo offrent des solutions en matière de santé publique en réduisant l'utilisation de la voiture et en réduisant la pollution atmosphérique, le bruit et le niveau global des risques liés au trafic. Du fait que la collecte des données concernant la marche et le vélo ne sont pas systématique en Europe, les études de recherche s'en trouvent limitées. En France, les données sont issues des enquêtes de transports déclaratives ou des comptages réalisés sur les sites aménagés. Ainsi on observe des biais dû à l'approximation de la prise de mesure. En conséquence, des études approfondies sur la mesure de la fréquence et celle de la dépense énergétique, en fonction du mode de transport sont impératives afin d'apporter la preuve de l'efficacité de ce type de transport et d'inciter les utilisateurs de voitures à emprunter le vélo pour les trajets courts (5km) ou de marcher.

8.2. Etude pilote- Travail préliminaire - Mesure de la dépense énergétique

Dans un premier temps, nous avons développé un modèle schématisé (Figure 8.2-1) du comportement d'une personne qui se déplace en transports en commun (métro, RER ou Bus) sur Paris. L'objectif était de quantifier les indicateurs suivants: le nombre de pas parcourus, le temps d'attentes en position debout ou assise, le nombre d'escaliers montés, le temps de trajet et la fréquence du trajet. Par la suite, à l'aide des données anthropométriques et l'âge de la personne nous calculons la dépense énergétique théorique durant le trajet en utilisant l'équation de Harris et Benedict¹¹ pour le calcul du métabolisme de base et en multipliant ensuite par le facteur de niveau d'activité physique. Le métabolisme de base est calculé à l'aide de l'équation. Cette démarche avait comme but et de tester la faisabilité et l'application des mesures dans les transports en commun.

¹¹ Equation Harris et Benedicte : permet de mesurer le métabolisme de base en fonction du poids, sexe, âge et taille du sujet

$$\text{Homme} = 66 + (13,75 * \text{poids en kg}) + (5 * \text{taille en cm}) - (6,76 * \text{âge})$$

$$\text{Femme} = 655 + (9,56 * \text{poids en kg}) + (1,85 * \text{taille en cm}) - (4,68 * \text{âge})$$

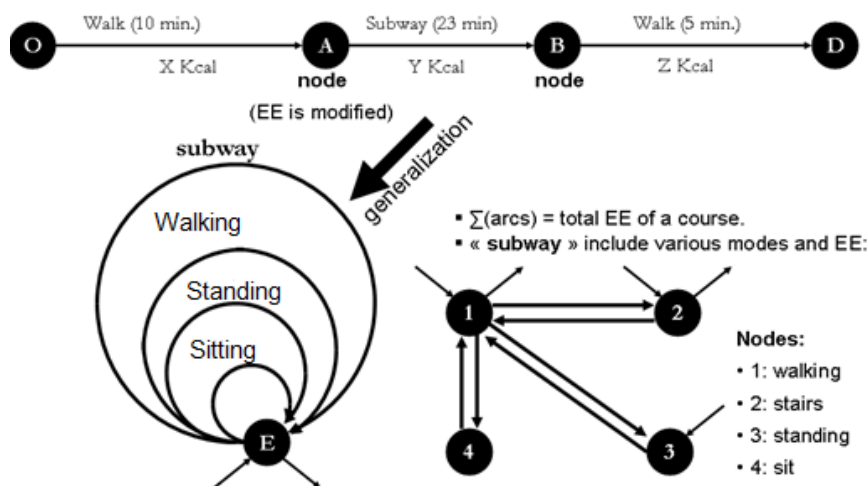


Figure 8.2-1 Schéma préliminaire de la description d'un trajet en métro ou RER et les niveaux de dépense énergétique.

En utilisant les équivalents métaboliques (METs) nous avons le coût énergétique qui varie en fonction de l'intensité de l'activité physique : <3 METs pour une activité légère, 3-6 METs pour une activité moyenne et > 6 METs, pour une activité intense. Un itinéraire choisi en fonction des enquêtes de transports s'est portée sur: « la défense-rue des goncourt ». Ce trajet prend 25min en voiture et une dépense énergétique de repos d'environ 66 kcals pour un jeune homme de 70kgs en temps normal. Ce même trajet prend 45min en métro ou RER pour une dépense énergétique de 130 kcals. En vélo le trajet prend 40min et la dépense énergétique s'élève à 330 kcals. Enfin, pour un trajet à pied, ce trajet prendra 2h20 pour une dépense énergétique de 520 kcals. Suite à ces résultats théoriques, nous constatons que le vélo semble être l'option la plus efficace au niveau du temps et de la dépense énergétique. Ces résultats sont en accord avec une étude {Morabia2009} récente qui compare la dépense énergétique dans plusieurs modes de transports.

Mesure de la dépense énergétique sur le terrain

D'une manière générale, le calcul de la dépense énergétique liée à l'activité musculaire devra prendre en compte les données anthropométriques, l'âge, le sexe, l'activité professionnelle et l'activité physique et sportive du sujet. Plusieurs méthodes de mesures existent avec des degrés de précisions divers mais également un coût financier plus ou moins élevé (VO₂max – FC/ SenseWear Pro Armband/ Cardio-Fréquence-mètre/Capteur de force). La fréquence cardiaque est un paramètre physiologique communément utilisé comme méthode de mesure de la dépense énergétique en population {Strath2000}. Elle peut être enregistrée grâce à un cardio-fréquencemètre toutes les 15, 30, 45 ou 60 secondes. Son utilisation pour estimer la dépense

énergétique repose sur le postulat que la fréquence cardiaque est directement liée à la consommation d'oxygène {Ainsworth2000}. Néanmoins, il est nécessaire d'établir des courbes de calibration individuelle afin de prendre en considération les variations entre les individus {Leonard2003}. Les études montrent une relation plus fiable entre la fréquence cardiaque et les niveaux d'activité physique de hauts niveaux. L'enregistrement en continu pourrait être une solution pour les activités modérées {Livingstone1992}.

La corrélation entre la fréquence cardiaque et la dépense énergétique est faite par différentes approches mathématiques du type régressions linéaires ou non linéaires. Avec l'équation de Fick on observe une augmentation de la fréquence cardiaque suite à une augmentation de la consommation d'oxygène (VO₂) {Levine2008}. A l'aide de cette équation une droite de régression est établie qui nous permet d'extrapoler la consommation d'oxygène et la dépense énergétique durant un effort physique en fonction de la fréquence cardiaque. Cependant, cette méthode ne prend pas en compte les différences individuelles en relation avec la VO₂ et la fréquence cardiaque. Ainsi, afin de limiter ce biais en utilisant cette méthode il est conseillé d'établir des courbes de calibration individuelle.

De suite, la procédure de Flex {Spurr1988} prend en compte les différences individuelles et propose une approche où la fréquence cardiaque basse n'est pas linéairement proportionnelle à la dépense énergétique et une autre approche spécifique pour les fréquences cardiaques plus élevées {Leonard2003} {Livingstone1992}. Cette procédure a été validée contre l'eau doublement marquée {Maffei1995} et la chambre calorimétrique {Birt1996}.

En ce qui concerne les procédures d'approximation de dépense énergétique durant les activités à faible intensité les critères de seuil de fréquence cardiaque reflétant une activité physique varient entre > 139 b.p.m et > 160 b.p.m {Armstrong1991} {Gilliam1981} ou 60% de la fréquence cardiaque prédite pour l'âge {Janz1992}. Ces données divergentes rendent la comparaison des études et le choix des protocoles sujets à beaucoup de biais et de limites.

Les résultats d'une étude de mesure de dépense énergétique (DE) dans les transports en commun à New York montrent une dépense énergétique de 124 kcal par jour {Morabia2010} en mesurant la DE pendant 5 jours par capteur GPS, le journal log et en considérant la valeur métabolique pour les déplacements en commun à 2.0 METs.

Dans notre deuxième étude sur le terrain, dans les réseaux de transports parisiens, nous avons opté pour la mesure de la dépense énergétique par cardio-fréquence mètre comme approche préliminaire. Ce choix a été choisi en fonction du budget et des possibles problèmes de transmission dans les réseaux sous terrain. Des méthodes plus précises telles que le GPS pouvaient causer des problèmes de mesures et de transmission dans les réseaux sous terrain. Par contre ces options devraient être prises en considération en trouvant des solutions afin d'augmenter la précision de nos mesures dans nos futures travaux de recherches.

Echantillon

L'échantillon était constitué de huit sujets (4 hommes, 4 femmes) volontaires, résidents en Ile-de-France, avec une moyenne d'âge de 26.5 ans (+/- 2.9), ne présentant pas de problème de santé et sont non-fumeurs. Ces sujets utilisent les transports en commun habituellement pour les trajets domicile-travail.

Méthode et Intervention

Chaque sujet était muni d'un cardio-fréquencemètre (Polar) pendant toute la journée durant une journée afin d'enregistrer la fréquence cardiaque durant le trajet domicile-travail (aller et retour). L'enregistrement commençait au réveil et durant les différents déplacements matin et soir. De plus, un Journal Log était aussi en possession afin de remplir les détails nécessaires complétant les données du cardio-fréquencemètre pour une meilleure précision. Grâce à un test progressif sur tapis roulant (soit à peu près 1km/h par palier de 2 minutes), nous avons fait une première évaluation afin d'estimer les équivalents métaboliques de chaque fréquence cardiaque par sujet afin d'établir la correspondance durant les trajets. Le choix d'un test de marche sur tapis roulant avec des paliers entre 3.2km/hr et 8km/hr était réalisé dans le but de reproduire la marche dans les transports en communs. Le tapis roulant utilisé un h/p/cosmos Saturn avec un réseau de 6 récepteurs Polar. Les vitesses sont programmées par palier. Chaque sujet marche au début pendant une à deux minutes pour s'habituer à la marche sur tapis.

Durant le test, les fréquences cardiaques sont notées (au début, au milieu et à la fin de chaque palier) afin d'y associer la dépense énergétique durant le travail.

Pour chaque déplacement, la moyenne des fréquences cardiaques est calculée et associée à un équivalent métabolique (MET). Cette valeur multipliée par le temps consacré à cette activité (prenant en compte le poids), donne un résultat en Kcal. Exemple : FC moyenne = 3,3 MET, MET × poids (kg) × Temps parcouru (h) = $3,3 \times 74 \text{ kg} \times 0,30 = 73,6 \text{ kcal}$.

Données

Les données anthropométriques (poids, taille) ont été récoltées par déclaration et le niveau d'activité physique (NAP) par un questionnaire QAAP.

Chaque individu devait noter sa fréquence cardiaque, le temps et des détails comme la position (assis ou debout), le temps d'attente, la prise ou pas des escaliers durant les étapes suivantes : (1) au réveil, la mesure se fait en posture allongée dans un environnement calme. Ceci est utilisé afin de calculer la fréquence cardiaque de repos (2) trajet externe avant d'atteindre les escaliers du métro/RER (3) trajet interne en arrivant au quai et en notant si l'individu a pris les escaliers (4) temps d'attente, en notant si le sujet est assis ou debout (5) trajet en métro ou RER, en notant si le sujet est assis ou debout (6) dans les correspondances (7) suite à la sortie en précisant si les escaliers ont été pris (8) trajet station d'arrivée et le lieu de travail. Ils leur étaient conseillés de laisser le cardio-fréquencemètre pendant 5-6 min, le temps que leurs battements de cœur se stabilisent avant de l'enlever.

Résultats

Caractéristiques des sujets

Sujets	Sexe	Age	Poids(kg)	Taille(cm)	NAP	FC Repos(b.p.m)	Durée Trajet Aller(min)	Durée Trajet Retour(min)
1	M	23	79	174	2.4	52	50	41
2	M	30	61	179	1.4	52	84	86
3	F	26	71	161	1.4	60	51	49
4	M	23	75	179	1.8	52	51	38
5	F	26	62	171	1.8	44	20	26
6	F	26	61	170	1.5	60	38	57
7	F	27	55	160	1.7	81	79	51
8	M	31	59	170	2.1	79	69	69

Test de marche sur Tapis roulant

		Sujet 1			Sujet 2		
Vitesse	Equivalent	FC			FC		
		Début	1mn	Fin	Début	1mn	Fin
3.2 Km/h	2.0 METs	84	96	95	92	99	98
4 Km/h	3.0 METs	97	96	99	103	105	106
4.8 Km/h	3.3 METs	105	105	105	110	108	110
5.6 Km/h	3.8 METs	110	109	110	113	115	115
6.4 Km/h	5.0 METs	112	114	116	120	122	126
7.2 Km/h	6.3 METs	120	126	127	133	134	135
8 Km/h	8.0 METs	129	135	140	144	149	150
		Sujet 3			Sujet 4		
Vitesse	Equivalent	FC			FC		
		Début	1mn	Fin	Début	1mn	Fin
3.2 Km/h	2.0 METs	91	86	86	84	96	95
4 Km/h	3.0 METs	91	93	94	97	96	99
4.8 Km/h	3.3 METs	101	100	105	105	105	105
5.6 Km/h	3.8 METs	108	112	117	110	109	110
6.4 Km/h	5.0 METs	122	129	135	112	114	116
7.2 Km/h	6.3 METs	150	154	156	120	126	127
8 Km/h	8.0 METs				129	135	140
		Sujet 5			Sujet 6		
Vitesse	Equivalent	FC			FC		
		Début	1mn	Fin	Début	1mn	Fin
3.2 Km/h	2.0 METs	83	80	79	98	101	93
4 Km/h	3.0 METs	82	80	85	103	96	100
4.8 Km/h	3.3 METs	87	87	92	105	104	105
5.6 Km/h	3.8 METs	95	92	93	107	110	110
6.4 Km/h	5.0 METs	94	95	102	113	121	125
7.2 Km/h	6.3 METs	106	111	112	130	142	147
8 Km/h	8.0 METs	117	124	125	159	160	150
		Sujet 7			Sujet 8		
Vitesse	Equivalent	FC			FC		
		Début	1mn	Fin	Début	1mn	Fin
3.2 Km/h	2.0 METs	86	90	91	121	134	128
4 Km/h	3.0 METs	96	96	100	135	130	124
4.8 Km/h	3.3 METs	103	108	109	131	138	134
5.6 Km/h	3.8 METs	114	122	126	138	135	139
6.4 Km/h	5.0 METs	126	122	129	142	146	150
7.2 Km/h	6.3 METs	135	145	154	155	157	157
8 Km/h	8.0 METs	158	169 NA		160	173	174

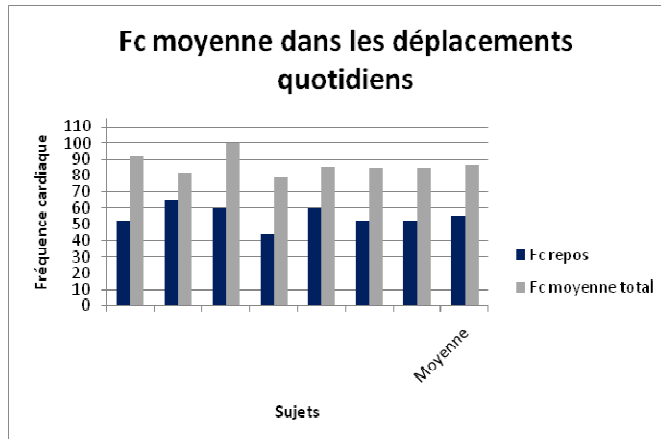
Afin de calculer la dépense énergétique nous avons comparé les fréquences cardiaques suite au test de tapis roulant aux résultats des battements du cœur individuel durant le trajet.

En vérifiant la fréquence cardiaque nous extrapolons un équivalent de METs pour chaque individu. Le sujet 8 n'était pas inclus dans les calculs, dû au fait que ces résultats durant le test sur tapis roulant ne correspondaient pas aux fréquences cardiaque durant le trajet. Par exemple pour le sujet 3 une fréquence cardiaque entre 101 et 105 b.p.m durant le trajet révèle un METs de 3.3. Ainsi, en établissant la correspondance de METs pour chaque sujet la dépense énergétique durant le trajet représentait en moyenne 122kcal (entre 0.6kcal par min à 1,5 kcal par min). Le trajet domicile-travail était en moyenne de 110 min, la fréquence cardiaque de

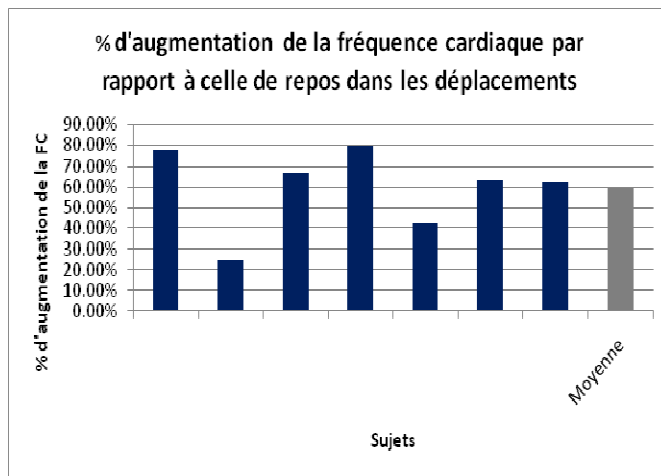
repos était en moyenne de 55 battements par minute (b.p.m) $\pm$ 7.5, et la fréquence cardiaque durant les transports était de 87 (b.p.m) $\pm$ 7.7.

Figure A et Figure B: représentation de la fréquence cardiaque moyenne durant les déplacements et le % d'augmentation par rapport à la fréquence cardiaque de repos.

A



B



Discussion

Nos résultats présentent une approche préliminaire de mesure de la dépense énergétique dans les transports actifs. Une augmentation entre 20 à 80% de la fréquence cardiaque par rapport à la fréquence cardiaque de repos a été observée. Ce grand écart entre les individus pourrait être dû aux facteurs de corrélations comme la condition physique initiale des participants, le poids, le sexe et leur vitesse de marche. Typiquement, des valeurs de 50 à 60% de la fréquence cardiaque maximale ($FCM=220-\text{âge}$) représentent une intensité physique de type légère. Dans notre échantillon les fréquences cardiaques maximales varient entre 189 à 197 b.p.m et le pourcentage de la fréquence cardiaque maximale de chaque sujet varie entre 40 et 50% suggérant une activité physique très légère durant les déplacements et une possible sous-estimation.

En terme de santé publique, des auteurs affirment que le cumul de plusieurs périodes d'activité physique de 10 à 15 min durant la journée est classifié bénéfique autant qu'une pratique de longue durée {Murphy2002}. Ces résultats renforcent l'intérêt d'approfondir les recherches de mesure de la dépense énergétique et de promouvoir les déplacements par transports actifs.

Suggestions et Perspective

L'utilisation d'une combinaison de différente méthode (IPAQ, accéléromètre, podomètre) est nécessaire en prenant en considération les facteurs individuels (condition physique, âge, sexe, poids, taille...) {Eston1998}. L'accéléromètre permet d'évaluer la quantité, la fréquence, l'intensité et la durée d'un mouvement et le podomètre évalue le nombre total de pas accumulé. {Meijer1989} suggère l'utilisation d'un accéléromètre triaxiale (évalue le mouvement en 3 dimensions) afin d'avoir une précision plus forte par rapport à la mesure de dépensé énergétique des activités légère.

Le compendium d'Ainsworth {Ainsworth2000} représente un intérêt car il permet d'évaluer la dépense énergétique de différentes activités sur une journée à un faible coût. Cependant, les intensités peuvent être inexactes, avec une sous-estimation de dépense énergétique, surtout pour les personnes de masse corporelle ou de masses grasses élevées. Enfin, une approche plus détaillée avec des mesures sur 1 semaine et en utilisant des outils complémentaires (accéléromètre, IPAQ) rendra l'estimation plus exacte.

Par la suite, il serait intéressant de cibler cette étude sur des personnes sédentaires afin de mieux comprendre les comportements, la dépense énergétique et les gains sanitaires associés. Car ce sont les personnes sédentaires qui bénéficieront le plus en changeant d'un mode de transport passif à un mode actif comme les transports en commun. Une augmentation de 1 METs pourrait diminuer la mortalité globale de 12 % {Myers2002}. Enfin, une évaluation économique qui prend en considération la mortalité (le coût d'une vie) pourrait être calculée avec l'outil HEAT¹² ou avec la méthode de coûts-bénéfices par {Wu2011} qui traduit les mesures de changements par une formule pré-calculée par rapport au coût sanitaire.

¹² HEAT (Health Economic Assessment Tool for Cycling) un outil de l'OMS basé sur les données de risque relatif du centre d'études démographiques à Copenhague qui démontrent un RR de mortalité de 0.72 toutes causes confondues chez les personnes âgés entre 20 et 60 ans et qui pratiquent régulièrement du vélo. L'outil estime le bénéfice (en termes de mortalité) suite à un report modal et quantifie le ratio de coût-bénéfice.

8.3. Abstract présenté durant le congrès du International Society for Environmental Epidemiology (ISEE) le 13-16 Septembre 2011.

TRANSPORTATION, AIR POLLUTION AND PHYSICAL ACTIVITIES (TAPAS), a 6-city integrated health risk assessment program of active travel policies: the Paris case study

H.Nassif, H.Desqueyroux, A.Rabl, C.Praznocy, J.Schipman, M. Chombart, G. Missonier, J.F. Toussaint, A. de Nazelle

Background and Aims

Active transportation helps in decreasing the burden of rising chronic diseases, the epidemic of obesity and air pollution emissions. Within the general program developed by the TAPAS consortium we present here the Paris case study.

Methods

We collected data from national or private surveys. Indicators collected are: demographic/geographical characteristics of the city, prevalence and type of active transportation, accident rates, and exposition to pollutants. In addition, we conducted a pilot study using heart rate monitors and specific indicators measured within a trip to measure the energy expenditure (EE) in different transportation modes. Second, we are developing a systematic approach to address and involve stake holders in the active travel initiative.

Results

Paris has 2.2 million inhabitants. The number of people that declare practicing a leisure time physical activity for at least 20 minutes (min) per day is 55.4% and the average daily air pollution (with the suburbs) is $20.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM₁₀, $13.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_{2,5}, $79.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for O₃. According to a recent national survey (2000-2008) the number of trips by foot constitutes 46.63% of the total transportation modes with an average time of 14.33 min; the bike represents 2.69% for an average duration of 20.69 min per trip. The public transportation and the car represent 33.52% and 12.12% respectively. Cycling accidents in 2008 were 567 with 5 reported deaths. The pilot study for EE revealed that for a same itinerary a 70 kg male subject increases his EE (kcal/hr) without significantly increasing the time spent commuting (e.g. 173 kcal/hr for the subway vs 495 kcal/hr for cycling). Finally, on-going meetings with several stake holders are arising great interest in the TAPAS initiative leading to valuable collaborations.

Conclusion

The following on-going research offers valuable proof and insight to the development of possible further future policies that would promote the use of active transportation. Future studies are needed to complete the current study and reinforce the role of active travel.

8.4. Article: Improving health through policies that promote active travel: a review of evidence to support integrated health impact assessment

Authors

Audrey de Nazelle^{1*}, Mark J Nieuwenhuijsen¹, Josep M Antó¹, Michael Brauer², David Briggs³, Charlotte Braun-Fahrlander⁴, Nick Cavill⁵, Ashley R Cooper⁶, Hélène Desqueyroux⁷, Scott Fruin⁸, Gerard Hoek⁹, Luc Int Panis¹⁰, Nicole Janssen¹¹, Michael Jerrett¹², Michael Joffe¹³, Zorana Jovanovic Andersen¹⁴, Elise van Kempen¹¹, Simon Kingham¹⁵, Nadine Kubesch¹, Kevin Leyden¹⁶, Julian D. Marshall¹⁷, Jaume Matamala¹, Giorgos Mellios¹⁸, Michelle Mendez¹, **Hala Nassif**¹⁹, David Ogilvie²⁰, Rosana Peiró²¹, Katherine Pérez²², Ari Rabl²³, Martina Ragettli⁴, Daniel Rodríguez²⁴, David Rojas¹, Pablo Ruiz²⁵, James F. Sallis²⁶, Jeroen Terwoert²⁷, Jean-François Toussaint¹⁹, Jouni Tuomisto²⁸, Moniek Zuurbier⁹, Erik Lebet^{9,11}

Author Affiliations

¹Center for Research in Environmental Epidemiology (CREAL), Municipal Institute of Medical Research (IMIM-Hospital del Mar), CIBER Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), Barcelona, Spain; ²School of Environmental Health, University of British Columbia, Vancouver Canada; ³Imperial College London, UK; ⁴Swiss Tropical and Public Health Institute and University of Basel, Switzerland; ⁵Cavill Associates Ltd., UK; ⁶School for Policy Studies, University of Bristol, UK; ⁷Agency for Environment and Energy Management (ADEME), Paris, France; ⁸University of Southern California, LA, USA; ⁹Institute for Risk Assessment Sciences, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands; ¹⁰Flemish Institute for Technological Research (VITO), Mol, Belgium; ¹¹National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Centre for Environmental Health, Bilthoven, The Netherlands; ¹²School of Public Health, University of California, Berkeley, USA; ¹³Department of Epidemiology and Biostatistics, Imperial College London, United Kingdom; ¹⁴Institute of Cancer Epidemiology, The Danish Cancer Society, Copenhagen, Denmark; ¹⁵Department of Geography, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand; ¹⁶Department of Political Science, West Virginia University, Morgantown, USA, and J.E. Cairnes School of Business & Economics, National University of Ireland, Galway; ¹⁷Department of Civil Engineering, University of Minnesota, Minneapolis MN, USA; ¹⁸Emisia S.A., Thessaloniki, Greece; ¹⁹IRMES, Institut de Recherche Biomédicale et d'Epidémiologie du Sport Paris, France; ²⁰RC Epidemiology Unit and Centre for Diet and Activity Research (CEDAR), Cambridge, UK; ²¹Centro Superior de Investigación en Salud Pública (CSISP), Valencia Spain; and CIBERESP; ²²Agència de Salut Pública de Barcelona, CIBERESP, and Instituto de Investigaciones Biomédicas de Sant Pau, Spain; ²³CEP, Ecole des Mines de Paris, France; ²⁴Department of City and Regional Planning, University of North Carolina -Chapel Hill, USA; ²⁵School of Public Health, Faculty of Medicine, University of Chile, Santiago, Chile; ²⁶Active Living Research, San Diego State Univ, CA, USA; ²⁷IVAM UvA BV, Amsterdam, Netherlands; ²⁸National Institute for Health and Welfare (THL), Kuopio, Finland.

(Version complète en Annexe)



Abstract

Background

Substantial policy changes to control obesity, limit chronic disease and reduce air pollution emissions, including green house gases, have been recommended. Transportation and planning policies that promote active travel by walking and cycling can contribute to these goals, potentially yielding further co-benefits. Little is known, however, about the interconnections among effects of policies considered, including potential unintended consequences.

Objectives and methods

We review available literature regarding health impacts from policies that encourage active travel in the context of developing health impact assessment (HIA) models to help decision-makers propose better solutions for healthy environments. We identify important components of HIA model shifts in active travel in response to transport policies and interventions.

Results and Discussion

Policies that increase active travel are likely to generate larger individual health benefits through increases in physical activity for active travelers. Smaller, but population-wide—benefits could accrue through reductions in air and noise pollution. Depending on conditions of policy implementations, risk tradeoffs are possible for some individuals who shift to active travel and consequently increase inhalation of air pollutants and exposures to traffic injuries. Well-designed policies may enhance health benefits through indirect outcomes such as protection from heat or improved social capital and diet, but these synergistic contributors are generally not sufficiently well understood to allow quantification at this time.

Conclusion

Evaluating impacts of active travel policies is highly complex, many associations can be quantified. Identifying health maximizing policies and conditions requires integrated HIAs.

Troisième Partie

Discussion et

Perspectives

DISCUSSION

L'objectif de cette thèse est d'étudier plusieurs types d'outils d'évaluations de promotion d'activité physique en population générale, en entreprise et concernant les transports actifs. Nos principaux résultats montrent que la condition physique est un indicateur pertinent de santé pour tous les âges, et qu'il peut permettre d'analyser l'évolution et le progrès d'une population en termes de prévention sanitaire. Notre deuxième étude montre que les interventions en entreprise sont réalisables et la prévention de l'activité physique dans la population générale pourrait donc commencer par une prévention dans le milieu tertiaire. Enfin, les modes de transports actifs offrent des bénéfices de santé individuels et communautaires qui sont mesurables à travers plusieurs paramètres. L'intérêt d'adapter les outils d'évaluation en fonction de la cible est clairement renforcé. Les résultats mettent en évidence les multiples possibilités d'évaluation des interventions à travers des indicateurs précis.

Enjeux et défis

Le déconditionnement physique entraîne des problèmes de santé à plusieurs niveaux et à tout âge. La majorité de notre connaissance sur les effets néfastes du manque d'activité physique ou sportive et de la sédentarité fait suite aux études longitudinales épidémiologiques établissant une relation entre niveau d'activité physique, condition physique, morbidité et mortalité.

Face à cette dégradation perceptible de la condition physique, une approche plus globale et transversale qui inclut l'augmentation de l'activité physique ou sportive journalière et la lutte contre la sédentarité devrait être au centre des stratégies politiques.

Le développement d'outils efficaces pour l'analyse des interventions ou des stratégies de promotion d'activité physique est un nouveau secteur de recherche utile à la prise de décision et la mise en œuvre des politiques ou des stratégies d'interventions sanitaires.

L'évaluation des impacts sanitaires pourrait être renforcée par des approches multidisciplinaires comme l'évaluation des risques environnementaux, l'économie et les indicateurs sociodémographique. Il est également nécessaire d'établir des critères normalisés d'application d'une procédure lors d'un plan d'évaluation. Même s'il est parfois difficile d'affirmer quels paramètres est responsable d'un changement précis dans nos modes de vie, des outils adaptés pourraient mettre en évidence, les facteurs les plus adéquats.

Afin d'appuyer ces propos nous avons étudié trois types d'outils d'évaluation dans différents milieux. L'originalité de notre approche est: (1) l'application et l'évaluation des recommandations dans un cadre réel, (2) la collaboration avec plusieurs équipes de disciplines différentes (3) et l'analyse de 3 types d'outils applicables en matière d'évaluation d'interventions de la promotion de l'activité physique.

Les résultats et les solutions exposés à travers les travaux réalisés dans cette thèse

Dans l'analyse d'une base de données conséquente, 31 133 individus, issue d'un nouvel outil de mesure de condition physique nous avons démontré (1) que l'IMC est négativement corrélé aux performances des tests de conditions physiques à tout âge, (2) que la condition physique diminue avec l'âge et atteint son maximum aux alentours de 26 ans pour les hommes et 22 ans pour les femmes, (3) et montré que l'application d'un modèle bi-exponentiel sur des données de l'état physique offre une nouvelle approche d'analyse de l'évolution de la condition physique et renforce l'intérêt d'utiliser cette mesure comme un indicateur de santé. Ces résultats soutiennent l'hypothèse selon laquelle la condition physique est fortement corrélée à la pratique d'activité physique ou sportive.

Par la suite, l'évaluation d'une intervention d'activité physique ou sportive au sein de l'entreprise sur des sujets souffrant de douleur lombaire chronique montre une efficacité significative ($p < 0.025$) de cette prise en charge en faveur du groupe pratiquant une activité physique trois fois par semaine. Le changement est perçu sur les paramètres physiologiques et psychologiques. Cette étude randomisée et contrôlée au sein d'une entreprise présente l'impact de l'application des recommandations et montre de réels signes d'efficacité. La significativité de ces travaux et l'importance des résultats en matière de santé soulignent l'importance d'un travail de collaboration entre les différents acteurs de cette étude: les laboratoires de recherches, le management et l'équipe du service médicale de l'entreprise. L'enjeu de la recherche dans le domaine de la prévention au sein de l'entreprise est de mieux déterminer les différents éléments de réflexion sur l'impact de l'activité physique dans le monde du travail. Ainsi, il serait intéressant d'envisager des interventions similaires et adaptées dans le milieu tertiaire.

A travers l'étude TAPAS nous avons révélé que la pratique d'activité physique pourrait être fortement augmentée en prenant les transports actifs sur Paris (métro, vélo, marche). Une augmentation de dépense énergétique journalière est envisageable par la prise régulière des transports actifs, ce qui se traduit par un gain de santé en termes de mortalité et de coût. De plus, les effets positifs de l'activité physique dépassent les risques d'accidents ou d'expositions à la pollution.

Les résultats soulevés par nos recherches ajoutent un apport original à l'état des travaux et des connaissances actuels en relation avec l'évaluation des outils et des interventions de promotion d'activité physique dans différents milieux.

Perspectives

L'activité physique a toujours été fondamentale à notre survie. Le corps humain est physiologiquement équilibré et l'activité physique régulière reste nécessaire au maintien de cet équilibre. Ainsi, les études d'évaluation des interventions de promotion d'activité physique ou sportive offriront à cette discipline un pouvoir de conviction auprès des décideurs et de la population en faveur d'un changement comportemental qui encourage la mobilité et limite la sédentarité. La mise en place des outils de mesures appropriés fait partie des étapes logiques afin d'avoir une vue d'ensemble des effets des interventions. Avec les avancements technologiques actuels et futurs nous sommes en mesure de développer des applications pertinentes qui pourront être intégrées à des instruments déjà fortement utilisés dans la population générale. Il s'agit d'apporter des informations réelles quantitatives et qualitatives des populations ciblées afin de mieux adapter les recommandations et les politiques de prévention en activité et inactivité physique.

Enfin, nous devons nous interroger sur les liens entre les facteurs internes (génétique, physiologique...) et les facteurs environnementaux externes. Notre capacité à réincorporer l'exercice physique dans notre vie quotidienne à tout âge est un défi qui déterminera en partie l'état de notre santé et des générations futures.

Bibliographie

- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., O'Brien, W. L., Bassett, D. R. J., Schmitz, K. H., Emplainscourt, P. O., Jacobs, D. R. J. & Leon, A.S. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc*, 32, S498-504.
- American College of Sport Medicine (2000). Guidelines for exercise testing and prescription. . Philadelphia : Lea & Febiger.
- Andersen, L. B., Lawlor, D. A., Cooper, A. R., Froberg, K. & Anderssen, S.A. (2009). Physical fitness in relation to transport to school in adolescents: the Danish youth and sports study. *Scand J Med Sci Sports*, 19, 406-11.
- Andreasi, V., Michelin, E., Rinaldi, A. E. M. & Burini, R.C. (2010). Physical fitness and associations with anthropometric measurements in 7 to 15-year-old school children. *J Pediatr (Rio J)*, 86, 497-502.
- Armstrong, N. & Bray, S. (1991). Physical activity patterns defined by continuous heart rate monitoring. *Arch Dis Child*, 66, 245-7.
- Baker, P. A., Francis, D. P., Soares, J., Weightman, A. & Foster, C. (2011). Community wide interventions for increasing physical activity (Review).
- Bauman, A., Cavill, N. & Brawley, L. (2009). ParticipACTION: the future challenges for physical activity promotion in Canada. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 6, 89.
- Bauman, A., Titze, S., Rissel, C. & Oja, P. (2011). Changing gears: bicycling as the panacea for physical inactivity?. *Br J Sports Med*.
- Beaudreuil, J., Kone, H., Lasbleiz, S., Vicaut, E., Richette, P., Cohen-Solal, M., Lioté, F., de Vernejoul, M., Nizard, R., Yelnik, A., Bardin, T. & Orcel, P. (2010). Efficacy of a functional restoration program for chronic low back pain: prospective 1-year study. *Joint Bone Spine*, 77, 435-9.
- Beets, M. W., Beighle, A., Erwin, H. E. & Huberty, J.L. (2009). After-school program impact on physical activity and fitness: a meta-analysis. *Am J Prev Med*, 36, 527-37.
- Berger, M. & Berchtold, P. (1979). The role of physical exercise and training in the management of diabetes mellitus. *Bibl Nutr Dieta*, , 41-54.

Bergouignan, A. (2008). Effet de l'inactivité physique sur les balances énergétique et oxydative : Inférences sur le rôle de la sédentarité dans l'étiologie de l'obésité, 298p. Thèse : Science du Vivant : *Université Louis Pasteur*.

Berthelot, G., Len, S., Hellard, P., Tafflet, M., Guillaume, M., Vollmer, J., Gager, B., Quinquis, L., Marc, A. & Toussaint, J. (2011). Exponential growth combined with exponential decline explains lifetime performance evolution in individual and human species. *Age (Dordr)* .

Bitar, A., Vermorel, M., Fellmann, N., Bedu, M., Chamoux, A. & Coudert, J. (1996). Heart rate recording method validated by whole body indirect calorimetry in 10-yr-old children. *J Appl Physiol*, 81, 1169-73.

Blaes, A. (2010). Evaluation et promotion de l'activité physique de jeunes français issus du Nord-Pas de Calais au moyen de l'accélérométrie: influence de l'âge, du sexe et du milieu socio-économique.

Blair, S. N. & Morris, J.N. (2009). Healthy hearts--and the universal benefits of being physically active: physical activity and health. *Ann Epidemiol*, 19, 253-6.

Blair, S. N., Cheng, Y. & Holder, J.S. (2001). Is physical activity or physical fitness more important in defining health benefits?. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33, S379-S399.

Blair, S. N., Kohl, H. W. 3., Paffenbarger, R. S. J., Clark, D. G., Cooper, K. H. & Gibbons, L.W. (1989). Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA : the Journal of the American Medical Association*, 262, 2395-401.

Brown, H. & Roberts, J. (2011). Exercising choice: The economic determinants of physical activity behaviour of an employed population. *Soc Sci Med* .

Brownson, R. C., Chiqui, J. F., Burgeson, C. R., Fisher, M. C. & Ness, R.B. (2010). Translating epidemiology into policy to prevent childhood obesity the case for promoting physical activity in school settings. *Ann Epidemiol*, 20, 436-44.

Brownson, R. C., Haire Joshi, D. & Luke, D.A. (2006). Shaping the context of health: a review of environmental and policy approaches in the prevention of chronic diseases. *Annu Rev Public Health*, 27, 341-70.

- Bryan, A. D., Nilsson, R., Tompkins, S. A., Magnan, R. E., Marcus, B. H. & Hutchison, K.E. (2011). The Big Picture of Individual Differences in Physical Activity Behavior Change: A Transdisciplinary Approach. *Psychol Sport Exerc*, 12, 20-26.
- Calmels, P., Béthoux, F., Condemine, A. & Fayolle-Minon, I. (2005). [Low back pain disability assessment tools]. *Ann Readapt Med Phys*, 48, 288-97.
- Caroly, S., Coutarel, F., Landry, A. & Mary-Cheray, I. (2010). Sustainable MSD prevention: management for continuous improvement between prevention and production. Ergonomic intervention in two assembly line companies. *Appl Ergon*, 41, 591-9.
- Chastin, S. F. M. & Granat, M.H. (2010). Methods for objective measure, quantification and analysis of sedentary behaviour and inactivity. *Gait Posture*, 31, 82-6.
- Cherry, C., Weinert, J. & Xinmiao, Y. (2009). Comparative environmental impacts of electric bikes in China. *Transportation Research Part D*, 14, 281-290.
- Chombart, M. (2011). Evaluation des risques et bénéfices sanitaires des politiques de déplacements promouvant les mobilités "douces ou actives", marche et vélo, par rapport à la voiture en Ile de France: Evaluation des expositions des cyclistes franciliens à la pollution de l'air. *Université Marne la Vallée*.
- Cole, T. J. (2003). The secular trend in human physical growth: a biological view. *Econ Hum Biol*, 1, 161-8.
- Colley, R. C., Garrigué, D., Janssen, I., Craig, C. L., Clarke, J. & Tremblay, M.S. (2011). Physical activity of Canadian adults: accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep*, 22, 7-14.
- Conn, V. S., Hafdahl, A. R., Cooper, P. S., Brown, L. M. & Lusk, S.L. (2009). Meta-analysis of workplace physical activity interventions. *Am J Prev Med*, 37, 330-9.
- Contandriopoulos, A. & Champagne, F. (1993). L'évaluation dans le domaine de la santé Concepts et méthodes. *Bulletin*, 33 (1), 12-17.
- Costa-Black, K. M., Loisel, P., Anema, J. R. & Pransky, G. (2010). Back pain and work. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 24, 227-40.

DOS SANTOS, G. (2009). Relation entre activité physique et risque de cancer du sein chez la femme à partir des données de la cohorte E3N, 193p. Thèse : Sciences du Sport : *Université Paris XI*.

Dagenais, S., Caro, J. & Haldeman, S. (2008). A systematic review of low back pain cost of illness studies in the United States and internationally. *Spine J*, 8, 8-20.

Dela, F., Mikines, K. J., von Linstow, M., Secher, N. H. & Galbo, H. (1992). Effect of training on insulin-mediated glucose uptake in human muscle. *Am J Physiol*, 263, E1134-43.

Demoulin, C., Vanderthommen, M., Duysens, C. & Crielaard, J. (2006). Spinal muscle evaluation using the Sorensen test: a critical appraisal of the literature. *Joint Bone Spine*, 73, 43-50.

Dube, J. J., Bhatt, B. A., Dedousis, N., Bonen, A. & O'Doherty, R.M. (2007). Leptin, skeletal muscle lipids, and lipid-induced insulin resistance. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 293, R642-50.

Dumith, S. C., Hallal, P. C., Reis, R. S. & Kohl, H.W.3. (2011). Worldwide prevalence of physical inactivity and its association with human development index in 76 countries. *Prev Med* .

Dunn, A. L., Marcus, B. H., Kampert, J. B., Garcia, M. E., Kohl, H. W. 3. & Blair, S.N. (1997). Reduction in cardiovascular disease risk factors: 6-month results from Project Active. *Prev Med*, 26, 883-92.

Dunn, K. M. & Croft, P.R. (2004). Epidemiology and natural history of low back pain. *Eura Medicophys*, 40, 9-13.

Eaton, S. B. & Eaton, S.B. (2003). An evolutionary perspective on human physical activity: implications for health. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 136, 153-9.

Erikssen, G. (2001). Physical fitness and changes in mortality: the survival of the fittest. *Sports Med*, 31, 571-6.

Eston, R. G., Rowlands, A. V. & Ingledew, D.K. (1998). Validity of heart rate, pedometry, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activities. *J Appl Physiol*, 84, 362-71.

Estrabrooks, P. A. & Gyurcsik, N.C. (2003). Evaluating the impact of behavioral interventions that target physical activity issues of generalizability and public health. *Psychology of Sport and Exercise*, 4, 41-55.

- Expertise, I. (2008). *Activité Physique Contextes et effets sur la santé- Expertise Collective*.
- Flay, B. R. (1986). Efficacy and effectiveness trials (and other phases of research) in the development of health promotion programs. *Prev Med*, 15, 451-74.
- Floud, R., Fogel, R., Harris, B. & Hong, S. (2011). *The changing body: Health, Nutrition, and Human Development in the Western World since 1700*. Cambridge University Press.
- Foster, C., Hillsdon, M. & Thorogood, M. (2005). Interventions for promoting physical activity. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I., Nieman, D. C., Swain, D. P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 43, 1334-59.
- Gilliam, T. B., Freedson, P. S., MacConnie, S. E., Geenen, D. L. & Pels, A.E.3. (1981). Comparison of blood lipids, lipoproteins, anthropometric measures, and resting and exercise cardiovascular responses in children, 6--7 years old. *Prev Med*, 10, 754-64.
- Graham, D. J., Sirard, J. R. & Neumark-Sztainer, D. (2011). Adolescents' attitudes toward sports, exercise, and fitness predict physical activity 5 and 10 years later. *Prev Med*, 52, 130-2.
- Guelec, F. (2009). Méthodes de mesure de l'activité physique, intérêt du podomètre dans l'incitation à l'activité physique en médecine générale: une revue de la littérature.
- Guillaume, M., Len, S., Tafflet, M., Quinquis, L., Montalvan, B., Schaal, K., Nassif, H., Desgorces, F. D. & Toussaint, J. (2011). Success and Decline: Top 10 Tennis Players Follow A Biphasic Course. *Med Sci Sports Exerc*.
- Guthold, R., Cowan, M. J., Autenrieth, C. S., Kann, L. & Riley, L.M. (2010). Physical activity and sedentary behavior among schoolchildren: a 34-country comparison. *J Pediatr*, 157, 43-49.e1.
- Hainer, V., Toplak, H. & Stich, V. (2009). Fat or fit: what is more important?. *Diabetes Care*, 32 Suppl 2, S392-7.
- Hamer, M. & Stamatakis, E. (2010). Objectively assessed physical activity, fitness and subjective wellbeing. *Mental Health and Physical Activity*, 3, 67-71.

Hamilton, M. T., Hamilton, D. G. & Zderic, T.W. (2007). Role of low energy expenditure and sitting in obesity, metabolic syndrome, type 2 diabetes, and cardiovascular disease. *Diabetes*, 56, 2655-67.

HarrisRoxas, B. & Harris, E. (2011). Differing forms, differing purposes A typology of health impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 31, 396-403.

Hasselstrøm, H., Hansen, S. E., Froberg, K. & Andersen, L.B. (2002). Physical fitness and physical activity during adolescence as predictors of cardiovascular disease risk in young adulthood. Danish Youth and Sports Study. An eight-year follow-up study. *Int J Sports Med*, 23 Suppl 1, S27-31.

Holtermann, A., Hansen, J. V., Burr, H., Sjøgaard, K. & Sjøgaard, G. (2011). The health paradox of occupational and leisure-time physical activity. *Br J Sports Med*.

Inpes, e. (2008). Barmomètre Santé.

Jacob, T., Baras, M., Zeev, A. & Epstein, L. (2004). Physical activities and low back pain: a community-based study. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 9-15.

Janz, K. F., Golden, J. C., Hansen, J. R. & Mahoney, L.T. (1992). Heart rate monitoring of physical activity in children and adolescents: the Muscatine Study. *Pediatrics*, 89, 256-61.

Jiménez Pavón, D., Ortega, F. P., Ruiz, J. R., España Romero, V., García Artero, E., Moliner Urdiales, D., Gómez Martínez, S., Vicente Rodríguez, G., Manios, Y., Béghin, L., Répasy, J., Sjöstrom, M., Moreno, L. A., González Gross, M., Castillo, M. J. (2010). Socioeconomic status influences physical fitness in European adolescents independently of body fat and physical activity: the HELENA study. *Nutr Hosp*, 25, 311-6.

Jordan, K., Dunn, K. M., Lewis, M. & Croft, P. (2006). A minimal clinically important difference was derived for the Roland-Morris Disability Questionnaire for low back pain. *J Clin Epidemiol*, 59, 45-52.

Kahn, E. B., Ramsey, L. T., Brownson, R. C., Heath, G. W., Howze, E. H., Powell, K. E., Stone, E. J., Rajab, M. W. & Corso, P. (2002). The effectiveness of interventions to increase physical activity. A systematic review. *Am J Prev Med*, 22, 73-107.

Kampert, J. B., Blair, S. N., Barlow, C. E. & Kohl, H.W.3. (1996). Physical activity, physical fitness, and all-cause and cancer mortality: a prospective study of men and women. *Ann Epidemiol*, 6, 452-7.

Karjalainen, K., Malmivaara, A., van Tulder, M., Roine, R., Jauhiainen, M., Hurri, H. & Koes, B. (2001). Multidisciplinary biopsychosocial rehabilitation for subacute low back pain in working-age adults: a systematic review within the framework of the Cochrane Collaboration Back Review Group. *Spine (Phila Pa 1976)*, 26, 262-9.

Kelly, C. M., Hoehner, C. M., Baker, E. A., Ramirez, L. B. & Brownson, R.C. (2006). Promoting physical activity in communities Approaches for successful evaluation of programs and policies. *EVALUATION and PROGRAM PLANNING*, 29, 280-292.

Kent, P., Mjø Sund, H. L. & Petersen, D.H.D. (2010). Does targeting manual therapy and/or exercise improve patient outcomes in nonspecific low back pain? A systematic review. *BMC Med*, 8, 22.

Kesaniemi, Y. K., Danforth, E. J., Jensen, M. D., Kopelman, P. G., Lefèbvre, P. & Reeder, B.A. (2001). Dose-response issues concerning physical activity and health: an evidence-based symposium. *Med Sci Sports Exerc*, 33, S351-8.

King, A. C. (2001). The coming of age of behavioral research in physical activity. *Ann Behav Med*, 23, 227-8.

Kohl, H. W. 3. (2001). Physical activity and cardiovascular disease: evidence for a dose response. *Med Sci Sports Exerc*, 33, S472-83; discussion S493-4.

Krismer, M., van Tulder, M. (2007). Strategies for prevention and management of musculoskeletal conditions. Low back pain (non-specific). *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 21, 77-91.

Lakoski, S. G., Barlow, C. E., Farrell, S. W., Berry, J. D., Morrow, J. R. J. & Haskell, W.L. (2011). Impact of body mass index, physical activity, and other clinical factors on cardiorespiratory fitness (from the Cooper Center longitudinal study). *Am J Cardiol*, 108, 34-9.

Lamb, S. E., Hansen, Z., Lall, R., Castelnovo, E., Withers, E. J., Nichols, V., Potter, R., Underwood, M. R. (2010). Group cognitive behavioural treatment for low-back pain in primary care: a randomised controlled trial and cost-effectiveness analysis. *Lancet*, 375, 916-23.

- Lamoth, C. J. C., Meijer, O. G., Daffertshofer, A., Wuisman, P. I. J. M. & Beek, P.J. (2006). Effects of chronic low back pain on trunk coordination and back muscle activity during walking: changes in motor control. *Eur Spine J*, 15, 23-40.
- Leclerc, A., Gourmelen, J., Chastang, J., Plouvier, S., Niedhammer, I. & Lanoë, J. (2009). Level of education and back pain in France: the role of demographic, lifestyle and physical work factors. *Int Arch Occup Environ Health*, 82, 643-52.
- Lee, P. H., Macfarlane, D. J., Lam, T. H. & Stewart, S.M. (2011). Validity of the International Physical Activity Questionnaire Short Form (IPAQ-SF): A systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 8, 115.
- Leonard, W. R. (2003). Measuring human energy expenditure: what have we learned from the flex-heart rate method?. *Am J Hum Biol*, 15, 479-89.
- Levine, B. D. (2008). .VO2max: what do we know, and what do we still need to know?. *J Physiol*, 586, 25-34.
- Liddle, S. D., Baxter, G. D. & Gracey, J.H. (2004). Exercise and chronic low back pain: what works? *Pain*, 107, 176-90.
- Liddle, S. D., Gracey, J. H. & Baxter, G.D. (2007). Advice for the management of low back pain: a systematic review of randomised controlled trials. *Man Ther*, 12, 310-27.
- Liu, R., Sui, X., Ladička, J. N., Church, T. S., Colabianchi, N., Hussey, J. & Blair, S.N. (2011). Cardiorespiratory Fitness as a Predictor of Dementia Mortality in Men and Women. *Med Sci Sports Exerc*.
- Livingstone, M. B., Coward, W. A., Prentice, A. M., Davies, P. S., Strain, J. J., McKenna, P. G., Mahoney, C. A., White, J. A., Stewart, C. M. & Kerr, M.J. (1992). Daily energy expenditure in free-living children: comparison of heart-rate monitoring with the doubly labeled water (2H2(18)O) method. *Am J Clin Nutr*, 56, 343-52.
- MORRIS, J. N. & HEADY, J.A. (1953). Mortality in relation to the physical activity of work: a preliminary note on experience in middle age. *Br J Ind Med*, 10, 245-54.
- MORRIS, J. N., HEADY, J. A., RAFFLE, P. A., ROBERTS, C. G. & PARKS, J.W. (1953). Coronary heart-disease and physical activity of work. *Lancet*, 265, 1111-20; concl.

- Maes, L., Van Cauwenberghe, E., Van Lippevelde, W., Spittaels, H., De Pauw, E., Oppert, J., Van Lenthe, F. J., Brug, J. & De Bourdeaudhuij, I. (2011). Effectiveness of workplace interventions in Europe promoting healthy eating: a systematic review. *Eur J Public Health*.
- Maffeis, C., Pinelli, L., Zaffanello, M., Schena, F., Iacumin, P. & Schutz, Y. (1995). Daily energy expenditure in free-living conditions in obese and non-obese children: comparison of doubly labelled water method and heart-rate monitoring. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 19, 671-7.
- Magnusson, R. S. (2009). Rethinking global health challenges: towards a 'global compact' for reducing the burden of chronic disease. *Public Health*, 123, 265-74.
- Manchikanti, L. (2000). Epidemiology of low back pain. *Pain Physician*, 3, 167-92.
- Marcus, B. H., Williams, D. M., Dubbert, P. M., Sallis, J. F., King, A. C., Yancey, A. K., Franklin, B. A., Buchner, D., Daniels, S. R., Claytor, R. P., , (2006). Physical activity intervention studies: what we know and what we need to know: a scientific statement from the American Heart Association Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism (Subcommittee on Physical Activity); Council on Cardiovascular Disease in the Young; and the Interdisciplinary Working Group on Quality of Care and Outcomes Research. *Circulation*, 114, 2739-52.
- Marques-Vidal, P., Marcelino, G., Ravasco, P., Oliveira, J. M. & Paccaud, F. (2010). Increased body fat is independently and negatively related with cardiorespiratory fitness levels in children and adolescents with normal weight. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 17, 649-54.
- Mascot, M., Armoogum, J., Bonnel, P. & Caubel, D. (2006). Potential for Car Use Reduction through a Simulation Approach: Paris and Lyon Case Studies. *Transport Reviews*, 26, No.1, 25-42.
- Maurice, M., Blanchard-Dauphin, A., Laurent, P., Thevenon, A. & Tiffreau, V. (2008). [Short- and midterm effectiveness of a back school. Retrospective cohort study on 328 patients with chronic low back pain from 1997 to 2004]. *Ann Readapt Med Phys*, 51, 292-300.
- McAuley, P. A. & Blair, S.N. (2011). Obesity paradoxes. *J Sports Sci*, 1-10.
- Meijer, G. A., Westerterp, K. R., Koper, H. & ten Hoor, F. (1989). Assessment of energy expenditure by recording heart rate and body acceleration. *Med Sci Sports Exerc*, 21, 343-7.
- Mindell, J. S., Boltong, A. & Forde, I. (2008). A review of health impact assessment frameworks. *Public Health*, 122, 1177-87.

Moliner-Urdiales, D., Ruiz, J. R., Ortega, F. B., Jiménez-Pavón, D., Vicente-Rodriguez, G., Rey-López, J. P., Martínez-Gómez, D., Casajús, J. A., Mesana, M. I., Marcos, A., Noriega-Borge, M. J., Sjöström, M., Castillo, M. J., Moreno, L. A. (2010). Secular trends in health-related physical fitness in Spanish adolescents: the AVENA and HELENA studies. *J Sci Med Sport*, 13, 584-8.

Moliner-Urdiales, D., Ruiz, J. R., Ortega, F. B., Jiménez-Pavón, D., Vicente-Rodriguez, G., Rey-López, J. P., Martínez-Gómez, D., Casajús, J. A., Mesana, M. I., Marcos, A., Noriega-Borge, M. J., Sjöström, M., Castillo, M. J., Moreno, L. A. (2010). Secular trends in health-related physical fitness in Spanish adolescents: the AVENA and HELENA studies. *J Sci Med Sport*, 13, 584-8.

Moore, D. H. 2. (1975). A study of age group track and field records to relate age and running speed. *Nature*, 253, 264-5.

Morabia, A. & Costanza, M.C. (2009). Imbalanced diet vs. sedentary lifestyle: the burden of history. *Prev Med*, 49, 275-6.

Morabia, A., Amstislavski, P. N., Mirer, F. E., Amstislavski, T. M., Eisl, H., Wolff, M. S. & Markowitz, S.B. (2009). Air pollution and activity during transportation by car, subway, and walking. *Am J Prev Med*, 37, 72-7.

Morabia, A., Mirer, F. E., Amstislavski, T. M., Eisl, H. M., Werbe-Fuentes, J., Gorczynski, J., Goranson, C., Wolff, M. S. & Markowitz, S.B. (2010). Potential health impact of switching from car to public transportation when commuting to work. *Am J Public Health*, 100, 2388-91.

Mouraby, R., Tafflet, M., Nassif, H., Toussaint, J. F. & Desgorces, F.D. (2011). Fiabilité et validation de la batterie de tests physiques Diagnoform. *Science et Sports*.

Murphy, M., Nevill, A., Neville, C., Biddle, S. & Hardman, A. (2002). Accumulating brisk walking for fitness, cardiovascular risk, and psychological health. *Med Sci Sports Exerc*, 34, 1468-74.

Myers, J., Prakash, M., Froelicher, V., Do, D., Partington, S. & Atwood, J.E. (2002). Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med*, 346, 793-801.

Naughton, G. A., Carlson, J. S. & Greene, D.A. (2006). A challenge to fitness testing in primary schools. *J Sci Med Sport*, 9, 40-5.

Negrini, S., Fusco, C., Atanasio, S., Romano, M. & Zaina, F. (2008). Low back pain: state of art. *European Journal of Pain Supplements*, 2, 52-56.

Nicholas, M. K., Asghari, A. & Blyth, F.M. (2008). What do the numbers mean? Normative data in chronic pain measures. *Pain*, 134, 158-73.

Nielsen, G. A. & Andersen, L.B. (2003). The association between high blood pressure, physical fitness, and body mass index in adolescents. *Prev Med*, 36, 229-34.

Nise, M. S., Falaturi, P. & Erren, T.C. (2010). Epigenetics: origins and implications for cancer epidemiology. *Med Hypotheses*, 74, 377-82.

O'Donovan, G., Blazeovich, A. J., Boreham, C., Cooper, A. R., Crank, H., Ekelund, U., Fox, K. R., Gately, P., Giles-Corti, B., Gill, J. M. R., Hamer, M., McDermott, I., Murphy, M., Mutrie, N., Reilly, J. J., Saxton, J. M. & Stamatakis, E. (2010). The ABC of Physical Activity for Health: a consensus statement from the British Association of Sport and Exercise Sciences. *J Sports Sci*, 28, 573-91.

O'Keefe, J. H., Vogel, R., Lavie, C. J. & Cordain, L. (2010). Achieving hunter-gatherer fitness in the 21(st) century: back to the future. *Am J Med*, 123, 1082-6.

OMS, S. (2010). Recommandations Mondiales sur l'Activité Physique pour la santé.

Oguma, Y., Sesso, H. D., Paffenbarger, R. S. J. & Lee, I. (2002). Physical activity and all cause mortality in women: a review of the evidence. *Br J Sports Med*, 36, 162-72.

Oppert, J. M. (2004). Why and how to evaluate physical activity?. *Journ Annu Diabetol Hotel Dieu*, , 47-59.

Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J. & Sjöström, M. (2008). Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *Int J Obes (Lond)*, 32, 1-11.

Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J., Moreno, L. A., González-Gross, M., Wärnberg, J., Gutiérrez, A. (2005). [Low level of physical fitness in Spanish adolescents. Relevance for future cardiovascular health (AVENA study)]. *Rev Esp Cardiol*, 58, 898-909.

Ostelo, R. W. J. G. & de Vet, H.C.W. (2005). Clinically important outcomes in low back pain. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 19, 593-607.

Paalanne, N. P., Korpelainen, R. I., Taimela, S. P., Auvinen, J. P., Tammelin, T. H., Hietikko, T. M., Kaikkonen, H. S., Kaikkonen, K. M. & Karppinen, J.I. (2009). Muscular fitness in relation to physical activity and television viewing among young adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41, 1997-2002.

- Paffenbarger, R. S. J., Kampert, J. B., Lee, I. M., Hyde, R. T., Leung, R. W. & Wing, A.L. (1994). Changes in physical activity and other lifeway patterns influencing longevity. *Med Sci Sports Exerc*, 26, 857-65.
- Pate, R., O'Neill, J. & Lobelo, F. (2008). The evolving definition of "sedentary". *Exerc Sport Sci Rev*, 36, 173-8.
- Patel, A. V., Bernstein, L., Deka, A., Feigelson, H. S., Campbell, P. T., Gapstur, S. M., Colditz, G. A. & Thun, M.J. (2010). Leisure time spent sitting in relation to total mortality in a prospective cohort of US adults. *Am J Epidemiol*, 172, 419-29.
- Pfingsten, M., Hildebrandt, J., Leibing, E., Franz, C. & Saur, P. (1997). Effectiveness of a multimodal treatment program for chronic low-back pain. *Pain*, 73, 77-85.
- Pleis, J. R., Lucas, J. W. & Ward BW (2009). Summary Health Statistics for U.S. Adults: National Health Interview Survey, 2008. , Vital Health Stat 10(242).
- Potvin, L., Paradis, G. & Lessard, R. (1994). Le paradoxe de l'évaluation des programmes communautaires multiples de promotion de la santé. *Ruptures*, 1, 45-57.
- Powell, K. E., Roberts, A. M., Ross, J. G., Phillips, M. A. C., Ujamaa, D. A. & Zhou, M. (2009). Low physical fitness among fifth- and seventh-grade students, Georgia, 2006. *Am J Prev Med*, 36, 304-10.
- Proper, K. I., Singh, A. S., van Mechelen, W. & Chinapaw, M.J.M. (2011). Sedentary behaviors and health outcomes among adults: a systematic review of prospective studies. *Am J Prev Med*, 40, 174-82.
- Rainville, J., Hartigan, C., Martinez, E., Limke, J., Jouve, C. & Finno, M. (2004). Exercise as a treatment for chronic low back pain. *Spine J*, 4, 106-15.
- Rey-López, J. P., Vicente-Rodriguez, G., Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Martinez-Gómez, D., De Henauw, S., Manios, Y., Molnar, D., Polito, A., Verloigne, M., Castillo, M. J., Sjöström, M., De Bourdeaudhuij, I., Moreno, L. A. (2010). Sedentary patterns and media availability in European adolescents: The HELENA study. *Prev Med*, 51, 50-5.

- Rizzo, N. S., Ruiz, J. R., Hurtig-Wennlöf, A., Ortega, F. B. & Sjöström, M. (2007). Relationship of physical activity, fitness, and fatness with clustered metabolic risk in children and adolescents: the European youth heart study. *J Pediatr*, 150, 388-94.
- Roche, G., Ponthieux, A., Parot-Shinkel, E., Jousset, N., Bontoux, L., Dubus, V., Penneau-Fontbonne, D., Roquelaure, Y., Legrand, E., Colin, D., Richard, I. & Fanello, S. (2007). Comparison of a functional restoration program with active individual physical therapy for patients with chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 88, 1229-35.
- Ross, R. & Bradshaw, A.J. (2009). The future of obesity reduction: beyond weight loss. *Nat Rev Endocrinol*, 5, 319-25.
- Rossignol, M., Rozenberg, S. & Leclerc, A. (2009). Epidemiology of low back pain: what's new? *Joint Bone Spine*, 76, 608-13.
- Ruiz, J. R., Ortega, F. B., Gutierrez, A. & Castillo, M.J. (2006). Health related fitness assessment in childhood and adolescence a European approach based on the AVENA, EYHS and HELENA studies. *J Public Health*, DOI 10.1007/s10389-006-0059-z.
- Sassen, B., Kok, G., Schaalma, H., Kiers, H. & Vanhees, L. (2010). Cardiovascular risk profile: cross-sectional analysis of motivational determinants, physical fitness and physical activity. *BMC Public Health*, 10, 592.
- Sawada, S. S., Lee, I., Naito, H., Noguchi, J., Tsukamoto, K., Muto, T., Higaki, Y., Tanaka, H. & Blair, S.N. (2010). Long-term trends in cardiorespiratory fitness and the incidence of type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 33, 1353-7.
- Schneider, S., Schmitt, H., Zoller, S. & Schiltenswolf, M. (2005). Workplace stress, lifestyle and social factors as correlates of back pain: a representative study of the German working population. *Int Arch Occup Environ Health*, 78, 253-69.
- Schonstein, E., Kenny, D., Keating, J., Koes, B. & Herbert, R.D. (2003). Physical conditioning programs for workers with back and neck pain: a cochrane systematic review. *Spine (Phila Pa 1976)*, 28, E391-5.
- Schulz, R. & Curnow, C. (1988). Peak performance and age among superathletes: track and field, swimming, baseball, tennis, and golf. *J Gerontol*, 43, P113-20.

Shinkai, S., Konishi, M. & Shephard, R.J. (1997). Aging, exercise, training, and the immune system. *Exerc Immunol Rev*, 3, 68-95.

Simon, C., Schweitzer, B., Tribby, E., Hausser, F., Copin, N., Kellou, N., Platat, C. & Blanc, S. (2011). Promouvoir l'activité physique, lutter contre la sédentarité et prévenir le surpoids chez l'adolescent, c'est possible: les leçons d'ICAPS. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 46, 130-136.

Simon, C., Wagner, A., Platat, C., Arveiler, D., Schweitzer, B., Schlienger, J. L. & Tribby, E. (2006). ICAPS: a multilevel program to improve physical activity in adolescents. *Diabetes Metab*, 32, 41-9.

Snook, S. H. (2004). Work-related low back pain: secondary intervention. *J Electromyogr Kinesiol*, 14, 153-60.

Spurr, G. B., Prentice, A. M., Murgatroyd, P. R., Goldberg, G. R., Reina, J. C. & Christman, N.T. (1988). Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr*, 48, 552-9.

Stein, C. J. & Colditz, G.A. (2004). The epidemic of obesity. *J Clin Endocrinol Metab*, 89, 2522-5.

Stephens, B. R., Granados, K., Zderic, T. W., Hamilton, M. T. & Braun, B. (2011). Effects of 1 day of inactivity on insulin action in healthy men and women: interaction with energy intake. *Metabolism*, 60, 941-9.

Sternfeld, B., Sidney, S., Jacobs, D. R. J., Sadler, M. C., Haskell, W. L. & Schreiner, P.J. (1999). Seven-year changes in physical fitness, physical activity, and lipid profile in the CARDIA study. Coronary Artery Risk Development in Young Adults. *Ann Epidemiol*, 9, 25-33.

Strath, S. J., Swartz, A. M., Bassett, D. R. J., O'Brien, W. L., King, G. A. & Ainsworth, B.E. (2000). Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Med Sci Sports Exerc*, 32, S465-70.

Szostak, J. & Laurant, P. (2011). The forgotten face of regular physical exercise: a 'natural' anti-atherogenic activity. *Clin Sci (Lond)*, 121, 91-106.

TESSIER, S. (2008). EFFETS BENEFIQUES DE L'ACTIVITE PHYSIQUE SUR LA QUALITE DE VIE LIEE A LA SANTE ET LA CORPULENCE: UNE APPROCHE EPIDEMIOLOGIQUE ET EVALUATIVE, 199p Thèse : *Epidémiologie et santé Publique : Nancy 1*.

Thiebaut, A. (2008). Prise en charge des lombalgies au travail dans l'entreprise. *PSA PEUGEOT CITROEN*.

Tomkinson, G. R., Léger, L. A., Olds, T. S. & Cazorla, G. (2003). Secular trends in the performance of children and adolescents (1980-2000): an analysis of 55 studies of the 20m shuttle run test in 11 countries. *Sports Med*, 33, 285-300.

Toussaint, J. (2008). Rapport Préparatoire Plan National de prévention par l'Activité Physique ou Sportive.

Tremblay, M. S., Shields, M., Laviolette, M., Craig, C. L., Janssen, I. & Gorber, S.C. (2010). Fitness of Canadian children and youth: results from the 2007-2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep*, 21, 7-20.

Tveito, T. H., Shaw, W. S., Huang, Y., Nicholas, M. & Wagner, G. (2010). Managing pain in the workplace: a focus group study of challenges, strategies and what matters most to workers with low back pain. *Disabil Rehabil*, 32, 2035-45.

Veerman, J. L., Healy, G. N., Cobiac, L. J., Vos, T., Winkler, E. A. H., Owen, N. & Dunstan, D.W. (2011). Television viewing time and reduced life expectancy: a life table analysis. *Br J Sports Med*.

Vuori, I., Lankenau, B. & Pratt, M. (2004). Physical activity policy and program development: the experience in Finland. *Public Health Rep*, 119, 331-45.

WHO, R. P. (2000). Transport, environment and health.

Waddell, G. & Burton, A.K. (2001). Occupational health guidelines for the management of low back pain at work: evidence review. *Occup Med (Lond)*, 51, 124-35.

Walker, A. P., Walker, B. F. & Adam, F. (2003). Nutrition, diet, physical activity, smoking, and longevity: from primitive hunter-gatherer to present passive consumer--how far can we go?. *Nutrition*, 19, 169-73.

Wells, K. F. & Dillon, E.K. (1952). The sit and reach. A test of back and leg flexibility. *Research Quarterly*, 23, 115-118.

- Wen, C. P., Wai, J. P. M., Tsai, M. K., Yang, Y. C., Cheng, T. Y. D., Lee, M., Chan, H. T., Tsao, C. K., Tsai, S. P. & Wu, X. (2011). Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: a prospective cohort study. *Lancet*.
- Wilhelm, F., Fayolle-Minon, I., Phaner, V., Le-Quang, B., Rimaud, D., Béthoux, F. & Calmels, P. (2010). Sensitivity to change of the Quebec Back Pain Disability Scale and the Dallas Pain Questionnaire. *Ann Phys Rehabil Med*, 53, 15-23.
- Wittink, H., Engelbert, R. & Takken, T. (2011). The dangers of inactivity; exercise and inactivity physiology for the manual therapist. *Man Ther*, 16, 209-16.
- World Health, O. (2006). Physical activity and health in Europe: evidence for action.
- Wrench, A. & Garret, R. (2008). Pleasure and pain: experiences of fitness testing. *European Physical Education Review*, 4, 325-346.
- Wu, S., Cohen, D., Shi, Y., Pearson, M. & Sturm, R. (2011). Economic analysis of physical activity interventions. *Am J Prev Med*, 40, 149-58.
- Yates, T., Wilmot, E. G., Khunti, K., Biddle, S., Gorely, T. & Davies, M.J. (2011). Stand up for your health: Is it time to rethink the physical activity paradigm? *Diabetes Res Clin Pract*.
- de Nazelle, A., Nieuwenhuijsen, M. J., Antó, J. M., Brauer, M., Briggs, D., Braun-Fahrlander, C., Cavill, N., Cooper, A. R., Desqueyroux, H., Fruin, S., Hoek, G., Panis, L. I., Janssen, N., Jerrett, M., Joffe, M., Andersen, Z. J., van Kempen, E., Kingham, S., Kubesch, N., Leyden, K. M., Marshall, J. D., Matamala, J., Mellios, G., Mendez, M., Nassif, H., Ogilvie, D., Peiró, R., Pérez, K., Rabl, A., Ragettli, M., Rodríguez, D., Rojas, D., Ruiz, P., Sallis, J. F., Terwoert, J., Toussaint, J., Tuomisto, J., Zuurbier, M. & Lebre, E. (2011). Improving health through policies that promote active travel: A review of evidence to support integrated health impact assessment. *Environ Int*, 37, 766-77.
- d' Intignano, B. & Ulmann, P. (2001). Economie de la Santé. Press Universitaires de France.
- van Middelkoop, M., Rubinstein, S. M., Verhagen, A. P., Ostelo, R. W., Koes, B. W. & van Tulder, M.W. (2010). Exercise therapy for chronic nonspecific low-back pain. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 24, 193-204.

van der Aa, N., De Geus, E. J. C., van Beijsterveldt, T. C. E. M., Boomsma, D. I. & Bartels, M. (2010). Genetic Influences on Individual Differences in Exercise Behavior during Adolescence. *Int J Pediatr*, 2010, 138345.

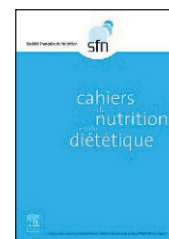
ANNEXES



Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

www.em-consulte.com



Équilibres : Réflexions, actions et opportunités pour la promotion de l'activité physique ou sportive

Balances: Reflexions, actions and opportunities for the promotion of sports and physical activities

Hala Nassifa^{a,b}, Adrien Sedeaud^{a,b}, Julien Schipman^a, Jean-François Toussaint^{a,b,c,*}

^a IRMES, Institut de Recherche bioMédicale et d'Épidémiologie du Sport

^b Université Paris-Descartes, 12 rue de l'école de médecine, 75006 Paris, France

^c Président de la Commission Prévention, Promotion et Éducation pour la Santé, Haut Conseil de la santé publique, 14 avenue Duquesne, 75350 Paris 07 SP

MOTS CLÉS

Mobilités douces ;
Sédentarité ;
Activité physique ;
Actions locales ;
Programme National
Nutrition Santé
(PNNS)

Résumé

L'augmentation de la sédentarité des français et la diminution de la pratique des activités physiques ou sportives (APS) favorables à la santé suscitent de nombreuses tentatives publiques et campagnes de promotion visant à favoriser la dépense énergétique. Mais si la conscience de ce déséquilibre apparaît de plus en plus clairement dans la population, le passage à l'acte est encore loin d'être réussi. C'est pourquoi se mettent en place de nombreux groupes de travail et de réflexion cherchant à élargir les champs d'action mais surtout à tirer parti de tous les environnements favorables à cette remise en forme. L'école, l'entreprise, les collectivités territoriales ou les acteurs du sport (clubs, ligues, associations) sont de plus en plus impliqués dans la participation à ce grand mouvement, qui verra, par le biais du PNNS 2011-2015, croître l'investissement dans un domaine un peu négligé jusque là : celui de l'équilibre énergétique.

© 2011 Société française de nutrition. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Active mobilities;
Sedentary lifestyle;
Physical activity;
Local actions;
The French National
Nutrition and Health
Program

Summary

The increase of sedentary lifestyle in the French population and the decrease in the time daily devoted to physical activity has raised public concerns. Promotional campaigns to raise energy expenditure and health awareness have recently increased. Nevertheless, although the recognition of such an imbalance is becoming more evident in the population, a real beneficial modification is still far from a full success. Numerous working groups are seeking to broaden the scope of action and take advantage of environments that facilitate the application of strategies. Local settings such as schools, businesses, urban authorities and sports representatives (clubs, leagues and associations) progressively increase their engagement. Through large collective participations gathered in the PNNS initiative (Plan National Nutrition Santé 2011-2015), we may witness a growing investment in the energy balance, an area that has been neglected so far.

© 2011 Société française de nutrition. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

*Auteur correspondant.

jean-francois.toussaint@htd.aphp.fr (JF Toussaint)

Introduction

L'accroissement de la sédentarité et la régression de la condition physique constituent un problème majeur de santé publique. Pourtant les effets bénéfiques de l'activité physique limitant la progression des maladies métaboliques, cardiovasculaires ou neuro-dégénératives, de certains cancers, de la dépression, ou favorisant le développement cognitif ont été largement démontrés [1]. En mai 2004, l'Organisation mondiale de la santé adopte la stratégie mondiale sur l'alimentation, l'activité physique et la santé [2]. En 2001, l'objectif du PNNS1 en matière d'activité physique est *d'augmenter d'un quart la proportion d'adultes pratiquant l'équivalent de 30 minutes de marche rapide par jour* [3]. En 2006, le PNNS 2 consacre un de ses 19 objectifs (*Augmenter l'activité physique de 25 %*) à ce régulateur majeur de l'équilibre individuel et de la santé [4]. Le deuxième bilan présenté au comité national de santé publique (CNSP) en novembre 2009 incluait également un paragraphe consacré à l'activité physique : *Promouvoir les déplacements actifs en ville*, prenant en considération la dimension développement durable.

Le principal problème de l'évaluation de ces engagements repose sur la difficulté d'obtenir des indicateurs et des mesures exactes, répétées régulièrement, et à une échelle suffisamment large pour être représentatives de la population. Seul l'aspect déclaratif des enquêtes du Baromètre Santé nous permet de suivre dans le temps la façon dont les Français s'estiment en ce domaine. L'ENNS (Enquête Nationale Nutrition Santé) a utilisé pour les adultes un questionnaire reconnu au niveau international (IPAQ : *International physical activity questionnaire*). Par ailleurs, l'information du grand public ne constitue qu'une partie des stratégies de modification des comportements. Isolée, elle n'a pas montré sa capacité à renforcer l'activité physique dans des campagnes évaluées aux USA comme en Grande-Bretagne [5]. Favoriser les modifications de l'environnement et du cadre de vie doit donc compléter les mesures d'éducation [6].

En 2007, la définition du nouveau périmètre ministériel, de la santé et des sports, lance de nouvelles synergies. Elles se concrétisent notamment sous la forme du rapport de la commission prévention, sport et santé visant à la promotion de l'activité physique ou sportive avec un objectif de renforcer les actions du PNNS, appuyant son analyse sur le fait qu'il n'est pas souhaitable d'avoir deux opérateurs avec des actions et des messages aussi proches. Ses recommandations insistent aussi sur la nécessité de renforcer les liens avec les acteurs de terrain : acteurs de l'éducation pour la part d'éducation à la santé et la diffusion des préconisations du PNNS et la pratique associée, les entreprises comme acteur nouveau d'une prévention au quotidien, les acteurs du sport (clubs et associations) pour augmenter l'offre non compétitive à destination des populations, les collectivités territoriales pour développer l'environnement urbain ou rural favorisant la dépense énergétique. Ce rapport intègre ses propositions dans le cadre du plan national Nutrition Santé mais aussi des plans nationaux (Maladies Chroniques, Maladies Rares, Bien Vieillir, Santé des Jeunes) et des actions internationales (Union Européenne : Livre blanc sur le sport 2007, Organisation Mondiale de la Santé) en adaptant leurs perspectives aux circonstances françaises. Il constitue de fait une boîte à outil pour les décideurs et ceux qui cherchent à mettre en place des actions concrètes et efficaces pour lutter contre la sédentarité.

Initiatives et Projets en France

Dans la foulée de ces initiatives, soutenues depuis 10 ans, de nombreux projets ont vu le jour parmi lesquels l'étude de prévention ICAPS (Intervention auprès des Collégiens, centrée sur l'Activité Physique et la Sédentarité) à Strasbourg ou l'étude de prévention de l'obésité ciblée du Val-de-Marne chez l'enfant. Chez l'adulte, le projet ETAP (ETude-Action de Promotion de l'Activité Physique) est en cours dans le cadre de la phase III de l'Etude Fleurbaix-Laventie Ville-Santé. Ces actions locales qui, par leurs objectifs ou leurs impacts, favorisent les mobilités ou le sport pour tous sont également nombreuses mais la prise en considération de l'activité physique comme composante essentielle de la santé n'apparaît que très récemment.

Plus de 150 actions nationales, régionales et territoriales ont été initiées ou ont poursuivi l'effort déployé par les premiers plans. Le réseau français des villes santé de l'OMS, l'association des éco-maires, les réseaux, tels qu'Efformip en Midi-Pyrénées, fournissent des cadres élargis pour amplifier les actions. Un pôle national Ressources en Sport Santé a été implanté en 2009 à Vichy. Le comité de pilotage du PNNS s'est élargi aux acteurs du monde sportif. La 1^{ère} Journée des Villes actives du PNNS s'est déroulée à Nancy en novembre 2009 et l'État a lui-même consacré l'une de ses journées particulières au développement de l'activité physique, le 25 septembre 2010. En régions, la Moselle se propose comme *département actif* tandis que la Bretagne inscrit son avenir dans un thème de *région active*, voté par son conseil économique et social. Le Val de Marne montre que les partenariats avec les Fédérations affinitaires (FFEPGV) peuvent être renforcés avec les acteurs de la santé tels que la MSA ; d'autres projets ciblent la prévention des chutes (en collaboration avec l'Inserm ou dans les EHPAD) ; en prévention primaire dans les entreprises ; ciblant des publics particuliers (Handicaps, Obésité morbide, Personnes âgées) ou en milieu carcéral, comme en prévention tertiaire (prévention du diabète en Languedoc, Nord Pas-de-Calais, Bretagne ou PACA).

Les villes et territoires participent aussi à l'évaluation de la condition physique de leurs administrés (Hénin-Beaumont, Pau, Chambéry, St Malo, Biarritz). Enfin de nombreux acteurs publics et privés lancent des appels à projet pour la prévention avec des liens avec les réseaux (Villes santé OMS et Villes actives du PNNS, EPODE...) dans le Nord, en Ile de France, Picardie, Champagne, Alsace, Rhône-Alpes, PACA et Poitou-Charentes. La Lorraine s'inscrit dans la Journée mondiale de l'OMS (*Move for Health day* en 2010).

Efficience et Communication

La campagne « manger-bouger » a été diffusée pour la première fois en 2004. Supportée par le ministère de la santé, l'assurance maladie et l'Inpes, elle était basée sur les recommandations de 30 minutes de marche rapide par jour et avait pour objectif de faire prendre conscience de l'enjeu de santé publique que représente l'activité physique et de mettre en évidence son caractère naturel et quotidien pour favoriser le passage à l'acte. Elle était accompagnée d'un kit activité physique en direction des collectivités locales et de documents *Activité physique et santé, arguments scientifiques, pistes pratiques et La santé vient en bougeant, le guide nutrition pour tous* [7], documents de référence à destination des professionnels, en particulier les médecins généralistes. La réalisation et la diffusion de ces guides constituent une des actions piliers du PNNS. L'objectif était de mettre à disposition de la population des documents

pratiques, donnant une information simple, scientifiquement validée et des repères concrets favorables à la santé.

Les travaux étudiant l'effet de l'activité physique dans les populations atteintes de pathologies chroniques comme chez les personnes âgées se sont très largement développés ces dernières années. Ils ont contribué à générer des recommandations spécifiques et consensuelles au plan international. De façon générale, les modèles utilisés dans les interventions sont des modèles socio-écologiques du comportement, qui renvoient aux interactions entre les individus et leur environnement physique et culturel [8]. L'ENNS, en 2006-2007 retrouvait que 63,2 % des 18-74 ans pratiquaient l'équivalent d'au moins 30 min d'activité physique d'intensité modérée quotidienne au moins 5 jours par semaine. Cette étude ne permet cependant pas d'estimer l'évolution de ce comportement. Le Baromètre santé de 2008 montre que moins de la moitié (42,5 %) des Français âgés de 15 à 75 ans pratiquent une activité physique avec un niveau favorable à la santé. Ils étaient 45,7 % en 2005 (51,6 % d'hommes et 33,8 % de femmes) et 65,7 % en 2002 [9, 10]. Cette dégradation continue pose la question de l'efficacité de nos interventions publiques et, tant que nous n'aurons pas compris les raisons profondes de ces changements et des barrières biologiques, psychologiques ou sociales, s'opposant à leur correction, elle incite à la prudence quant à l'efficacité des campagnes futures.

Actualités et perspectives

La mise en place récente de différentes commissions et groupes de travail (mobilité active, signalétique, charte entreprise active du PNNS...) montre la volonté d'élargir le champ de la réflexion et de l'action pour faciliter la mise en mouvement de tous et illustre l'intérêt du gouvernement dans ce domaine de santé publique. Le caractère stratégique de la promotion de l'activité physique au quotidien, par sa prise en compte dans de très nombreux programmes et plans de santé publique (outre le PNNS, les plans Cancer, Bien vieillir, Santé Environnement, Qualité de vie des personnes atteintes de Maladies Chroniques, Santé des jeunes...), est clairement identifié.

Le PNNS a cherché à concilier deux orientations (ciblage personnalisé) par l'information et l'éducation vs options structurelles (transport, urbanisme) ciblant les équipements et le cadre sociétal par le biais législatif ou politique. Il a intégré les différents acteurs dans le domaine de la nutrition : industriels, chercheurs, professionnels de santé. Des indicateurs ont été définis afin d'évaluer l'efficacité des actions dans ces milieux divers et pour chaque groupe d'âge. Mais cibler les acteurs-leviers de la promotion de l'activité physique pour peser sur les décisions et développer les synergies entre eux (famille, école, entreprises, territoires) à l'échelon local et national est désormais nécessaire.

La promotion de l'activité physique sera renforcée dans le PNNS 2011-2015 dans le sens original d'un PNNS, *Plan National Nutrition Mouvement Santé*, suggéré par Stéphane Diagana, nouvel ambassadeur de l'activité physique au sein du PNNS. La mise en place de stratégies et des actions dans ce domaine bénéficiera des travaux initiés afin de :

- favoriser la mobilité active par l'aménagement des espaces publics (plan local d'urbanisme, voiries, plans d'aménagement du territoire...) et les plans de déplacement actif (écoles, universités, entreprises, institutions) ;
- développer l'offre partagée d'activités physiques ou sportives entre éducation nationale, associations, clubs sportifs, collectivités territoriales ;

- élargir l'offre des associations et des clubs vers une pratique d'APS non compétitive et adaptée ;
- améliorer l'attractivité des lieux publics facilitant la dépense (escaliers, réseaux urbains de zones partagées, parcs nationaux ou régionaux...) ;
- intégrer l'activité physique ou sportive en entreprise au titre de la prévention et des démarches de santé au travail.

Un monde où la notion d'équilibre individuel, au travers des apports (alimentation) et des dépenses (mobilité) énergétiques, serait renforcée nous permettrait peut-être de retrouver la cohérence entre environnement, individu et société et de remettre au plaisir du mouvement l'espace de nos vies quotidiennes.

Conflits d'intérêt

J.F. Toussaint : appartient à la fonction publique et intervient comme expert dans différents comités du Ministère chargé de la santé, notamment du PNNS.

H. Nassif est doctorante en 3^{ème} année à l'Université Paris Descartes, Ecole Doctorale 436 Médicament, Toxicologie, Chimie, Environnement ED MTCE et poursuit sa thèse au sein de l'Irme.

A. Sedeaud est doctorant en 1^{ère} année à l'Université Paris Descartes, Ecole Doctorale 456 : Science du Sport, de la Motricité et du mouvement humain et poursuit sa thèse au sein de l'Irme.

J. Schipman est chercheur au sein de l'Irme.

Références

- [1] INSERM. Expertise Inserm. Activité physique. Contextes et effets sur la santé. Paris : Éditions Inserm ; 2008, p. 1-811.
- [2] OMS. Global strategy on diet, physical activity and health. « Myth about physical activity ». <http://www.who.int/diet-physicalactivity>. [Dernier accès : mars 2011].
- [3] Programme National Nutrition Santé (PNNS). <http://www.sante-sports.gouv.fr/dossiers/sante/nutrition-programme-national-nutrition-sante-pnns/nutrition-programme-national-nutrition-santepnns-sommaire.html>
- [4] Plan national de prévention par l'activité physique ou sportive (PNAPS) PNAPS, 2008. <http://www.sante-sports.gouv.fr/publications-documentation>
- [5] Finlay SJ, Faulkner G. Physical activity promotion through the mass media: Inception, production, transmission and consumption. *Prev Med* 2005;40:121-30.
- [6] Simon PA, Fielding JE. Establishing Best Practices for Changing the Built Environment to Promote Physical Activity. *Am J Prev Med* 2009;37:6S2.
- [7] Ministère de la santé et des solidarités. La synthèse du PNNS : « Activité physique et santé : arguments scientifiques, pistes pratiques ». Octobre 2005. <http://www.mangerbouger.fr/pro/spip.php?article97>. [Dernier accès : mars 2011].
- [8] Smith BJ. Promotion of physical activity in primary health care: update of the evidence on interventions. *J Sci Med Sport* 2004;7(Suppl):67-73.
- [9] INPES. Baromètre Santé Nutrition 2008. Décembre 2009. <http://www.inpes.sante.fr/CFESBases/catalogue/pdf/1270.pdf>. [Dernier accès : mars 2011].
- [10] INPES. Baromètre santé 2005. Attitudes et comportements de santé. 2005. http://www.inpes.sante.fr/Barometres/BS2005/pdf/BS2005_Activite_physique.pdf. [Dernier accès : mars 2011].

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 September 2010

Accepted 5 February 2011

Keywords:

Walking

Cycling

Built environment

Risk assessment

Physical activity

Air pollution

ABSTRACT

Background: Substantial policy changes to control obesity, limit chronic disease, and reduce air pollution emissions, including greenhouse gasses, have been recommended. Transportation and planning policies that promote active travel by walking and cycling can contribute to these goals, potentially yielding further co-benefits. Little is known, however, about the interconnections among effects of policies considered, including potential unintended consequences.

Objectives and methods: We review available literature regarding health impacts from policies that encourage active travel in the context of developing health impact assessment (HIA) models to help decision-makers propose better solutions for healthy environments. We identify important components of HIA models of modal shifts in active travel in response to transport policies and interventions.

Results and discussion: Policies that increase active travel are likely to generate large individual health benefits through increases in physical activity for active travelers. Smaller, but population-wide benefits could accrue through reductions in air and noise pollution. Depending on conditions of policy implementations, risk tradeoffs are possible for some individuals who shift to active travel and consequently increase inhalation of air pollutants and exposure to traffic injuries. Well-designed policies may enhance health benefits through indirect outcomes such as improved social capital and diet, but these synergies are not sufficiently well understood to allow quantification at this time.

Conclusion: Evaluating impacts of active travel policies is highly complex; however, many associations can be quantified. Identifying health-maximizing policies and conditions requires integrated HIAs.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Contents

1. Introduction	767
2. Conceptualization of transport policy impacts on health	768
3. Active travel policies and behaviors	769
3.1. Active transportation policies and interventions	769
3.2. Built environment determinants of travel behavior	770
3.3. Other behaviors related to active travel policies	770
4. Environmental quality	771
4.1. Traffic emissions	771
4.2. Exposures to environmental hazards	771
4.2.1. General population exposures	771
4.2.2. In-travel exposures	771
5. Health impacts of active travel policies	772
5.1. Health benefits of PA and active commuting	772
5.2. Health impacts of exposures	772
5.2.1. Air pollution—population wide impacts	772
5.2.2. Air pollution—impacts on commuters	773
5.2.3. Noise, UV, and heat	773
5.3. Traffic injuries	773
5.4. Other health impacts of active travel policies	773
6. Discussion	774
7. Conclusion	775
Acknowledgments	775
Appendix A. Supplementary data	775
References	775

1. Introduction

The past decade has seen an enthusiasm for planning cities for health, which had mostly been forgotten since the urban sanitarian movement in the mid-nineteenth century (Corburn, 2007). Triggers for this renewed interest include concerns about obesity, physical inactivity, pollution, climate change, and road traffic injuries. Physical inactivity is one of the most important health challenges of the 21st century because of its influence on the most deadly chronic diseases, contributing worldwide to 21.5% of ischemic heart disease, 11% of ischemic stroke, 14% of diabetes, 16% of colon cancer and 10% of breast cancer (Bull et al., 2004). The World Health Organization (WHO) recently estimated overweight and obesity to be responsible for 2.8 million deaths annually; physical inactivity is (separately) responsible for an additional 3.2 million deaths (WHO, 2009). The apparent limitations of classic individual-based physical activity (PA) and dietary

interventions have raised the interest of health professionals in community-level solutions that encourage healthy behaviors in daily routines (Lavizzo-Mourey and McGinnis, 2003).

Disease and mortality associated with vehicle emissions also represent a substantial challenge in public health. Urban air pollution currently accounts for instance for ~3% of mortality from cardiopulmonary disease, and 1% of mortality from acute respiratory infections in children under 5 years, worldwide (Cohen et al., 2005). These figures may worsen as the proportion of the population living in cities continues to rise (currently 50%, projected to reach 70% in 2050) (U.N., 2010). Vehicle emissions also contribute to climate change, recognized as a widespread threat to human health (Haines et al., 2009). The share of transport activities in GHG emissions (23% worldwide) continues to grow at a faster rate than any other end-use sector and the reduction of on-road emissions has been identified as the most effective strategy to reduce radiative forcing (Unger et al.,

2010). The magnitude of reductions in emissions required to slow the buildup of greenhouse gases (GHG) is such that multiple solutions are needed, including changes in travel behavior (Boies et al., 2009). Another health impact of vehicle usage is traffic injuries, which is the second leading cause of death for people age 5–29 (WHO, 2004b). The rapid increase of auto sales and use is thus likely to have important impacts on public health (HEI, 2010).

International groups including the World Health Organization (WHO), the United Nations (UN), and the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) have recommended policy changes to combat physical inactivity, pollution, climate change, and traffic injuries (IPCC, 2007; U.N., 2010; WHO, 2004a). Transportation and planning policies promoting walking and cycling as alternatives to using private motor vehicles can contribute to these goals, with the potential for gaining further co-benefits such as congestion mitigation. At the same time, concerns have been raised about the potential to increase the risks of injuries and exposure to air pollution for pedestrians and cyclists (de Hartog et al., 2010; de Nazelle et al., 2009; WHO, 2006; Woodcock et al., 2009). Changes in how we design and build cities are important, but little is known about the interconnections among the changes and policies being considered. Fortunately, awareness of this topic is increasing (Dannenberg et al., 2006).

Major connections among transportation policies, planning, and health are summarized in Fig. 1, and reviewed in the next sections. Further important indirect health and other co-benefits of policies that encourage active travel are not specifically addressed here but have been reviewed elsewhere. These include improved mobility (in particular, access to healthcare services), curtailed social inequalities, and reduced congestion and road and parking costs (Litman, 2008). Generally, congestion and vehicle emissions are the primary indicators considered in evaluations of planning and transportation decisions.

Additional evidence, tools and methods are needed to evaluate transportation policies and the full range of their health impacts. In this context we review current knowledge of how health is affected by active travel and associated policies or contextual factors. Our purpose is to develop a framework for conducting integrated health impact assessments (HIA, Briggs, 2008; Dannenberg et al., 2006) useful for decision makers to develop optimal policies for health-promoting environments. We identify important components of an HIA, assess the existence and applicability of exposure–response functions (ERFs) and environmental models available to quantify relationships linking active travel-related policies to environmental indicators and to health impacts, and discuss how various exposures and outcomes interact with each other. This article is not a systematic review but rather an evaluation of the pertinence and possibility of quantifying potentially relevant impacts. Our goal is to make a case for formally conducting such assessment to better inform policy decisions for healthier urban environments.

We first propose a conceptual framework to assess health effects of policies that promote active travel. The framework guides our literature review of the most relevant fields of behavior, environmental quality and health. We cover relationships for which the research is most extensive and the evidence strongest as well as the quantitatively less well-established links between active travel policies and health or health determinants. We limit our discussion to adults as they are the decision-makers for most travel choices, even though children are also affected in important ways by active travel policies (or lack thereof) (Marshall et al., 2010; Wilson et al., 2010).

2. Conceptualization of transport policy impacts on health

The empirical evidence linking characteristics of city and regional land use and transport planning directly with health outcomes has

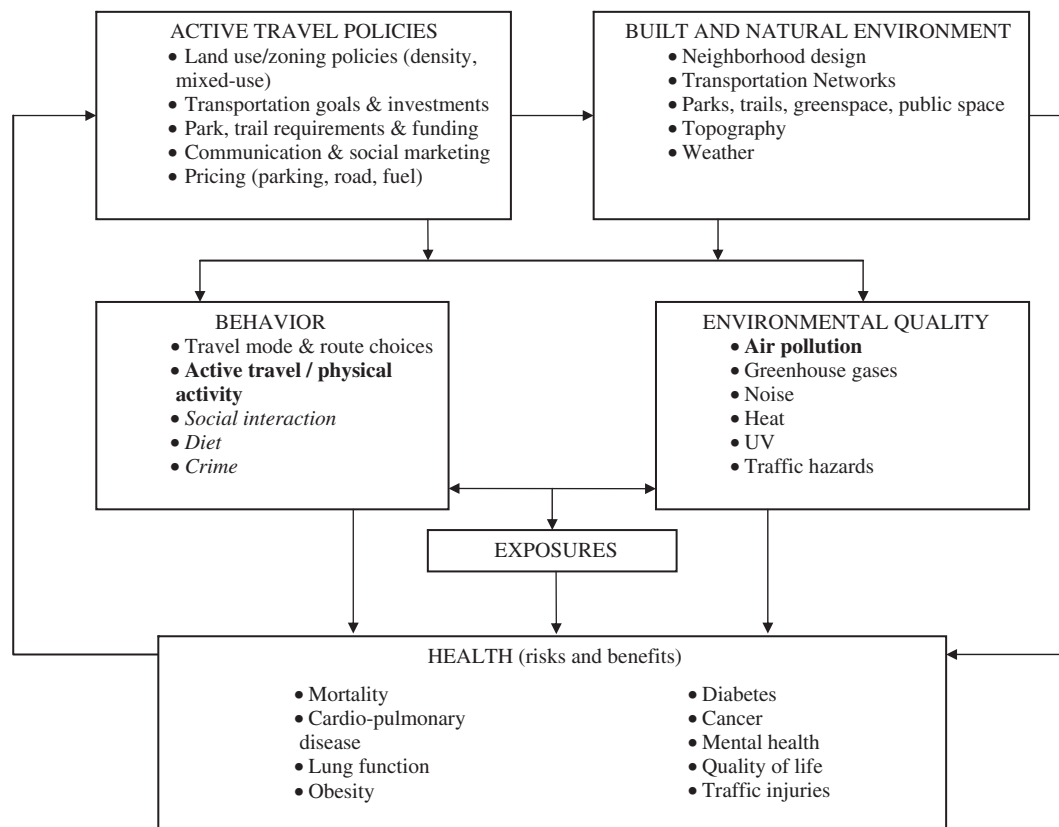


Fig. 1. Conceptual model of health impacts of active travel policies. In **bold** are shown behavioral and environmental quality variables recognized as having strongest exposure–health quantifications available, while variables in *italics* are the most uncertain to quantify.

mostly emerged in the past ten years. Pioneering studies showed that people living in areas of urban sprawl (dispersed low-density single use land patterns) were more likely to be overweight or obese (Ewing et al., 2003b; Lopez, 2004), suffer more from hypertension and other chronic diseases (Ewing et al., 2003b), and experience greater traffic fatalities, especially as pedestrians (Ewing et al., 2003a). Conversely, living in a more “walkable” neighborhood (with sidewalks, bike paths, parks, higher density, and stores within walking distance) was associated with a healthier weight status and better mental health (Frank et al., 2004; Giles-Corti et al., 2003; Sallis et al., 2009b). The connection between place and health in these studies was most often hypothesized to be linked to PA behavior.

A few recent HIAs have attempted to quantify various ways in which travel policies might affect health. Woodcock et al. (2009) and de Hartog et al. (2010) estimated health implications of hypothetical scenarios of mode shifts to walking or cycling in terms of benefits of PA and of reductions in air pollution exposure for the general population, and in terms of risks associated with increased traffic injuries. The latter study incorporated risks associated with increased air pollution inhalation while cycling; the former estimated greenhouse gas emission reductions. Both studies concluded that mode shifts towards active travel would generate public health benefits, mostly owing to increases in PA levels (and subsequent declines in diseases linked strongly to PA). Their findings suggest that PA benefits largely outweighed the additional risks due to road traffic crashes and increased pollution inhalation while cycling. An earlier WHO-sponsored project, HEARTS (WHO, 2006), attempted to link parts of the chain of effects from transportation policies to shifts in traffic, emissions, road crashes, exposures to air pollution and noise and their health outcomes, but not in a single full model. More recently the WHO proposed a unified approach to develop inclusive economic analyses of the health effects related to transport policies (WHO, 2009) and a toolbox (Transport, Health and Environment Pan-European Programme—THE PEP) describing case-studies that have been shown to be successful in addressing components of linkages between active travel policies and traffic injuries, noise, and climate change (WHO-UNECE, 2009). The toolbox can serve as a useful starting-point for policy evaluation; it provides quantifications of some specific case studies outcomes, but without an integrated assessment model.

These published studies provide indications of how transport policies may achieve their most substantial benefits from outcomes, such as PA, which are often not considered in urban planning. The studies stress opportunities for co-benefits of active travel policies, as compared to technological solutions to reduce emissions (cleaner vehicles) alone, and argue for integrating such considerations in the development of climate change mitigation policies. None of these previous efforts have provided a comprehensive assessment of active travel policies that integrate into one framework impacts of active travel policies in terms of (i) how the policies achieve behavior changes, (ii) other potential benefits (e.g. social capital), and (iii) optimal designs for positive net health benefits. Only the recently published de Hartog et al. (2010) study included unintended risks of active travelers' air pollution inhalation.

We propose a framework for assessing impacts of policies for promoting active travel that is broader in scope than previous efforts. While the framework would be applicable in the larger context of transportation and urban planning policies, we frame the discussion more narrowly around outcomes and conditions most relevant to walking and cycling. The conceptual model depicting putative pathways from active transportation-related policies to health, shown in Fig. 1, guides the ensuing review of the state-of-the art in research in the relevant fields. Our review is focused on policies that may directly or indirectly affect behaviors, which in turn, impact environmental quality and exposures. We distinguish between exposures in the general population, versus to the active travelers;

the latter may modify his exposures via behavioral change. We then review how behaviors and exposures have corresponding positive and negative health implications, some with competing benefits and adverse impacts on the same outcome.

3. Active travel policies and behaviors

3.1. Active transportation policies and interventions

A growing body of literature suggests likely positive impacts of travel policies and interventions to increase walking and cycling (Pucher et al., 2010). The little research providing direct evidence based on rigorous longitudinal assessment designs shows moderate, albeit consistent, effectiveness of such interventions in changing behaviors (Ogilvie et al., 2007; Yang et al., 2010). Bundles of strategies are often implemented together, ranging from promotional campaigns to changes in the physical infrastructure (e.g. sidewalk improvement and bike lanes), making it difficult to isolate specific elements that may change travel behaviors but also suggesting that multi-pronged strategies are most effective at creating change. Specifically, comprehensive multi-level interventions, including infrastructure improvements (walking and cycling-friendly environments) combined with promotional campaigns (such as through schools and workplaces) may have greatest potential (Ogilvie et al., 2004; Pucher et al., 2010; WHO-UNECE, 2009). THE PEP case-study reviews (WHO-UNECE, 2009) stress the importance of vehicle speed reduction and investments in infrastructure focused on safety, as well as disincentives to car use such as high parking fees. Based on systematic reviews, the UK's National Institute of Health and Clinical Excellence (NICE, 2008) adds recommendations to counter urban sprawl, invest in urban renewal, and centralize location of firms to discourage the use of the private car and to promote the use of public transport.

Walking and cycling rates are higher in cities and countries where policies are put in place to encourage such behaviors (Pucher et al., 2010; VTPI, 2010). For example the presence of sidewalks, traffic volume, and safe crosswalks all are important determinants of the amount of walking and cycling in areas otherwise similar in wealth and geography (Jacobsen et al., 2009). In the Netherlands and Denmark, countries known for their commitment to active transportation, cycling reaches up to a third of the mode share in cities—in sharp contrast to the US and southern-European countries where cycling represents only 1–2% of trips (Pucher and Buehler, 2008). Walking exhibits similar contrasts across countries (Pucher and Dijkstra, 2003).

Some policies or interventions that promote active travel do not necessarily target walking and cycling per se, but instead have an indirect effect by discouraging auto travel and thereby promoting alternatives. Examples include road and parking pricing, or improving public transport which necessarily has an “active” component. London for example has seen a doubling of levels of cycling following the introduction of a congestion charge, but also significant investment in cycling infrastructure. Bike share of trips more than doubled in cities such as Berlin, Paris, Barcelona and Bogotá following comprehensive promotion programs including constructing bicycle facilities and bike sharing systems (Pucher et al., 2010). It is unclear which of the components contribute most among improvement in safety, access to bicycles, efforts to reduce traffic, and recognition of benefits of active travel (from promotional strategies). Importantly, cultural shift may occur when cycling and walking increase to a certain “critical mass”, signaling to others that these are safe and enjoyable and perhaps even fashionable activities (Gatersleben and Appleton, 2007). Moreover, a significant increase in pedestrians or cyclists may lead to more demands for active travel policies, greater political influence of cyclists and pedestrians in shaping local transport policies, and more restrictions to the use of automobiles (Pucher et al., 2010). Quantifying

effects of comprehensive policies becomes a challenge not only because of the lack of clarity of effectiveness of each component and their combined effect, but also because of the potential non-linear effect from changing social norms.

3.2. Built environment determinants of travel behavior

Health practitioners and transport planners are increasingly turning towards environmental solutions to promote PA and non-motorized transportation. These strategies can benefit all community members in contrast to targeted behavior change programs that only address one person or household at a time (Ogilvie et al., 2004). We review in this section research that has specifically assessed influences of the built environment on walking and cycling. We treat the two modes separately when possible, as they do not necessarily share the same determinants.

Recent research on determinants of walking and cycling for utilitarian or recreational purposes has focused on influences of the built environment (Heath et al., 2006; Saelens and Handy, 2008; Saelens et al., 2003). Land use measures of density and mix are probably the most examined built environment characteristic in relation to transportation behavior. Measures of residential or employment density are consistently associated with higher public transport use, higher walking, and lower driving (Ewing and Cervero, 2010; Marshall, 2008). However, many built environment attributes are strongly associated with higher densities making it difficult to isolate their effects. Still, after controlling for other land use and socio-demographic variables, US studies have found that doubling residential density might reduce VMT by 5 to 12% and potentially as much as 25% (NRC, 2009). Increasing density also increases the exposure potential (intake fraction) of emissions; as a result, increasing density might decrease VMT and emissions yet increase air pollution exposures, because people are in proximity to the (now-reduced) emissions (Marshall et al., 2005).

As with density, land use mix has been consistently associated with additional walking and transit use, and less distance driven. Having retail destinations, bus stops, offices, and similar land uses within walking distance from one's home is associated with a higher probability of walking and using transit (Ewing and Cervero, 2010). Table-S1 in the Online Supplementary Material (OSM), which is based on a literature review by Ewing and Cervero (2010), summarizes associations between transportation choices and their determinants.

Another important aspect of the built environment is transportation infrastructure. More and better-quality sidewalks are associated with adults having a higher likelihood of walking, using transit, and driving less (Table-S1). High street connectivity (measured by, e.g., intersection density or by the percentage of street crossings within an area that are four-way) shortens walking distances and provides multiple paths to reach destinations. Connectivity has been associated positively with higher transit use, and with higher walking and lower driving rates. There is a significant variation in the elasticity estimates calculated, as evidenced by the standard deviations, suggesting that these point estimates should be used with caution. Other factors that have been associated with walking and cycling, albeit less consistently, include the traffic environment, esthetics, safety, and pedestrian amenities (Lin and Moudon, 2010).

For cycling, concerns about traffic and lack of adequate and safe infrastructure are a major impediment to its use. Although the evidence is limited to a few studies, some cyclists appear willing to go out of their way and will ride larger distances to cycle on safe infrastructure (Dill, 2009; Parkin et al., 2007; Tilahun et al., 2007). In a study of US cities, a one percent increase in the length of on-street bicycle lanes was associated with a 0.31% increase in bicycle commuters (Dill and Carr, 2003). Other barriers to cycling include fear of crime/vandalism, bad weather, social pressure, hills, multiple stops along a

route and long trip distances (Gatersleben and Appleton, 2007; Rietveld and Daniel, 2004).

Because different components of the built environment co-occur, comparing overall neighborhood patterns may provide better estimates of the built environment contributions to behavioral and health outcomes. Studies have shown associations between active travel and neighborhood scores of “walkability” or classifications indicating “pedestrian-friendly-” versus “auto-oriented-” designs. A systematic review of the literature found sufficient evidence for implementing both street-scale and community-wide urban designs that are pedestrian-friendly as effective means of increasing walking and cycling (Heath et al., 2006). Two recent studies using objective measures of walkability and total PA found that residents of walkable neighborhoods spent 35–49 more minutes per week of PA than those in low- walkable areas (Sallis et al., 2009b; Van Dyck et al., 2010). In contrast, a study in Minneapolis found that neighborhood type impacted the purpose of PA (for travel, versus for recreation or at a gym) but not the total amount of PA (Forsyth et al., 2008).

Much of the research on built environment determinants of walking and cycling has been conducted in the US, but results have been confirmed internationally. For example, a study of 11 countries, including multiple European nations, found that when adults reported having nearby shops, public transit, sidewalks, bicycle facilities, and recreational facilities, they were 20–50% more likely to meet PA guidelines than if they lacked these amenities. Those with all the favorable attributes were twice as likely to be active as those with no favorable attributes (Sallis et al., 2009a). For developing-country contexts, the literature lacks robust evaluation of these and most other issues considered in this paper.

What is often not clear in most studies of active travel behavior, due to the lack of longitudinal data, is an understanding of the characteristics of the individuals who change their behavior and sustain it, following policy interventions. For example, there is limited evidence from population-level studies of interventions to promote walking and cycling to suggest that sedentary people are encouraged to change behavior, while a few studies of cycling promotion interventions have reported data suggesting that existing cyclists making more trips may account for much of the observed overall increase in cycling (Ogilvie et al., 2004). Furthermore, most studies are cross-sectional; they are therefore unable to identify causation.

3.3. Other behaviors related to active travel policies

Social interactions, crime, and dietary habits are not typically included as outcomes or inputs in HIAs. Although research in these fields is broad, there are not well-established ERFs. Next, we briefly discuss these behaviors, but without deriving quantitative relationships.

One of the benefits of pedestrian-oriented urban planning such as mixing land uses, increasing density and providing walking, cycling and transit facilities, is to offer neighborhood amenities that bring life to the streets by increasing pedestrian traffic and providing spaces for spontaneous social interactions (Appleyard, 1981; Jacobs, 1961). Having places to walk to, public spaces, mixed land-uses, and residential density improve social capital such as knowing neighbors, trusting others, and being socially engaged (Leyden, 2003; Skjaeveland and Gärling, 2002). Further, architectural designs that provide “eyes on the street” (Jacobs, 1961) as a form of natural surveillance and natural space for social contact are shown to deter crime and reduce fear of crime (Mair and Mair, 2003), and promote physical functioning of elders (Brown et al., 2008). On the other hand, time spent driving is a strong negative predictors of social capital (Besser et al., 2008; Putnam, 2000).

Healthy eating habits may also result from active-travel-friendly environments in two ways. First, good land-use mix may provide access to retailers offering healthy foods (Sallis and Glanz, 2009; Smiley et al., 2010). Studies on such links, however, have largely been conducted in suburban US and Australia and may not universally

apply. Second, diet and PA are linked: observational studies document that healthier diets and adequate PA tend to cluster (Tormo et al., 2003).

4. Environmental quality

Large-scale travel mode conversions from conventional-vehicle trips to active travel will reduce vehicle emissions, greenhouse gases, noise, and perhaps urban heat island effects. We first review traffic emissions and environmental quality, and in Section 4.2 discuss implications for exposures in the population. Health impacts are covered in Section 5.

4.1. Traffic emissions

A variety of modeling tools exist to predict changes in vehicle emissions and air pollution concentrations; however real-world examples are scant. Reductions in traffic due to active travel policies may occur from mode shifts to non-motorized travel for short trips, but also from policies that bring destinations closer to each other (higher density and mixed use) so that trips are shortened (hence lower emissions per vehicle trip) and non-motorized transport becomes more viable (hence some vehicle trips are foregone) (Frank et al., 2006). In addition, policies and planning decisions that increase walking and cycling can also reduce household vehicle ownership rates and vehicle speeds, and improve public transit travel, meaning that non-motorized travel may potentially have a leverage effect. Nevertheless, improvements in walkability through traffic calming can partly offset reductions in car use because of increased stop-and-go traffic and neighborhood congestion that increase emissions per trip (Ericsson, 2000). As an example, more walkable neighborhoods were recently shown in Vancouver to experience higher air pollution concentrations than less walkable neighborhoods for traffic-related primary pollutants (but not for ozone, a secondary pollutant) (Marshall et al., 2009). As mentioned above, urban form changes that reduce emissions may or may not reduce exposures, depending on shifts in proximity between emissions and people (Marshall et al., 2005).

The most formal and detailed approach to predict changes in ambient pollution concentrations due to traffic reduction involves linking a suite of traffic assignment, emissions, and dispersion models. One challenge is that non-linear effects such as vehicle operating conditions, chemical reactions, and pollutant dispersions make predictions of changes in emissions and concentration a complex and uncertain task. Connecting these various models can be complicated as they are generally developed independently and not necessarily linked, and depend on input availability (WHO, 2006).

Common vehicle emissions models include COPERT (widely used in Europe) and MOBILE6 (more common in the US) (Holmes and Morawska, 2006; Vardoulakis et al., 2003). We provide examples of emissions reductions scenarios in OSM Table-S2. A US analysis shows that if mode shifts were to occur solely from already short trips, the reductions in emissions would be modest (e.g. a mode conversion of 13% of short auto trips leads to 2% or less reduction in total CO, CO₂, VOC and NO_x emissions from private vehicles), despite the greater contribution of the high cold start emissions per mile in short trips (de Nazelle et al., 2010). In a European example, a 30% VMT reduction from passenger cars and two-wheelers is estimated to decrease emissions from the urban vehicle fleet by 12% for NO_x to 26% for VOCs (Table-S2).

Real world interventions highlight the difficulty in attaining and demonstrating air quality improvements. For example, a study on the London Congestion Charge presents equivocal results, and with contrasting beneficial and adverse air quality impacts for different pollutants in different neighborhoods (Atkinson et al., 2009). The congestion charge trial scheme in Stockholm resulted in a 15% drop in VMT leading to emissions reductions of 8.5% for NO_x, 13% for PM₁₀ and

CO₂, and 14% for CO in the inner city (1 to 3% emissions reductions in greater Stockholm). A dispersion model found changes in NO_x concentrations to be commensurate to changes in traffic in modeled streets, but NO₂ and PM₁₀ reductions were smaller (e.g., on one street, an 8% traffic reduction led to 3% and 5% reductions in NO₂ and PM₁₀ respectively) (Johansson et al., 2009). Temporary reductions in traffic during specific events, such as Olympic Games (Friedman et al., 2001; Wang and Xie, 2009) and military conflict (Yuval et al., 2008), have been shown to improve air quality significantly; however the special conditions under which these occur may not be relevant for long-term policy interventions.

Fewer models and studies exist for assessing traffic impacts on noise and heat than for air pollution. Automobile traffic is one of the main sources of urban noise, along with rail and air transports. Databases are becoming more available as the EU has recently required large conurbations to develop noise maps, using models such as the NMPB-routes-96 (EC, 2002). In the US, an urban noise map showed increased noise with higher traffic (Seto et al., 2007). Studies have reported varying correlations (0.2–0.8) between noise and traffic-related contaminants NO₂ and NO_x (Davies et al., 2009). Traffic contributes to climate change via GHG emissions but in a more immediate relationship, transportation infrastructure and land use patterns contribute to urban heat islands. Sprawled (auto-oriented) development leads to loss of open space surrounding cities and to greater impervious surfaces, which increase urban temperatures (Frumkin, 2002; Stone, 2009; Xiao et al., 2007).

4.2. Exposures to environmental hazards

Active travel policies that result in reductions in VMT may reduce ambient air pollution and noise emissions, which may reduce pollution exposures. For some individuals, time commuting is a significant contributor to daily non-occupational exposure to traffic-related air pollution (Fruin et al., 2008; WHO, 2006). Individuals who shift to active travel may change their exposures because of changes in times spent in proximity to vehicles and increased inhalation rates. We thus need to distinguish exposures of the general population from travelers' exposures.

4.2.1. General population exposures

Travel policies are likely to affect exposures in different neighborhoods differentially (Atkinson et al., 2009), reducing concentrations where traffic is reduced and potentially increasing concentrations where traffic is displaced. For example, converting traffic lanes into bike lanes and larger sidewalks could substantially reduce air and noise pollution in these streets, especially in canyon streets where vehicle exhaust gets trapped (Vardoulakis et al., 2003). These changes would affect long-term exposures for people living in or nearby the traffic streets. Policies that lead to net traffic reductions rather than route changes are thus more likely to reduce population exposures to air and noise pollution—if they do not simultaneously increase congestion.

4.2.2. In-travel exposures

Traffic-related air pollution exposures tend to be higher during travel than in most non-occupational microenvironments, because of proximity to other vehicles. One exception is ozone, which typically exhibits higher concentrations at further distances from heavy traffic (McConnell et al., 2006). Exposure differences can vary considerably by travel mode (see examples in OSM Table-S3), as well as by local traffic and meteorological conditions (Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009). Car and bus travel appear to lead to the highest exposures to vehicle emissions, particularly to gasoline-powered vehicle emissions such as CO and VOCs. For PM exposures, cars may have some exposure reduction advantage if windows are closed, while subways and busses appear worse on average (but not always) compared to other modes of travel (Nieuwenhuijsen et al., 2007).

Due to their greater distance (on average) from direct vehicle emissions, walking and cycling often show lower exposures to CO, VOCs or PM than other travel modes, although still elevated compared to ambient levels (Briggs et al., 2008; Kaur et al., 2007). Steep pollution gradients exist on and near roadways (HEI, 2010), so small changes in position relative to vehicles and/or the center of the road, as well as choice of high- or low-traffic routes, can have large effects on exposure (Adams et al., 2001b; Kaur et al., 2005; McNabola et al., 2008). Cyclists and pedestrians often have the advantage of choosing their routes, using detours or parallel paths to take quieter low-traffic streets to minimize their exposures (Adams et al., 2001a; Hertel et al., 2008).

Importantly, though, walking and cycling may lose some of their exposure advantage when increased inhalation and possibly longer duration of travel are taken into account, as several recent studies have shown (Int Panis et al., 2010; McNabola et al., 2008; Zuurbier et al., 2010) (see also illustration in OSM Table-S3). For example, McNabola et al. (2008) estimated that while PM_{2.5} concentration measurements alone were highest for bus travel, followed by car travel, cycling and walking, the highest inhaled dose of PM_{2.5} was seen in cyclists. Zuurbier et al. (2010) found similar patterns with cyclists inhaling 10 to 200% higher doses of PM₁₀, soot, PM_{2.5} or ultrafine particles (UFP) than bus or car occupants, while buses or cars experienced the highest concentrations.

Noise, UV radiation and heat exposures may also be higher during travel than in other non-occupational settings, but there is limited evidence of this aspect. The few studies on travel mode noise exposures have found at times high noise levels especially in some subway systems (Neitzel et al., 2009). They have also found comparable noise exposures for pedestrian and car travel, and higher exposures for motorcycles (Boogaard et al., 2009; Dias and Pedrero, 2006). Active travel may increase exposures to heat (due to physical exertion) and UV, depending on modifying factors such as the presence of tree canopies and cloud cover, although we found no studies considering such relationships. Glass panes in car and bus travel filter out most of UVB, but not necessarily UVA (Tuchinda et al., 2006). UVB is required for vitamin D production; UVA is not. Optimal health-enhancing policies may incorporate walking or cycling corridors with tree shading which reduce microenvironmental temperatures (Reid et al., 2009). Such designs may lower heat vulnerability for the greater population of urban areas as well as for the travelers.

5. Health impacts of active travel policies

5.1. Health benefits of PA and active commuting

A substantial body of research has provided compelling evidence of associations between regular PA and various health outcomes in adults. Health agencies generally recommend 30 min or more of moderate-intensity PA on most days of the week for good health (Haskell et al., 2007; US DHHS, 2008). These recommendations correspond to weekly energy expenditures of ~8 MET-hr, or 750 kcal, over basal levels, and are associated with ~30% reductions in all-cause mortality, cardiovascular disease and type 2 diabetes (Haskell et al., 2009). Daily PA goals can be met cumulatively over separate sessions of 10-minute bouts of activity rather than at one time. More vigorous or longer duration of activity may incur greater benefits; however, the largest benefit comes simply from avoiding inactivity. Some studies indicate a curvilinear dose-response relationship in preventing chronic disease or reducing all-cause mortality, meaning increase in benefits becomes less and less for any given increase in the amount of PA (US DHHS, 2008). For conditions such as colon cancer, type 2 diabetes, depression, osteoporosis, hypertension, and weight status the shape of the dose-response relationship remains particularly

unclear and may vary depending on the outcome and the population being evaluated (Haskell et al., 2007; Rankinen and Bouchard, 2002).

Most studies do not differentiate on the type of PA but rather just consider effects of different metabolic equivalent (MET) intensity levels. Few studies have investigated the specific health impacts of active travel. An important limitation of some studies is the lack of control for other forms of activity, which is needed to assess the independent effect of walking or cycling. Comparing different forms of activity, Matthews et al. (2007) found that leisure-time exercise and cycling for transportation were both inversely and independently associated with all-cause mortality (25% to 35% reduction in risk for activities above 3.5 MET-hours/day compared to none). The first large scale prospective study found that bike commuting in Copenhagen could reduce the risk of premature mortality by approximately one third (Andersen et al., 2000). In a meta-analysis of active commuting (walking and cycling), Hamer and Chida (2008a) found an 11% decrease in cardiovascular risk associated with the behavior in adults (in fully adjusted models including for other forms of activity, but with a crude binary measure of active commuting). In another meta-analysis, Hamer and Chida (2008b) found that walking was strongly associated with cardiovascular risk reductions, with similar impacts on all cause mortality and indications of a dose-response relationship. The authors observed that pace (intensity) was more important than volume (duration) for reducing risk. Zheng et al.'s (2009) meta-analysis found a 19% reduction in coronary heart disease risk for a weekly increment of 8 MET-hr by walking. Other studies have found favorable associations of active commuting with type 2 diabetes, obesity, cancer, and levels of metabolic risk factors for CVD, and fitness (Gordon-Larsen et al., 2009a; Gordon-Larsen et al., 2009b; Hu et al., 2003). The evidence for morbidity impacts of walking and cycling is weaker than for mortality. A review by Woodcock et al. (2009) surveyed the literature on moderate-intensity PA as a surrogate for active commuting. They conclude that the evidence was robust for diabetes, cardiovascular disease, breast cancer, colon cancer and dementia. (OSM Table-S4 summarizes risk estimates obtained from systematic reviews.)

5.2. Health impacts of exposures

5.2.1. Air pollution—population wide impacts

While air pollution reductions attributable to active travel policies may be small, health-risk benefits could be widespread (impacting all individuals in an urban area). Traffic-related air pollution has been shown to contribute to morbidity and mortality through a variety of mechanisms linked to respiratory, cardiovascular, reproductive, and neuro-developmental effects (HEI, 2010). A review by the Health Effects Institute (HEI, 2010) found the evidence “suggestive but not sufficient” for a causative role of traffic-related air pollution on mortality (especially cardiovascular mortality), cardiovascular morbidity, onset of childhood asthma, and exacerbation of respiratory symptoms in adults. For other outcomes in adults, including asthma onset, chronic obstructive pulmonary disorder, cancer, and birth outcomes, associations were generally consistent yet insufficient to establish a causal role for traffic exposure. Only exacerbation of symptoms in asthmatic children was found to meet the criteria for a causal relationship with traffic-related air pollution. Other reports have concluded more definitive causal relationships between ambient air pollution and mortality and morbidity outcomes, but they have not examined the specific role of traffic pollution (e.g. Brook et al., 2010; Chen et al., 2008).

HIAs typically apply ERFs derived from long-term air pollution exposure studies to estimate effects from changes in ambient air quality. OSM Table-S5 provides example ERFs from systematic reviews of long-term studies or large single studies on all-cause mortality and exposures to PM_{2.5}, PM₁₀, UFP, and NO_x. Other endpoints often considered include cardio-pulmonary mortality and

morbidity, lung cancer, and lung function. For example, the US EPA in its current risk assessment for the revision of the PM_{2.5} standard chose to use risk estimates from an extended analysis of the American Cancer Society Study (Krewski et al., 2009), including long-term exposure mortality hazard ratios associated with 10 $\mu\text{g m}^{-3}$ increments in PM_{2.5} for all causes (HR = 1.06; 95% CI, 1.04–1.08), ischemic heart disease (HR = 1.24; 95% CI, 1.19–1.30), cardiopulmonary disease (HR = 1.14, 95% CI, 1.11–1.17), and lung cancer (HR = 1.14, 95% CI, 1.06–1.22).

While health-effects relationships associated with NO₂ may be less robustly quantified than for PM_{2.5}, NO₂ is important to study as it may reflect better the spatial distribution of traffic-related pollution. For instance, a fine scale exposure assessment within the city of Toronto led to estimates of 17% and a 40% increase in all-cause mortality and circulatory mortality respectively for a 4 ppb contrast (interquartile range) in NO₂ (Jerrett et al., 2009b). Ozone may also be of interest, given documented effects on mortality, independent of PM (Jerrett et al., 2009a), and specific concerns of effects of exposures while exercising on respiratory diseases (McConnell et al., 2002). High ozone exposures generally occur away from high traffic sources and city centers (Marshall et al., 2006). Evidence is emerging for exposure-health relationships for UFP (Hoek et al., 2009) and black carbon (Smith et al., 2009) effects on mortality, which are good markers of traffic-related exposures, particularly diesel. It is sometimes difficult to determine which specific contaminants to use in an HIA, as many pollutants are markers of pollutant mixtures from specific sources; as such, the pollutant itself may or may not have independent impacts on health (HEI, 2010).

5.2.2. Air pollution—impacts on commuters

Few studies have evaluated health effects from the short-term exposures to high air pollution levels during commuting. Studies have found lung function decrements and inflammation (2-hour walks in London, asthmatics, McCreanor et al., 2007), nonfatal myocardial infarction (Augsburg, all modes of transport, Peters et al., 2004), physiological changes in heart function (8-hour work shifts of US troopers, Riediker et al., 2004), lung function decrements and airway inflammation, (1-hour cycling, healthy volunteers, Strak et al., 2009), and DNA base damage (90-minute cycling, healthy volunteers, Vinzents et al., 2005). The studies of real world exposures, however, currently provide an incomplete basis for deriving ERFs for use in HIAs, because of the limited evidence base, different study designs and inconsistent results.

5.2.3. Noise, UV, and heat

Exposures to road traffic and aircraft noise have been associated with annoyance, sleep disturbance and myocardial infarction in long-term exposure studies (Kempen van and Houthuijs, 2008; Miedema and Oudshoorn, 2001; Miedema and Vos, 2007). OSM Table-S6 provides suggested ERFs. An issue for the road traffic studies is how much of the effects can be attributed to noise or air pollution. Currently, no exposure-health relationships can be derived specifically from travel-time exposure studies. If noise deters walking and cycling, then the impact on physical activity may reflect an indirect effect of noise on health (van Lenthe et al., 2005).

Both UVA and UVB can cause adverse health effects. UV exposure increases the risk of three common types of skin cancer (Armstrong and Kricker, 2001; Reichrath, 2009). UVB is needed to produce endogenous vitamin D. Breast and prostate cancer, autoimmune diseases and hypertension are associated with Vitamin D deficiency. The optimum sunlight exposure has been debated and there appears to be a turning point in the ERF beyond which risks outweigh benefits of UV exposure; however, the exact level is unclear and depends on personal characteristics (Mead, 2008). Currently there is not quantitative evidence on whether the net health effect from UV exposure during increased walking and cycling would be beneficial or detrimental.

Elevated temperatures affect mortality in urban areas throughout the world, although temperature thresholds vary by location. Basu (2009) in a recent review found direct comparisons across studies difficult, but reported for example that a 1 °C increase above threshold in Mediterranean cities was associated with 3% increase in daily mortality; effects were similar in the US and stronger in Korea (Basu, 2009; Kovats and Hajat, 2008). Heat island effects may impede night-time cooling and thus may enhance heat-related adverse outcomes in urban environments (Kovats and Hajat, 2008). Heat may act synergistically with ozone and particulate matter to worsen health (Basu, 2009).

5.3. Traffic injuries

Three thousand lives are lost daily in the world due to road crashes (Peden et al., 2004). Pedestrians and cyclists are especially vulnerable to injuries: in the US in particular, pedestrians (cyclists) are 23× (12×) more likely to die in a crash than car occupants per kilometer traveled (Pucher and Dijkstra, 2003). However, the specific metric of comparison matters. For example, measuring injuries per hour of travel tends to produce more commensurate risks for cars and bicycles, but still for walking risk per hour is three times higher than for driving in Europe (Peden et al., 2004). The reason for this difference is that automobiles drive more “safe km” (on highways designed for cars) than cyclists riding fewer km on much more dangerous urban roads (in part due to poor bicycle facilities). Important differences exist between countries and across cities, e.g., fatality risks are nearly 6 times greater for cyclist per km traveled in the US compared to Holland (1.1 fatality per km traveled in the Netherlands versus 5.8 in the US) (Pucher and Buehler, 2008).

One protective factor for active travel is the effect of “safety in numbers”. Meta-analyses of crash data show that the more people walk and cycle, the safer walking and cycling are per person (Elvik, 2009; Jacobsen, 2003). Models of accidents or injury (e.g. number of fatalities), I , have been fit to the equation $I = aE^b$, where E is a measure of amount of walking or cycling, and a and b are empirical parameters. Studies find that b is consistently below 1 (generally between 0.1 and 0.7), indicating the risk of injury or crash declines with increased active travel. Jacobsen (2003) finds that in the most likely case, the doubling of people walking would lead to 32% increase in total injuries, and therefore a 34% reduction in each walker's individual risk. A “tipping point” hypothesis put forth by Elvik (2009) suggests that a sufficient number of transfers from motorized vehicles to walking or cycling could even lead to a reduction in overall number of accidents. In cities such as Berlin, London, Amsterdam and Copenhagen, substantial increases in bicycle use have been accompanied by reductions in the incidence of serious injuries to cyclists (Pucher et al., 2010).

Features of the built environment that can improve cycling and pedestrian safety include physical separation between cars and cyclists or pedestrians, reduced vehicle speed, and cues for avoiding risky behaviors by any traveler. Traffic calming can reduce traffic injuries by 15% to 25% (Elvik, 2001). On-road marked bike lanes and separated cycle tracks on a roundabout increase cycling safety, while roundabouts with multiple traffic lanes or with a marked bike lane are more hazardous for cyclists (Reynolds et al., 2009). Traffic calming not only improves safety, it also enhances the perception of safety, which thereby may encourage more cycling and walking. Because of the “safety in numbers” effect mentioned above, the increases in cycling and walking then reduce risks for all active travelers.

5.4. Other health impacts of active travel policies

Studies have linked directly walkable neighborhoods to the physical and mental health of its residents. Access to greenspace, in particular, some forms of which (such as longitudinal parks and tree

canopies) would provide amenities for pedestrians and cyclists, has been shown to improve health, particularly mental health and quality of life (Tzoulas et al., 2007). Some possible underlying mechanisms explaining health benefits of exposure to greenspace have been hypothesized and tested, including increase in physical activity or social contact; however, available evidence is not conclusive (Maas et al., 2009; Tzoulas et al., 2007). Large amounts of auto use on the other hand has been linked to negative mental and social impacts such as road rage and time spent away from family (Frumkin, 2002). Social capital is shown to have positive effects in reducing crime and improving physical and mental health (Kawachi and Berkman, 2000). For example, residents of US states with the lowest levels of social capital have 22% to 48% higher odds of fair to poor health compared to those living in states with the highest social capital indicators (Kawachi, 1999). Social isolation or the lack of social support or social networks were demonstrated to increase the risk of dying prematurely from all causes in cohort studies in the US, Europe, and Japan (Berkman and Glass, 2000).

The diet and PA linkages mentioned in terms of behaviors in Section 3.3 extend to effects on health. Numerous trials report that without dietary modification, exercise is unlikely to be effective for achieving significant weight loss (Caudwell et al., 2009). Moreover, PA and diet have synergistic effects on health outcomes besides obesity. Compared to either factor individually, diet and PA in combination have been found to be more strongly associated with outcomes such as reversal of metabolic syndrome, cancer survival, and reduced risk of Alzheimer's disease (Anderssen et al., 2007; Pierce et al., 2007; Scarmeas et al., 2009). Finally, obesity and other diet-related disorders such as diabetes influence susceptibility to adverse effects of exposure to air pollutants such as inflammation and cardiovascular events (Chen et al., 2007; Zeka et al., 2006).

Reduced mobility and lack of access to economic and social opportunities and health services is also linked to poor health, with unequal distribution across the social spectrum. In fact, transport has been identified as one of the most important social determinants of health (Wilkinson and Marmot, 2003), with car-dependent urban forms affecting children, the elderly and low-income groups the most. For example, in the US 21% of those aged above 65 do not drive, and these older non-drivers take 15% fewer trips to the doctor and 65% fewer trips to friends and family for lack of other transportation options (Bailey, 2004). In addition to physical barriers to accessing services, the burden that larger transportation-costs can impose on lower-income people can cause stress and reduce money available for medical care. Social injustice may also be further perpetuated by unequal hazardous exposures and susceptibility to adverse health outcomes (Northridge et al., 2003).

6. Discussion

We reviewed evidence for the relationships between active travel and components of active travel policies and health, indicating potential synergistic, feedback or competing effects of different components of policies, and highlighting relationships for which knowledge is strongest or weakest for integration in a quantitative HIA (Fig. 1: variables in **bold** are those identified having the most robust exposure-health quantifications available, while those in *italics* are those for which the least robust quantitative evidence is available).

We found strong evidence that environmental factors related to walkability (transportation infrastructure and land use patterns) are associated with more active transportation and less driving. Comprehensive multi-level policies may be most effective in promoting healthy transportation behavior changes, but their effects are more difficult to quantify. Notably, there may be positive feedback effects when beyond a certain level of participation in the population, walking and cycling become socially expected and desirable as well as

safer behaviors. Linking the policies to actual changes in behaviors and to resulting levels of air pollution and noise may be one of the most challenging steps in the assessment of active travel policies.

We identified clear PA-related health benefits with quantifiable relationships for walking and cycling, as well as robust ERFs of health benefits of pollution reductions for certain traffic-related air pollutants. Active travel policies have the potential to generate large health benefits to the population health through increases in PA of active travelers, and smaller benefits through reductions in exposures of air pollution in the general population. Substantial improvements in air quality and noise are improbable through active travel policies alone; however, small changes that affect long-term population exposures can have meaningful impacts. There is potential for risk trade-offs for individuals who shift to walking and cycling and consequently increase their inhalation of air pollutants and exposures to noise, heat and traffic hazards. However, insufficient knowledge exists today of the health effects of environmental exposures during travel. While more work is needed in this area, ERFs could be derived from current studies as a first approximation to evaluate potential unintended adverse health impacts of increased air pollution inhalation during active travel. For example, assumptions can be made about travel duration and associated inhalation rate to infer dose-response functions from existing studies as in the methods used in Pope et al. (2009) or de Hartog et al. (2010). Quantifying risks of traffic injuries due to mode shifts to cycling and walking is feasible because numerous studies exist, but the task is complex because of many contributing factors that vary greatly across communities. Well-implemented active travel policies that address pedestrian and cyclist risk factors could lead to a reduction in traffic injuries, including for other road users as vehicle use decreases.

More challenging to quantify are the relationships between active travel policies and social capital, crime, greenspace, and diet, including all feedback effects. For example, fear of crime may decrease PA, a change in PA may affect diet, both of which combined will have a synergistic effect on health, as well as an interactive effect with air pollution. The extent of the complex non-linear combined effect of active travel policies on these outcomes is not currently well understood. Yet, they may contribute sufficiently important improvements in quality of life and health to make well-designed active travel policies that enhance such outcomes (e.g. by providing public spaces, benches, and other amenities for pedestrians) attractive options.

A problem found in many of the relationships related to transportation and PA is that ERFs are mostly derived from cross-sectional studies. This poses questions regarding the strength of causal inference and the characteristics of the population that might be affected by the changes. For example, there is only limited evidence that people behave in part as a consequence of their surrounding environment, rather than simply choosing to live in locations that allow them the lifestyle they desire (Cao et al., 2009). There are insufficient longitudinal data to ascertain what specific policy or change in the built environment would result in a change in travel habits. In addition, the socio-demographic profiles of those who may change to and sustain active travel, including age, baseline health, and lifestyle factors (e.g. diet and baseline PA levels) are not currently well understood. Yet, these factors are important determinants of health impacts of PA or hazardous exposures (de Hartog et al., 2010). More research is needed with pre-post intervention assessments. Confounding and measurement error is present in all studies reviewed, contributing to uncertainties in the quantification of relationships. For example, important sources of uncertainty in establishing ERFs include the description of the built environment in travel studies, characterization of exposures and choice of pollutants in air pollution studies, quantification of energy expenditure in PA studies, and under-reporting of accidents in traffic injury studies.

Despite caveats on the causality of the relationships, the characteristics of the population affected and limitations of real-life human research,

several of the associations reviewed can be quantified. With adequate attention to the characterization of uncertainty, evidence is sufficient to begin formulating a comprehensive impact assessment of urban transport policies. Two recently published comparative risk assessments (de Hartog et al., 2010; Woodcock et al., 2009) present the first such broad analysis. Both studies find that the greatest benefits of active travel come from increased PA for those who shift to active modes, dwarfing benefits that would be obtained from air pollution reductions, and largely compensating increased risks of traffic injuries or air pollution inhalation for active travelers.

A limitation of the Woodcock and de Hartog studies is the lack of consideration of how policies act to change behaviors and how optimal policy scenarios can be developed. Policies typically come in bundles (e.g. bike lane network + tree canopies + traffic calming measures). Assessing such “packages” may not only represent a more realistic view of policy processes but also allow considerations of further co-benefits beyond changes in PA and air pollution. Other than well-known attributes of walkable neighborhood (mixed and dense land uses), examples of urban design features that provide a pleasant and encouraging environment for cyclists and pedestrians and enhance health benefits include: (i) tree canopies, (ii) bike and pedestrian networks separated from traffic, (iii) public amenities (benches and public spaces), and (iv) green space. Such solutions respectively provide the added benefits of (i) cooling the air and protecting active travelers from heat; (ii) minimizing exposure to traffic air pollution, noise and crash hazards; (iii) encouraging social interaction; and (iv) improving mental health and well-being. Inter-relationships are not straightforward and surprising outcomes may emerge, such as natural greenery shown in one study to discourage trail use, perhaps owing to perception of unsafe conditions (Reynolds et al., 2007). The full and synergistic impacts of travel and planning policies are important to note, as although multiple solutions can be found to enhance health, policy-makers do not always perceive that the built environment has an impact on the health of people or the environment (Leyden et al., 2008).

We have argued for a broad perspective in assessing impacts of active travel policies and framed the issue to include outcomes not yet integrated in assessments of urban travel policies. We have inevitably still excluded a large range of health effects. We did not review health impacts considered too distal, such as through effects of climate change (e.g. weather disasters, changing dynamics of disease vectors, climatically-related production of photochemical air pollutants, and risk of conflict over depleted natural resources) (McMichael et al., 2003), or through changes in ecosystems and on water quality and quantity (e.g. impacts of sprawl on land fragmentation) (Frumkin, 2002).

7. Conclusion

Policy decision-making, whether concerning the environment, health, or urban planning, has often been criticized for being piecemeal and selective (Duany, 2002). With the growing interest in active travel as a solution to physical inactivity, urban air pollution, and climate change, it is important to recognize the complexity of interactions among people, places, and the natural environment. This review contributes to making the case for more integrative approaches to decision-making, in particular considering possible unintended consequences of policies and solutions to mitigate risks, and integrating synergies and impacts that are not classically considered but could be important predictors of quality of life. The goal of an urban transport policy impact assessment could thus be to identify promising opportunities for simultaneously meeting society's transportation and public health objectives.

Acknowledgments

Contributions from the various authors were discussed and developed during a workshop held on November 9–10th 2009 for

the launch of the Transportation Air pollution and Physical Activities: an integrated health risk assessment program of climate change and urban policies (TAPAS) project. TAPAS is a four year project funded in part by the Coca-Cola Foundation and the Agencia de Gestio d'Ajuts Universitaris i de Recerca. The funders have no role in the planning of study design; in the collection, analysis, and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. All authors are independent from the funders.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at doi:[10.1016/j.envint.2011.02.003](https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.02.003).

References

- Adams HS, Nieuwenhuijsen MJ, Colville RN. Determinants of fine particle (PM_{2.5}) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *Atmos Environ* 2001a;35:4557–66.
- Adams HS, Nieuwenhuijsen MJ, Colville RN, McMullen MA, Khandelwal P. Fine particle (PM_{2.5}) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *Sci Total Environ* 2001b;279:29–44.
- Andersen L, Schnohr P, Schroll M, Hein HO. All-cause mortality associated with physical activity during leisure time, work, sports, and cycling to work. *Arch Intern Med* 2000;160:1621.
- Anderssen SA, Carroll S, Urdal P, Holme I. Combined diet and exercise intervention reverses the metabolic syndrome in middle-aged males: results from the Oslo Diet and Exercise Study. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17:687–95.
- Appleyard D. *Livable Streets*. University of California Press; 1981.
- Armstrong BK, Krickler A. The epidemiology of UV induced skin cancer. *J Photochem Photobiol B* 2001;63:8–18.
- Atkinson RW, Barratt B, Armstrong B, Anderson HR, Beevers SD, Mudway IS, et al. The impact of the congestion charging scheme on ambient air pollution concentrations in London. *Atmos Environ* 2009;43:5493–500.
- Bailey L. *Aging Americans: stranded without options*. Surface Transportation Policy Project; 2004.
- Basu R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environ Health* 2009;8:40.
- Berkman LF, Glass T. Social integration, social networks, social support, and health. In: Berkman LF, Kawachi I, editors. *Social epidemiology*. New York: Oxford University Press; 2000.
- Besser LM, Marcus M, Frumkin H. Commute time and social capital in the U.S. *Am J Prev Med* 2008;34:207–11.
- Boies A, Hankey S, Kittelson D, Marshall JD, Nussbaum P, Watts W, et al. Reducing motor vehicle greenhouse gas emissions in a non-California state: a case study of Minnesota. *Environ Sci Technol* 2009;43:8721–9.
- Boogaard H, Borgman F, Kamminga J, Hoek G. Exposure to ultrafine and fine particles and noise during cycling and driving in 11 Dutch cities. *Atmos Environ* 2009;43:4234–42.
- Briggs DJ. A framework for integrated environmental health impact assessment of systemic risks. *Environ Health* 2008;7:61.
- Briggs DJ, de Hoogh K, Morris C, Gulliver J. Effects of travel mode on exposures to particulate air pollution. *Environ Int* 2008;34:12–22.
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope III CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121:2331–78.
- Brown SC, Mason CA, Perrino T, Lombard JL, Martinez F, Plater-Zyberk E, et al. Built environment and physical functioning in Hispanic elders: the role of “eyes on the street”. *Environ Health Perspect* 2008;116:1300–7.
- Bull FC, Armstrong TP, Dixon T, Ham S, Neiman A, Pratt M. Physical inactivity. In: Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL, editors. *Comparative quantification of health risks*. Geneva: World Health Organization; 2004.
- Cao XJ, Mokhtarian PL, Handy SL. Examining the impacts of residential self-selection on travel behaviour: a focus on empirical findings. *Transp Rev* 2009;29:359–95.
- Caudwell P, Hopkins M, King NA, Stubbs RJ, Blundell JE. Exercise alone is not enough: weight loss also needs a healthy (Mediterranean) diet? *Public Health Nutr* 2009;12:1663–6.
- Chen JC, Cavallari JM, Stone PH, Christiani DC. Obesity is a modifier of autonomic cardiac responses to fine metal particulates. *Environ Health Perspect* 2007;115:1002.
- Chen H, Goldberg MS, Villeneuve PJ. A systematic review of the relation between long-term exposure to ambient air pollution and chronic diseases. *Rev Environ Health* 2008;23:243–97.
- Cohen AJ, Ross Anderson H, Ostro B, Pandey KD, Krzyzanowski M, Kunzli N, et al. The global burden of disease due to outdoor air pollution. *J Toxicol Environ Health A* 2005;68:1301–7.
- Corburn J. Reconnecting with Our Roots. *Urban Affairs Rev* 2007;42:688.
- Dannenberg AL, Bhatia R, Cole BL, Dora C, Fielding JE, Kraft K, et al. Growing the field of health impact assessment in the United States: an agenda for research and practice. *Am J Public Health* 2006;96:262–70.

- Davies HW, Vlaanderen JJ, Henderson SB, Brauer M. Correlation between co-exposures to noise and air pollution from traffic sources. *Occup Environ Med* 2009;66:347–50.
- de Hartog JJ, Boogaard H, Nijland H, Hoek G. Do *The Health Benefits Of Cycling Outweigh The Risks?* *Environ Health Perspect* 2010;118(8):1109–16.
- de Nazelle A, Rodríguez DA, Crawford-Brown D. The built environment and health: impacts of pedestrian-friendly designs on air pollution exposure. *Sci Total Environ* 2009;407:2525–35.
- de Nazelle A, Morton BJ, Jerrett M, Crawford-Brown D. Short trips: *An opportunity for reducing mobile-source emissions?* *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2010;15:451–7.
- Dias C, Pedrero A. Sound exposure during daily activities. *Appl Acoust* 2006;67:271–83.
- Dill J. Bicycling for transportation and health: the role of infrastructure. *J Public Health Pol* 2009;30:S95–S110.
- Dill J, Carr T. Bicycle commuting and facilities in major U.S. cities: if you build them, commuters will use them. *Transp Res Rec J Transp Res Board* 2003;1828:116–23.
- Duany A. Introduction to the special issue: the transect. *J Urban Des* 2002;7:251–60.
- EC. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. *Off J Eur Communities* 2002;18:7.2002.
- Elvik R. Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accid Anal Prev* 2001;33:327–36.
- Elvik R. The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport. *Accid Anal Prev* 2009;41(4):849–55.
- Ericsson E. Variability in urban driving patterns. *Transp Res D Transp Environ* 2000;5:337–54.
- Ewing R, Cervero R. Travel and the built environment. *J Am Plann Assoc* 2010;76:265–94.
- Ewing R, Schieber RA, Zegeer CV. Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities. *Am J Public Health* 2003a;93:1541–5.
- Ewing R, Schmid T, Killingsworth R, Zlot A, Raudenbush S. Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity. *Am J Health Promot* 2003b;18:47–57.
- Forsyth A, Hearst M, Oakes JM, Schmitz KH. Design and destinations: factors influencing walking and total physical activity. *Urban Stud* 2008;45:1973–96.
- Frank LD, Andresen MA, Schmid TL. Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars. *Am J Prev Med* 2004;27:87–96.
- Frank LD, Sallis JF, Conway TL, Chapman JE, Saelens BE, Bachman W. Many pathways from land use to health—associations between neighborhood walkability and active transportation, body mass index, and air quality. *J Am Plann Assoc* 2006;72:75–87.
- Friedman MS, Powell KE, Hutwagner L, Graham LM, Teague WG. Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma. *JAMA* 2001;285:897–905.
- Fruin S, Westerdahl D, Sax T, Sioutas C, Fine PM. Measurements and predictors of on-road ultrafine particle concentrations and associated pollutants in Los Angeles. *Atmos Environ* 2008;42:207–19.
- Frumkin H. Urban sprawl and public health. *Public Health Rep* 2002;117:201–17.
- Gatersleben B, Appleton KM. Contemplating cycling to work: attitudes and perceptions in different stages of change. *Transp Res Policy Pract* 2007;41:302–12.
- Giles-Corti B, Macintyre S, Clarkson JP, Pikora T, Donovan RJ. Environmental and lifestyle factors associated with overweight and obesity in Perth, Australia. *Am J Health Promot* 2003;18:93–102.
- Gordon-Larsen P, Boone-Heinonen J, Sidney S, Sternfeld B, Jacobs Jr DR, Lewis CE. Active commuting and cardiovascular disease risk: the CARDIA study. *Arch Intern Med* 2009a;169:1216–23.
- Gordon-Larsen P, Hou N, Sidney S, Sternfeld B, Lewis CE, Jacobs Jr DR, et al. Fifteen-year longitudinal trends in walking patterns and their impact on weight change. *Am J Clin Nutr* 2009b;89:19–26.
- Haines A, McMichael AJ, Smith KR, Roberts I, Woodcock J, Markandya A, et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: overview and implications for policy makers. *Lancet* 2009;374:2104–14.
- Hamer M, Chida Y. Active commuting and cardiovascular risk: a meta-analytic review. *Prev Med* 2008a;46:9–13.
- Hamer M, Chida Y. Walking and primary prevention: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Br J Sports Med* 2008b;42:238–43.
- Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation* 2007;116:1081–93.
- Haskell WL, Blair SN, Hill JO. Physical activity: health outcomes and importance for public health policy. *Prev Med* 2009;49:280–2.
- Heath GW, Brownson RC, Kruger J, Miles R, Powell KE, Ramsey LT. Task force on community preventive services. The effectiveness of urban design and land use and transport policies and practices to increase physical activity: a systematic review. *J Phys Activ Health* 2006;3:S55–76.
- HEI. Traffic-related air pollution: a critical review on the literature on emissions, exposure and health effects. In: Health Effects Institute (HEI) Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution, editor. HEI Special Report 17. Boston, Mass: Health Effects Institute; 2010. <http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=453>.
- Hertel O, Hvidberg M, Kettel M, Storm L, Staussgaard A. A proper choice of route significantly reduces air pollution exposure—a study on bicycle and bus trips in urban streets. *Sci Total Environ* 2008;389:58–70.
- Hoek G, Boogaard H, Knol A, de Hartog J, Slottje P, Ayres JG, et al. Concentration response functions for ultrafine particles and all-cause mortality and hospital admissions: results of a European expert panel elicitation. *Environ Sci Technol* 2009;44:476–82.
- Holmes NS, Morawska L. A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: an overview of different dispersion models available. *Atmos Environ* 2006;40:5902–28.
- Hu G, Qiao Q, Silventoinen K, Eriksson JG, Jousilahti P, Lindstrom J, et al. Occupational, commuting, and leisure-time physical activity in relation to risk for Type 2 diabetes in middle-aged Finnish men and women. *Diabetologia* 2003;46:322–9.
- Int Panis L, de Geus B, Vandenbulcke G, Willems H, Degraeuwe B, Bleux N, et al. Exposure to particulate matter in traffic: a comparison of cyclists and car passengers. *Atmos Environ* 2010;44:2263–70.
- IPCC. Climate change 2007 mitigation of climate change, contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: Metz B, Davidson O, Bosch P, Dave R, Meyer L, editors. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2007. 851 pp.; <http://www.ipcc-wg3.de/publications/assessment-reports/ar4/working-group-iii-fourth-assessment-report>.
- Jacobs J. The death and life of great American cities. New York: Random House; 1961.
- Jacobsen PL. Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Inj Prev* 2003;9:205–9.
- Jacobsen PL, Racioppi F, Rutter H. Who owns the roads? How motorised traffic discourages walking and bicycling. *Inj Prev* 2009;15:369–73.
- Jerrett M, Burnett RT, Pope III CA, Ito K, Thurston G, Krewski D, et al. Long-term ozone exposure and mortality. *N Engl J Med* 2009a;360:1085–95.
- Jerrett M, Finkelstein MM, Brook JR, Arain MA, Kanaroglou P, Stieb DM, et al. A cohort study of traffic-related air pollution and mortality in Toronto, Ontario, Canada. *Environ Health Perspect* 2009b;117:772–7.
- Johansson C, Burman L, Forsberg B. The effects of congestions tax on air quality and health. *Atmos Environ* 2009;43:4843–54.
- Kaur S, Nieuwenhuijsen MJ. Determinants of personal exposure to PM_{2.5}, ultrafine particle counts, and CO in a transport microenvironment. *Environ Sci Technol* 2009;43:4737–43.
- Kaur S, Nieuwenhuijsen MJ, Colville RN. Pedestrian exposure to air pollution along a major road in Central London, UK. *Atmos Environ* 2005;39:7307–20.
- Kaur S, Nieuwenhuijsen MJ, Colville RN. Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments. *Atmos Environ* 2007;41:4781–810.
- Kawachi I. Social capital and community effects on population and individual health. *Ann NY Acad Sci* 1999;896:120–30.
- Kawachi IO, Berkman LF. Social cohesion, social capital, and health. In: Berkman LF, Kawachi IO, editors. *Social epidemiology*. New York: Oxford University Press; 2000.
- Kemp van E, Houthuijs D. The burden on health and well-being of road and rail traffic noise exposure in the Netherlands. Bilthoven, Nd: RIVM; 2008.
- Kovats RS, Hajat S. Heat stress and public health: a critical review. *Annu Rev Public Health* 2008;29:41–55.
- Krewski D, Jerrett M, Burnett RT, Ma R, Hughes E, Shi Y, et al. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. *Res Rep Health Eff Inst* 2009;5:114 discussion 115–136.
- Lavizzo-Mourey R, McGinnis JM. Making the case for active living communities. *Am J Public Health* 2003;93:1386–8.
- Leyden KM. Social capital and the built environment: the importance of walkable neighborhoods. *Am J Public Health* 2003;93:1546–51.
- Leyden KM, Reger-Nash B, Bauman A, Bias T. Changing the hearts and minds of policy makers: an exploratory study associated with the West Virginia walks campaign. *J Inf* 2008;22.
- Lin L, Moudon AV. Objective versus subjective measures of the built environment, which are most effective in capturing associations with walking? *Health Place* 2010;16:339–48.
- Litman T. Win-win transportation solutions. Victoria Transport Policy Institute; 2008. <http://www.vtpi.org/winwin.pdf>.
- Lopez R. Urban sprawl and risk for being overweight or obese. *Am J Public Health* 2004;94:1574–9.
- Maas J, van Dillen SM, Verheij RA, Groenewegen PP. Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health. *Health Place* 2009;15:586–95.
- Mair JS, Mair M. Violence prevention and control through environmental modifications. *Annu Rev Public Health* 2003;24:209–25.
- Marshall JD. Energy-efficient urban form. *Environ Sci Technol* 2008;42:3133–7.
- Marshall JD, McKone TE, Deakin E, Nazaroff WW. Inhalation of motor vehicle emissions: effects of urban population and land area. *Atmos Environ* 2005;39:283–95.
- Marshall JD, Granvold PW, Hoats AS, McKone TE, Deakin E, Nazaroff W. Inhalation intake of ambient air pollution in California's South Coast Air Basin. *Atmos Environ* 2006;40:4381–92.
- Marshall JD, Brauer M, Frank LD. Healthy neighborhoods: walkability and air pollution. *Environ Health Perspect* 2009;117.
- Marshall JD, Wilson RD, Meyer KL, Rajangam SK, McDonald NC, Wilson EJ. Vehicle emissions during children's school commuting: impacts of education policy. *Environ Sci Technol* 2010;44:1537–43.
- Matthews CE, Jurj AL, Shu XO, Li HL, Yang G, Li Q, et al. Influence of exercise, walking, cycling, and overall nonexercise physical activity on mortality in Chinese women. *Am J Epidemiol* 2007;165:1343–50.
- McConnell R, Berhane K, Gilliland F, London SJ, Islam T, Gauderman WJ, et al. Asthma in exercising children exposed to ozone: a cohort study. *Lancet* 2002;359:386–91.
- McConnell R, Berhane K, Yao L, Lurmann FW, Avol E, Peters JM. Predicting residential ozone deficits from nearby traffic. *Sci Total Environ* 2006;363:166–74.
- McCreanor J, Cullinan P, Nieuwenhuijsen MJ, Stewart-Evans J, Malliarou E, Jarup L, et al. Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. *N Engl J Med* 2007;357:2348–58.
- McMichael AJ, Campbell-Lendrum DH, Corvalán CF, Ebi KL, Githeko A, Scheraga JD, et al. Climate change and human health—risks and responses. *The World Health*

- Organization (WHO), the World Meteorological Organization (WMO), and the United Nations Environment Programme (UNEP); 2003. <http://www.who.int/globalchange/publications/cchhbook/en/>.
- McNabola A, Broderick BM, Gill LW. Relative exposure to fine particulate matter and VOCs between transport microenvironments in Dublin: personal exposure and uptake. *Atmos Environ* 2008;42:6496–512.
- Mead MN. Benefits of sunlight: a bright spot for human health. *Environ Health Perspect* 2008;116.
- Miedema HM, Oudshoorn CG. Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environ Health Perspect* 2001;109:409–16.
- Miedema HM, Vos H. Associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise based on reanalyses of pooled data from 24 studies. *Behav Sleep Med* 2007;5:1–20.
- Neitzel R, Gershon RR, Zeltser M, Canton A, Akram M. Noise levels associated with New York City's mass transit systems. *Am J Public Health* 2009;99:1393–9.
- NICE. Promoting and creating built or natural environments that encourage and support physical activity. NICE public health guidance 8. London, UK: National Institute for Health and Clinical Excellence; 2008. www.nice.org.uk.
- Nieuwenhuijsen MJ, Gomez-Perales JE, Colville RN. Levels of particulate air pollution, its elemental composition, determinants and health effects in metro systems. *Atmos Environ* 2007;41:7995–8006.
- Northridge ME, Stover GN, Rosenthal JE, Sherard D. Environmental equity and health: understanding complexity and moving forward. *Am J Public Health* 2003;93:209–14.
- NRC. Driving and the built environment : the effects of compact development on motorized travel, energy use, and CO2 emissions. In: National Academy of Science, editor. Transportation Research Board, SPECIAL REPORT 298: National Research Council (U.S.). Committee for the Study on the Relationships Among Development Patterns, Vehicle Miles Traveled, and Energy Consumption; 2009. <http://www.nap.edu/catalog/12747.html>.
- Ogilvie D, Egan M, Hamilton V, Petticrew M. Promoting walking and cycling as an alternative to using cars: systematic review. *BMJ* 2004;329:763–.
- Ogilvie D, Foster CE, Rothnie H, Cavill N, Hamilton V, Fitzsimons CF, et al. Interventions to promote walking: systematic review. *BMJ* 2007;334:1204.
- Parkin J, Wardman M, Page M. Models of perceived cycling risk and route acceptability. *Accid Anal Prev* 2007;39:364–71.
- Peden M, Scurfield R, Sleet D, Mohan D, Hyder AA, Jarawan E, et al. World report on road traffic injury prevention. Geneva: World Health Organization (WHO); 2004.
- Peters A, von Klot S, Heier M, Trentinaglia I, Hormann A, Wichmann HE, et al. Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction. *N Engl J Med* 2004;351:1721–30.
- Pierce JP, Stefanick ML, Flatt SW, Natarajan L, Sternfeld B, Madlensky L, et al. Greater survival after breast cancer in physically active women with high vegetable-fruit intake regardless of obesity. *J Clin Oncol* 2007;25:2345–51.
- Pope III CA, Burnett RT, Krewski D, Jerrett M, Shi Y, Calle EE, et al. Cardiovascular mortality and exposure to airborne fine particulate matter and cigarette smoke: shape of the exposure-response relationship. *Circulation* 2009;120:941–8.
- Pucher J, Buehler R. Cycling for everyone: lessons from Europe. *Transp Res Res J Transp Res Board* 2008;2074:58–65.
- Pucher J, Dijkstra L. Promoting safe walking and cycling to improve public health: lessons from the Netherlands and Germany. *Am J Public Health* 2003;93:1509–16.
- Pucher J, Dill J, Handy S. Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: an international review. *Prev Med* 2010;50:S106–25.
- Putnam RD. Bowling alone : the collapse and revival of American community. New York: Simon & Schuster; 2000.
- Rankinen T, Bouchard C. Dose-response issues concerning the relations between regular physical activity and health. President's Council on Physical Fitness and Sports: Research Digest. Series 3, No.18; 2002.
- Reichrath J. Skin cancer prevention and UV-protection: how to avoid vitamin D-deficiency? *Br J Dermatol* 2009;161(Suppl 3):54–60.
- Reid CE, O'Neill MS, Gronlund CJ, Brines SJ, Brown DG, Diez-Roux AV, et al. Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environ Health Perspect* 2009;117.
- Reynolds KD, Wolch J, Byrne J, Chou CP, Feng G, Weaver S, et al. Trail characteristics as correlates of urban trail use. *Am J Health Promot* 2007;21:335–45.
- Reynolds CC, Harris MA, Teschke K, Cripton PA, Winters M. The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature. *Environ Health* 2009;8:47.
- Riediker M, Cascio WE, Griggs TR, Herbst MC, Bromberg PA, Neas L, et al. Particulate matter exposure in cars is associated with cardiovascular effects in healthy young men. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;169:934–40.
- Rietveld P, Daniel V. Determinants of bicycle use: do municipal policies matter? *Transp Res Policy Pract* 2004;38:531–50.
- Saelens BE, Handy SL. Built environment correlates of walking: a review. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40:S550–66.
- Saelens BE, Sallis JF, Frank LD. Environmental correlates of walking and cycling: findings from the transportation, urban design, and planning literatures. *Ann Behav Med* 2003;25:80–91.
- Sallis JF, Glanz K. Physical activity and food environments: solutions to the obesity epidemic. *Milbank Q* 2009;87:123–54.
- Sallis JF, Bowles HR, Bauman A, Ainsworth BE, Bull FC, Craig CL, et al. Neighborhood environments and physical activity among adults in 11 countries. *Am J Prev Med* 2009a;36:484–90.
- Sallis JF, Saelens BE, Frank LD, Conway TL, Slymen DJ, Cain KL, et al. Neighborhood built environment and income: examining multiple health outcomes. *Soc Sci Med* 2009b;68:1285–93.
- Scarmeas N, Luchsinger JA, Schupf N, Brickman AM, Cosentino S, Tang MX, et al. Physical activity, diet, and risk of Alzheimer disease. *JAMA* 2009;302:627–37.
- Seto EY, Holt A, Rivard T, Bhatia R. Spatial distribution of traffic induced noise exposures in a US city: an analytic tool for assessing the health impacts of urban planning decisions. *Int J Health Geogr* 2007;6:24.
- Skjaeveland O, Gärling T. Spatial-physical neighborhood attributes affecting social interactions among neighbors. In: Aragonés JI, Francescato G, Gärling T, editors. Residential environments : choice, satisfaction, and behavior. Westport, Conn: Bergin & Garvey; 2002.
- Smiley MJ, Diez Roux AV, Brines SJ, Brown DG, Evenson KR, Rodriguez DA. A spatial analysis of health-related resources in three diverse metropolitan areas. *Health Place* 2010;16:885–92.
- Smith KR, Jerrett M, Anderson HR, Burnett RT, Stone V, Derwent R, et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants. *Lancet* 2009;374(9707):2091–103.
- Stone B. Land use as climate change mitigation. *Environ Sci Technol* 2009;43:9052–6.
- Strak M, Boogaard H, Meliefste K, Oldenwening M, Zuurbier M, Brunekreef B, et al. Respiratory health effects of ultrafine and fine particle exposure in cyclists. *Occup Environ Med* 2010;67:118–24.
- Tilahun NY, Levinson DM, Krizek KJ. Trails, lanes, or traffic: valuing bicycle facilities with an adaptive stated preference survey. *Transp Res Policy Pract* 2007;41:287–301.
- Tormo MJ, Navarro C, Chirlaque MD, Barber X, Argilaga S, Agudo A, et al. Physical sports activity during leisure time and dietary intake of foods and nutrients in a large Spanish cohort. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2003;13:47–64.
- Tuchinda C, Srivannaboon S, Lim H. Photoprotection by window glass, automobile glass, and sunglasses. *J Am Acad Dermatol* 2006;55:74.
- Tzoulas K, Korpela K, Venn S, Yli-Pelkonen V, Kazmierczak A, Niemela J, et al. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: a literature review. *Landscape Urban Plan* 2007;81:167–78.
- U.N. United Nations General Assembly Resolution A/64/L.44/Rev.1: Improving global road safety. <http://www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/64/L.44/Rev.1> 2010.
- Unger N, Bond TC, Wang JS, Koch DM, Menon S, Shindell DT, et al. Attribution of climate forcing to economic sectors. *Proc Natl Acad Sci* 2010;107:3382.
- US DHHS. Physical activity guidelines advisory committee report. Washington, DC: Physical Activity Guidelines Advisory Committee, US Department of Health and Human Services; 2008.
- Van Dyck D, Cardon G, Deforche B, Sallis JF, Owen N, De Bourdeaudhuij I. Neighborhood SES and walkability are related to physical activity behavior in Belgian adults. *Prev Med* 2010;50:S74–9.
- van Lenthe FJ, Brug J, Mackenbach JP. Neighbourhood inequalities in physical inactivity: the role of neighbourhood attractiveness, proximity to local facilities and safety in the Netherlands. *Soc Sci Med* 2005;60:763–75.
- Vardoulakis S, Fisher BEA, Pericleous K, Gonzalez-Flesca N. Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmos Environ* 2003;37:155–82.
- Vincentz PS, Moller P, Sorensen M, Knudsen LE, Hertel O, Jensen FP, et al. Personal exposure to ultrafine particles and oxidative DNA damage. *Environ Health Perspect* 2005;113:1485–90.
- VTPI. Transportation statistics. Victoria Transport Policy Institute; 2010. <http://www.vtppi.org/tm/tm80.htm>.
- Wang T, Xie S. Assessment of traffic-related air pollution in the urban streets before and during the 2008 Beijing Olympic Games traffic control period. *Atmos Environ* 2009;43:5682–90.
- WHO. The WHO global strategy on diet, physical activity and health, Geneva, Switzerland. World Health Organization; 2004a. <http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/wha/en/index.html>.
- WHO. World report on road traffic injury prevention. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2004b. <http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241562609.pdf>.
- WHO. Health effects and risks of transport systems: the HEARTS project. The World Health Organization Europe; 2006.
- WHO. Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/global_health_risks/en/index.html 2009.
- WHO-UNECE. Transport Health and Environment Pan-European Programme (The PEP) Toolbox. <http://www.healthytransport.com/2009>.
- Wilkinson R, Marmot M. Social determinants of health: the solid facts. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2003.
- Wilson EJ, Marshall J, Wilson R, Krizek KJ. By foot, bus or car: children's school travel and school choice policy. *Environ Plann A* 2010;42:2168–85.
- Woodcock P, Edwards P, Tonne C, Armstrong BG, Ashiru O, Banister D, et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet* 2009;374:1930–43.
- Xiao R-b, Ouyang Z-y, Zheng H, Li W-f, Schienke EW, Wang X-k. Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China. *J Environ Sci* 2007;19:250–6.
- Yang L, Sahlqvist S, McMinn A, Griffin SJ, Ogilvie D. Interventions to promote cycling: systematic review. *BMJ* 2010;341:c5293.
- Yuval, Flicstein B, Broday DM. The impact of a forced reduction in traffic volumes on urban air pollution. *Atmos Environ* 2008;42:428–40.
- Zeka A, Sullivan JR, Vokonas PS, Sparrow D, Schwartz J. Inflammatory markers and particulate air pollution: characterizing the pathway to disease. *Int J Epidemiol* 2006;35:1347–54.
- Zheng H, Orsini N, Amin J, Wolk A, Nguyen VT, Ehrlich F. Quantifying the dose-response of walking in reducing coronary heart disease risk: meta-analysis. *Eur J Epidemiol* 2009;24:181–92.
- Zuurbier M, Hoek G, Oldenwening M, Lenters V, Meliefste K, van den Hazel P, et al. Commuters' exposure to particulate matter air pollution is affected by mode of transport, fuel type, and route. *Environ Health Perspect* 2010;118(6):783–7.

Questions de santé publique

N°5 – Juin 2009

Notre mode de vie actuel privilégie les déplacements motorisés et incite à augmenter le temps passé sans stimulation physique. Ceci est responsable de l'augmentation de la sédentarité¹. Les recommandations en vigueur préconisent 30 minutes d'activité physique d'intensité modérée chaque jour, mais 54 % de la population française ne parvient pas à se maintenir à ce niveau minimum favorable à la santé [1]. La sédentarité est l'un des facteurs de risque favorisant le développement de très nombreuses maladies chroniques, et son niveau est tel désormais que les bénéfices sanitaires de la réactivation physique sont importants dès le premier pas pour toutes ces pathologies et à tous leurs stades. Le défi auquel sont maintenant confrontés les pouvoirs publics est de pouvoir rétablir, pour l'ensemble de la population, un niveau d'activité correspondant à notre bagage génétique et adapté à nos besoins de santé. Ceci nécessite d'une part de comprendre les déterminants de l'activité physique, et d'autre part d'en mesurer les répercussions sur l'état de santé des populations.

Se dépenser plus pour gagner en qualité de vie

Hala Nassif, Jean-François Toussaint, IRMES, INSEP, 11, avenue du Tremblay, 75012 Paris, France.
Université Paris-Descartes, 12, rue de l'École de Médecine, 75006 Paris, France.

Tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques et qui exige une dépense d'énergie supérieure au métabolisme basal est défini comme une activité physique. En fonction du contexte, on identifie trois situations principales : (a) l'activité physique lors des activités professionnelles ; (b) l'activité physique dans le cadre domestique et de la vie courante (par exemple, les transports) ; (c) l'activité physique lors des activités de loisirs

(incluant les activités sportives). De nombreuses études ont été réalisées sur les relations entre activité physique et état de santé, et les avis émis sur ce sujet ont évolué au cours du temps. Les recommandations actuelles formulées dans le cadre du Programme National Nutrition Santé (PNNS²) conseillent aux individus de pratiquer un minimum de 30 minutes d'activité physique d'intensité modérée (telle que la marche rapide) chaque jour de la

semaine, et d'y associer régulièrement une phase plus intense [2]. En effet, la sédentarité est un facteur de risque important pour certaines maladies chroniques et non transmissibles (pathologies métaboliques, cardiovasculaires, cancéreuses, neurodégénératives, psychopathologiques...). Les tendances mondiales de l'inactivité physique sont particulièrement préoccupantes dans certaines populations, en particulier les jeunes, les femmes et les personnes âgées. Selon l'OMS³, l'inactivité physique provoque indirectement environ deux millions de décès dans le monde chaque année. On estime que 60 % de la population mondiale [3] et 54 % des français [1]

1. Entendue ici au sens d'inactivité physique ou de dépense énergétique proche de celle du repos.

2. Lancé en janvier 2001, le Programme National Nutrition Santé a pour objectif général l'amélioration de l'état de santé de la population en agissant sur la nutrition. En 2006 a été lancé pour 5 ans le PNNS 2 (2006-2010). L'un des 9 objectifs nutritionnels prioritaires concerne l'augmentation de l'activité physique.

3. Organisation Mondiale de la Santé.

Juin 2009

ne parviennent pas à maintenir une activité au niveau recommandé pour induire des bénéfices sanitaires.

UN ACCROISSEMENT DES ACTIVITÉS SÉDENTAIRES

Notre mode de vie, qui facilite les déplacements motorisés et nous incite à augmenter le temps passé immobile, face aux ordinateurs et à la télévision, est responsable de l'augmentation de la sédentarité (Figure 1). Cela se traduit à la fois dans le cadre professionnel, dans le cadre domestique, et dans le cadre des loisirs⁴.

L'accroissement du travail sédentaire suit en particulier une pente séculaire très forte. Les types d'activité professionnelle dans la population ont considérablement

changés ont permis à l'être humain de se déplacer, de se nourrir et de produire avec une dépense énergétique individuelle de plus en plus faible, mais au prix d'une consommation d'énergie fossile pour ces services (transport, alimentation, chauffage, etc.) de plus en plus élevée.

D'après le *Baromètre santé 2005*, enquête réalisée par l'INPES⁵ sur 7 000 personnes âgées de 18 à 65 ans, 41,9 % des personnes interrogées déclarent ne pas avoir pratiqué d'activité physique durant la semaine écoulée [1].

LES DÉTERMINANTS DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Il n'y a pas si longtemps, l'activité physique était indissociablement liée à notre survie.

La pratique d'une activité physique favorable à la santé chez les plus diplômés et les plus hauts niveaux de revenus, ainsi que chez les personnes habitant une commune rurale, ce qui n'est pas mis en évidence par d'autres études internationales. Il est intéressant de noter que, dans cette étude, le profil des personnes pratiquant un sport est différent de celui des personnes pratiquant habituellement une activité physique favorable à la santé. Ce sont majoritairement des hommes diplômés avec un niveau de revenu élevé. Ceci souligne le fait que la pratique d'une activité physique favorable à la santé recouvre des types d'activités physiques différentes qui vont des activités physiques intenses exercées dans le cadre du travail, à la pratique régulière d'un sport.

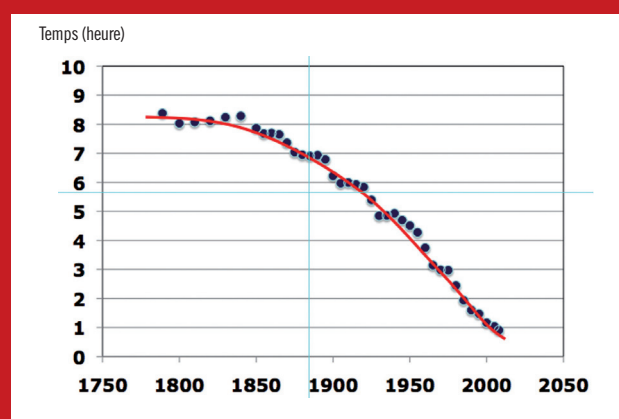


Figure 1. Nombre d'heures quotidiennes consacrées à une activité physique au cours des deux derniers siècles (source: IRMES).

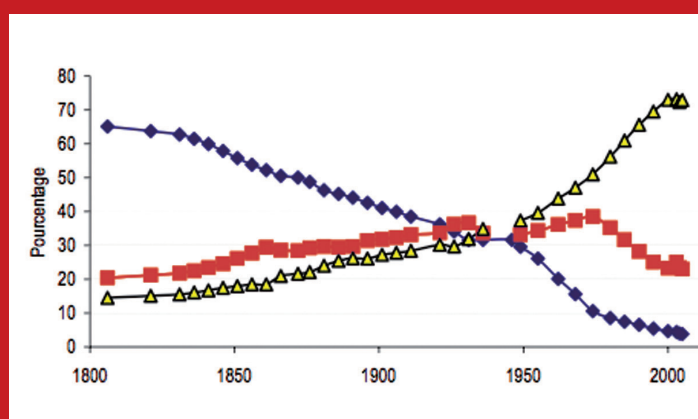


Figure 2. Proportion de grands types d'activité professionnelle en France. Agriculture: losanges bleus, Artisanat et industrie: carrés rouges; Tertiaire: triangles jaunes (source: Jean Fourastié [10]).

changé durant les deux derniers siècles (Figure 2). On note la réduction considérable du nombre d'agriculteurs passant de 65 % de la population en 1800 à moins de 5 % actuellement. En contrepartie, le pourcentage des métiers tertiaires s'accroît de 14 % à plus de 70 %. L'augmentation des activités du secteur tertiaire (mode de travail à dépense énergétique faible), mais surtout la diminution du taux d'agriculteurs dans les années 1950 et 1960, puis des métiers de l'industrie dans les années 1970 et 1980 (activités à dépense énergétique élevée) montre l'effet de notre organisation sociétale, avec la motorisation majeure des campagnes dans la deuxième moitié du XX^e siècle, puis l'incorporation des techniques de robotisation industrielle. Les connaissances et inventions technolo-

De nos jours, la pratique d'une activité physique régulière est souvent associée à une mode, à un engouement pour la performance et non à la recherche d'un équilibre physique, psychologique ou sanitaire. Le *Baromètre santé* permet de mieux cerner le profil des personnes exerçant une activité physique favorable à la santé⁶. Ce sont majoritairement des hommes (52 % contre 39 % pour les femmes), et des personnes de moins de 55 ans, ce qui est cohérent avec d'autres études réalisées sur le même sujet. En revanche, les résultats mettent en avant une moindre pra-

LES BÉNÉFICES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE SUR LA SANTÉ

Les effets bénéfiques de l'activité physique sont nombreux, allant de modifications biologiques fondamentales (par exemple les facteurs de l'inflammation) à un bien-être psychologique et social, qui contribuent tous à une meilleure santé. Les facteurs biochimiques, physiologiques ou psychosociaux liés à la pratique d'une activité physique agissent en interaction pour améliorer notre état de santé. Des études démontrent une réduction de l'incidence des acci-

4. La quantification de la sédentarité peut reposer sur la mesure du « temps assis global » mais également sur la mesure de la fréquence et de la durée de certaines occupations sédentaires telles que l'usage de la télévision ou de l'ordinateur, ou la pratique de la lecture.

5. Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé.

6. Ce qui représente l'équivalent d'au moins une heure par jour d'activité physique d'intensité au moins modérée, ou une demi-heure d'activité d'intensité élevée, au-dessus du niveau de base d'activité physique.

dents vasculaires cérébraux de 25 %, un meilleur contrôle de l'hypertension artérielle [4], un retard de l'apparition du diabète de type 2 chez les sujets à risque ainsi qu'une diminution de moitié de son incidence suite à une pratique régulière d'activité physique et à un mode de vie actif [5]. L'activité physique est également associée à une diminution du risque de cancer du sein de 15 % à 20 % [6], et exerce des effets positifs sur le développement cognitif et la minéralisation osseuse des enfants durant la croissance. Chez les seniors, elle limite l'ostéoporose et le déclin des fonctions intellectuelles ou immunitaires. Des études récentes suggèrent même qu'elle pourrait retarder la survenue ou ralentir la progression de la maladie d'Alzheimer. Bien entendu, pour rester bénéfique à la santé, l'activité physique doit être pratiquée dans des limites raisonnables compte tenu de la condition, des aptitudes

et de l'âge de chacun. Le but recherché dans une optique de préservation de la santé n'est pas de réaliser des performances hors du commun, et bien entendu encore moins d'y parvenir en ayant recours à des substances dont les effets délétères dépassent largement les bénéfices de l'activité réalisée.

SENSIBILISER LA POPULATION ET ÉVALUER L'EFFICACITÉ DES MESURES

Compte tenu de la multiplicité des déterminants de l'activité physique et de la complexité de ses modes d'interaction avec la santé, il est nécessaire de développer des outils de recueil d'informations fiables. Il est également nécessaire de se munir d'outils pour évaluer l'efficacité des actions entreprises.

Plusieurs essais d'intervention en population ont montré qu'il était possible d'ob-

tenir des effets sur la santé par le biais de la promotion de l'activité physique. Par exemple le projet ICAPS (Intervention auprès des collégiens centrée sur l'activité physique et le comportement sédentaire) mis en œuvre en septembre 2002 dans des collèges du Bas-Rhin avec l'Université de Strasbourg a démontré l'effet positif d'un programme d'activités physiques chez les enfants (avec un impact sur l'augmentation du taux de HDL, un meilleur contrôle du poids, une diminution du temps passé immobile — 20 minutes de moins devant la télé — et de meilleures habitudes de vie, en particulier vis-à-vis du sport). De façon plus générale, les interventions qui ont prouvé leur efficacité à long terme sont les actions d'informations, les campagnes au niveau des communautés, les actions qui visent le comportement individuel ou de groupe et qui encouragent le soutien de l'entourage.



SYNTHÈSE DES RECOMMANDATIONS

MILIEUX Scolaire	• Modifier les représentations de l'activité physique en s'appuyant sur des campagnes nationales et locales ciblant spécifiquement les jeunes et leurs parents • Sensibiliser les personnels aux bénéfices santé de l'APS afin que chaque enfant réalise effectivement les temps prévus dans les programmes scolaires • Intégrer l'activité physique dans les habitudes de vies des enfants et adolescents • Privilégier les actions facilitant la pratique de l'activité physique hors temps scolaire en s'appuyant sur une synergie entre éducation nationale, associations, clubs sportifs et collectivités territoriales
Universitaire	• Mettre en place un nouveau programme : UNIVER'SANTE, pour accroître les connaissances en santé des étudiants et leur donner les moyens de les appliquer par une pratique physique appropriée et associant les deux acteurs principaux : services universitaires des APS et services de médecine préventive • Créer des Unités d'Enseignement APS Santé
Entreprises	• Favoriser les mobilités actives internes (en encourageant par exemple l'utilisation des escaliers par un meilleur éclairage ou une rénovation) et externes (favorisant les déplacements vers l'entreprise par la construction de parkings vélos ou d'abris sécurisés), au prix d'un investissement modéré • Intégrer l'activité physique au titre de la prévention en sensibilisant et en formant les médecins du travail au suivi des APS dans le cadre d'une démarche santé et en référençant les liens et les apports des acteurs externes • Mobiliser les acteurs internes (salariés, médecins, management, partenaires sociaux, DRH) et externes (collectivités territoriales, CRAM, monde sportif) en s'adaptant au type de métier et à la taille de l'entreprise
Seniors	• Encourager la pratique sportive en toute sécurité pour contribuer à améliorer l'endurance, la force et la souplesse, l'équilibre et la qualité de vie • Organiser des sessions de prévention avant la retraite, associées à une éducation à la santé • Promouvoir les APS adaptées au sein des maisons de retraite et autres résidences d'hébergement en les intégrant dans le projet d'établissement • Former les aidants et les professionnels de la santé et des APS aux conditions spécifiques de pratique des seniors
Environnement	• Faciliter l'usage partagé du vélo • Sécuriser les parcours et les zones urbaines en limitation de vitesse à 30 km/h, voire 20 km/h dans certaines zones centrales, afin de faciliter la mixité d'usage et d'inciter à la marche et aux déplacements à vélo • Développer les mesures favorisant l'intermodalité, articulant grandes et petites distances, et créer les conditions de remplacement des transports motorisés individuels non indispensables • Intégrer la mobilité active dans les chaînes de déplacements et prendre en compte ces effets dans les critères de subventionnement d'ouvrage et d'équipement

Tableau I. Synthèse des recommandations du Plan national de prévention par l'activité physique ou sportive. APS : activité physique et sportive ; CRAM : caisse régionale d'assurance maladie.

Les programmes de lutte contre la sédentarité sont relativement récents en France. Les premières mesures mises en œuvre l'ont été dans le cadre de programmes portant principalement sur la nutrition (PNNS ou programme EPODE⁷). Des expériences réalisées dans d'autres pays comme le Canada, la Finlande ou les Pays-Bas montrent qu'une des clés du succès est de parvenir à coordonner les actions de plusieurs secteurs ministériels, professionnels ou associatifs, ainsi que d'adopter une définition large de l'activité physique. Une approche permettant de relier des secteurs traditionnellement peu enclins à s'associer, ou de décroquer des territoires trop autarciques est désormais nécessaire.

À titre d'exemple, la promotion de l'activité physique est totalement en accord avec le deuxième Plan National Santé Environnement (PNSE2 2009-2013) qui vise à réduire les impacts négatifs des infrastructures et des véhicules de transport sur l'état de santé de la population (bruit, impact sur la qualité de l'air...) et à promouvoir les modes de transport actifs, ayant un effet positif sur la santé.

Le rapport préparatoire au Plan National de Prévention par l'Activité Physique ou Sportive (PNAPS) [8], propose, en s'appuyant sur les conclusions de l'expertise Inserm publiée en mars 2008 [5], d'encourager toutes les situations qui favorisent

la pratique quotidienne et améliorent la qualité de vie (Tableau I). Trois mois après la remise de ce rapport, pas moins de 52 mesures territoriales ou régionales avaient déjà utilisé les outils et recommandations collectés dans ce cadre afin d'en décliner localement les principes d'action. Cependant, dans le contexte actuel, les désordres économiques et financiers de ces derniers mois pourraient avoir des conséquences importantes en termes humains, sociaux et politiques. Les marges d'adaptation, dans cette situation émergente, dépendront de la cohésion sociale et de la capacité à trouver un équilibre entre nos besoins et notre propre écosystème. La démonstration de l'efficacité d'une pratique régulière d'activité physique à tous les âges et dans tous les milieux fait aussi partie d'un plan de développement durable pour notre environnement et nos rapports sociaux.

CONCLUSION

L'activité physique s'inscrit dans un cadre de vie sain. L'environnement social et physique joue un rôle primordial dans les conditions de sa pratique. Aussi, une campagne de promotion qui se borne à encourager et expliquer les bénéfices d'une activité physique régulière ne suffit pas [9]. Les stratégies qui visent à modifier les comportements individuels doivent également s'accompagner de modifications de l'environnement. Dans ce cadre, les désordres économiques de ces derniers mois auront probablement des consé-

quences non négligeables sur la santé humaine ; il sera important d'en préciser l'impact individuel et sociétal selon l'ampleur et la durée de la récession.

L'activité physique ou la pratique sportive peuvent néanmoins contribuer à la cohésion sociale et nous accompagner dans le partage de l'effort et de l'espoir en renforçant nos solidarités. Le rôle d'un environnement favorisant une activité régulière aisément accessible à l'ensemble de la population française, et sa mobilisation effective, est l'un des grands facteurs actuels d'une meilleure qualité de vie, qui pourrait à terme réduire le poids des maladies chroniques et de leurs risques associés. ■

RÉFÉRENCES

- [1] Beck F, Guilbert P, Gautier A (sous la direction de). *Baromètre Santé 2005. Attitudes et comportements de santé*. Paris : Éditions INPES, 2005.
- [2] Programme National Nutrition Santé (PNNS). <http://www.sante-sports.gouv.fr/dossiers/sante/nutrition-programme-national-nutrition-sante-pnns-nutrition-programme-national-nutrition-sante-pnns-sommaire.html>
- [3] Organisation Mondiale de la Santé. *Global strategy on diet, physical activity and health*. « Myth about physical activity ». <http://www.who.int/dietphysicalactivity>
- [4] Lee IM, Sesso HD, Oguma Y, Paffenbarger RS Jr. Relative intensity of physical activity and risk of coronary heart disease. *Circulation* 2003; 107 : 1110-6.
- [5] Expertise Inserm. *Activité physique. Contextes et effets sur la santé*. Paris : Éditions Inserm, mars 2008.
- [6] Monnikhof EM, Elias SG, Vlems FA, Van der Tweel I, Schuit AJ, et al. Physical activity and breast cancer : a systematic review. *Epidemiology* 2007; 18 : 137-57.
- [7] Oguma Y, Sesso HD, Paffenbarger RS Jr, Lee IM. Physical activity and all cause mortality in women : a review of the evidence. *Br J Sports Med* 2002; 36 : 162-72.
- [8] Plan national de prévention par l'activité physique ou sportive, PNAPS, 2008. <http://www.sante-sports.gouv.fr/publications-documentation>
- [9] Kahn EB, Ramsey LT, Brownson RC, et al. The effectiveness of interventions to increase physical activity : a systematic review. *Am J Prev Med* 2002; 22 (suppl 4) : 73-107.
- [10] Fourastié J. *Les trente glorieuses*. Paris : Fayard, 1979.

7. EPODE est un programme de prévention santé lancé en 2004. Les notions de nutrition et de diversité alimentaire sont développées, et les jeux « actifs » et la découverte d'activités physiques ne relevant pas nécessairement d'une pratique sportive sont également promus.

PRÉSENTATION DE L'IReSP

L'Institut de Recherche en Santé Publique (IReSP) est un groupement d'intérêt scientifique créé en 2007 par une convention entre 24 partenaires, acteurs de la recherche en Santé Publique (voir ci-dessous). Son objectif général est de constituer une communauté scientifique de taille internationale capable de répondre au développement souhaité de la recherche en Santé Publique et de contribuer aux nouveaux dispositifs mis en place par la loi du 9 août 2004 relative à la politique de Santé Publique. Pour atteindre cet objectif, le GIS-IReSP s'appuie sur une mutualisation des compétences et des moyens de ses partenaires. Le GIS-IReSP est dirigé par Alfred Spira, médecin, épidémiologiste, professeur de Santé Publique et d'épidémiologie. Depuis mai 2008, l'IReSP s'intègre dans l'un des huit instituts thématiques de l'Inserm, l'Institut « Santé Publique ».

Les domaines de recherche soutenus sont les suivants :

- Fonctionnement du système de santé
- Politiques publiques et santé
- Interaction entre les déterminants de la santé

Les modalités d'actions du GIS sont :

- Lancement d'appels à projets ciblés
- Aide à l'émergence d'équipes de recherche
- Mutualisation d'outils pour la recherche en Santé Publique
- Constitution de groupes de travail sur des sujets émergents
- Aide à la mise en place et à l'exploitation de grandes enquêtes et de grandes bases de données
- Valorisation et communication

Afin de pallier le manque de visibilité des résultats de la recherche en Santé Publique en France, l'IReSP a décidé de créer ce bulletin trimestriel à large diffusion intitulé *Questions de Santé Publique*. Chaque trimestre, un sujet de recherche en Santé Publique intéressant le grand public est traité par un chercheur.

LES PARTENAIRES DE L'IReSP

Ministères (Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie associative [DGS et DREES], Ministère délégué à la Recherche), Opérateurs de la recherche en Santé Publique (CNRS, Inserm, IRD, INED, EHESP, UDESA, CPU, Institut Pasteur, CNAM, Sciences Po), Agences et opérateurs de la Santé Publique (InVS, HAS, AFSSAPS, AFSSSET, AFSSA, EFS, ABM, INPES, INCa), Organismes de protection sociale (CNAMTS, RSI, CNSA).

Cet article ainsi que les précédents numéros de *Questions de Santé Publique* sont téléchargeables sur le site internet de l'IReSP : www.iresp.net



Activités physiques ou sportives : quels bénéfices ? Quels risques ?

Les bénéfices pour la santé d'une activité physique régulière ou d'une reprise d'activité s'appliquent à tous : hommes ou femmes, jeunes ou vieux. Les études montrent une réduction moyenne de la mortalité de 30 % entre les plus actifs et les moins actifs. Une activité physique de 2 à 2,5 heures par semaine, d'intensité modérée à élevée, permet une diminution significative du risque de mortalité et de certaines pathologies. Ces bienfaits doivent être mis en balance avec le risque de survenue d'accidents, qui devrait être limité par des programmes de prévention.

Régression de la condition physique et progression de l'obésité

Hala Nassif
Nour El Helou
Jean-François Toussaint
Irmes, Insep,
Cims – Hôtel-Dieu et
université
Paris-Descartes

La sédentarité est un problème majeur de santé publique qui concerne les deux tiers de la population adulte et s'étend drastiquement aux générations suivantes. Elle peut mener au déconditionnement des principales fonctions de l'organisme [30, 38]. Chez l'enfant, l'augmentation de prévalence de l'obésité est reliée à la diminution de la condition physique, elle-même prédictive de l'activité physique à l'âge adulte [38].

Plusieurs études ont mis en évidence une baisse de la condition aérobie (endurance) des enfants et des adolescents dans le monde, tandis que les performances anaérobies (force, vitesse, puissance) augmentaient très modérément. Ce déclin des performances aérobies de l'enfant et de l'adolescent est associé à une augmentation de la prévalence du surpoids et de la masse grasse. Au cours de la deuxième moitié de

xx^e siècle, on observe ainsi un gain moyen de puissance de 0,35 % par décennie, contre une perte moyenne de 3,5 % des capacités aérobies : 10 fois plus de perte que de gain [10].

Un déconditionnement majeur

Les raisons de cette diminution d'activité sont en partie liées à notre mode de vie, car cette tendance à la sédentarité croissante est notée depuis le début du xx^e siècle. Facteur de risque de nombreuses maladies chroniques (cardio-vasculaires, métaboliques, cancéreuses, psychiques), ce processus de sédentarisation suit deux courbes de croissance : celle de la consommation globale d'énergie et en particulier celle du développement des transports motorisés, avec une dépendance quasi exclusive aux énergies fossiles qui limitent la dépense énergétique individuelle (figures 1 et 2). Le

développement de la communication, télévisuelle dans un premier temps, et informatique désormais, n'est pas non plus sans conséquences sur ce ralentissement.

Dans l'espèce humaine, le gradient de dépense énergétique va donc désormais de l'absence quasi complète de mouvements (les mobilités urbaines sont presque totalement passives), entraînant le déconditionnement des principales fonctions de l'organisme, jusqu'à l'exercice intensif soutenu 6 à 10 heures par jour tel que le pratiquent les athlètes de haut niveau. Dans les nations développées, la progression de la sédentarité accompagne l'essor de l'obésité et gagne l'ensemble des pays émergents à mesure de leur croissance économique et de l'intégration des transports motorisés dans leur schéma de développement. En France, la courbe d'activité physique accélère son déclin au xx^e siècle, avec la transition sociale et démographique qui voit passer en deux siècles le pourcentage d'emplois directement liés à l'agriculture de 65 à 4 %, tandis que celui du secteur tertiaire passe de 14 à 72 % [12, 30].

Le rapport entre santé et activités physiques ou sportives dépend de l'état sanitaire initial, de facteurs génétiques, de facteurs environnementaux, du volume ou de la fréquence de l'activité et de la période durant laquelle elle est pratiquée. Mais il dépend finalement peu du genre ou de l'âge : hommes ou femmes, jeunes ou vieux, les bénéfices d'une activité régulière ou d'une reprise d'activité s'appliquent à tous. La relation entre risque sanitaire et intensité de l'activité physique ou sportive trace une courbe en U, avec deux risques majeurs à chaque extrémité. D'un côté, celui d'une activité très intense, aux frontières de la physiologie avec ses risques traumatiques ou cardiaques, et de l'autre celui de l'inactivité totale et son cortège de maladies métaboliques, cancéreuses ou vasculaires. Entre ces deux risques, trop ou trop peu, la courbe passe par un minimum, qui définit l'objectif d'une reprise d'activité en population : un bénéfice optimal pour une intensité de pratique équilibrée.

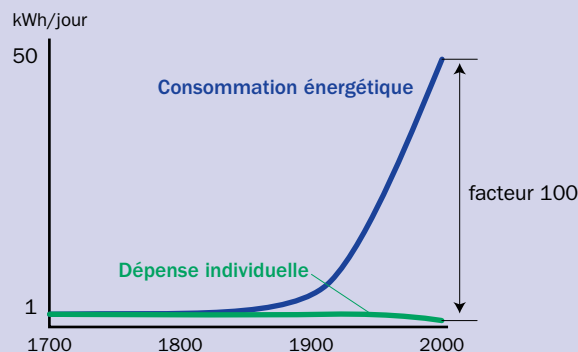
Des habitudes adoptées à vie

Par ailleurs, les bienfaits de l'activité physique pratiquée dans l'enfance se prolongent jusqu'à l'âge adulte, dont le niveau de pratique dépend souvent de la condition physique aux jeunes âges [10, 15, 26]. Mais le niveau d'activité physique moyen des enfants a considérablement diminué en quelques décennies, et les filles sont particulièrement touchées à l'adolescence [15].

La sédentarité durant l'adolescence favorise le développement de l'obésité à l'âge adulte ; elle conduit à un cercle vicieux de la diminution de l'activité physique, de la dépense énergétique et d'une augmentation de la masse grasse [26]. Il est donc essentiel de proposer des actions de promotion d'activité physique à tous les âges, mais surtout chez les enfants et les adolescents, dont les comportements établis pendant ces années maintiendront leur qualité de vie future.

figure 1

Courbes séculaires de la consommation énergétique et de la dépense individuelle quotidiennes

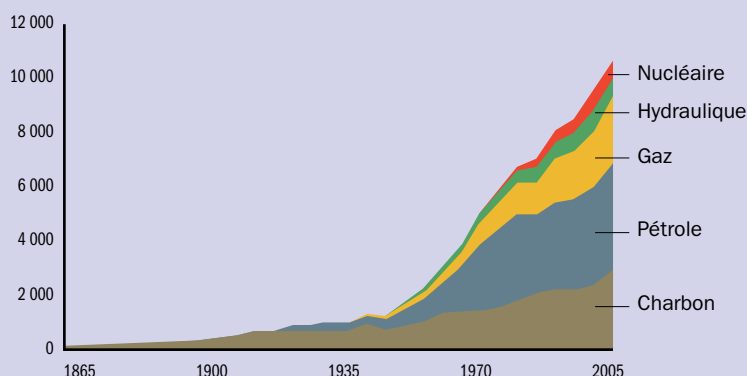


La réduction du temps « actif », liée au changement des activités professionnelles, est le résultat de la transition sociale (agricole à urbaine). Elle se traduit par une diminution d'un facteur 2 de la dépense énergétique (métabolisme basal + énergie occupationnelle : transport, métier...), mais s'accompagne d'une élévation d'un facteur 50 de la consommation énergétique (transport des personnes et des biens, chauffage et climatisation, production industrielle, dépenses de santé...). Partant de valeurs quasi égales (hors son bois de chauffage, chaque Français consomme au $xviii^e$ siècle ce que son organisme dépense « physiquement »), le rapport entre consommation et dépense individuelles est désormais d'un facteur cent.

Sources : Agence internationale de l'énergie et Jean Fourastié, *Les Trente Glorieuses*, Fayard, Paris.

figure 2

Courbe séculaire de la consommation énergétique mondiale (en millions de tonnes équivalent pétrole)



Sources : Agence internationale de l'énergie et Jean-Marc Jancovici : <http://www.manicore.com>.

La condition physique est définie comme la capacité d'accomplir les tâches quotidiennes avec rigueur et vitesse, sans fatigue excessive et avec suffisamment d'énergie en réserve pour profiter pleinement du temps consacré aux loisirs et faire face à des situations d'urgence. À ce titre, les enfants et les adolescents requièrent une attention particulière, favorisant la participation à des activités physiques qui leur procurent un plaisir et un bénéfice à long terme [30].

Les références
entre crochets renvoient
à la bibliographie p. 54.

Psychological Balance in High Level Athletes: Gender-Based Differences and Sport-Specific Patterns

Karine Schaal^{1*}, Muriel Tafflet^{1,2}, Hala Nassif^{1,3}, Valérie Thibault¹, Capucine Pichard^{1,4,5}, Mathieu Alcotte¹, Thibaut Guillet¹, Nour El Helou^{1,3}, Geoffroy Berthelot¹, Serge Simon⁴, Jean-François Toussaint^{1,3,6}

1 Institut de Recherche Bio-Médicale et Epidémiologique du Sport (IRMES), Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance (INSEP), Paris, France, **2** Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM), Unit 970, Paris, France, **3** Université Paris-Descartes, Paris, France, **4** Centre d'Accompagnement et de Prévention pour les Sportifs (CAPS), Centre Hospitalier Universitaire, Bordeaux, France, **5** Département Médical, Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance (INSEP) Paris, France, **6** Centre d'Investigations en Médecine du Sport (CIMS), Hôtel-Dieu, Assistance Publique des Hôpitaux de Paris, Paris, France

Abstract

Objectives: Few epidemiological studies have focused on the psychological health of high level athletes. This study aimed to identify the principal psychological problems encountered within French high level athletes, and the variations in their prevalence based on sex and the sport practiced.

Methods: Multivariate analyses were conducted on nationwide data obtained from the athletes' yearly psychological evaluations.

Results: A representative sample of 13% of the French athlete population was obtained. 17% of athletes have at least one ongoing or recent disorder, generalized anxiety disorder (GAD) being the most prevalent (6%), followed by non-specific eating disorders (4.2%). Overall, 20.2% of women had at least one psychopathology, against 15.1% in men. This female predominance applied to anxiety and eating disorders, depression, sleep problems and self-harming behaviors. The highest rates of GAD appeared in aesthetic sports (16.7% vs. 6.8% in other sports for men and 38.9% vs. 10.3% for women); the lowest prevalence was found in high risk sports athletes (3.0% vs. 3.5%). Eating disorders are most common among women in racing sports (14% vs. 9%), but for men were found mostly in combat sports (7% vs. 4.8%).

Discussion: This study highlights important differences in psychopathology between male and female athletes, demonstrating that the many sex-based differences reported in the general population apply to elite athletes. While the prevalence of psychological problems is no higher than in the general population, the variations in psychopathology in different sports suggest that specific constraints could influence the development of some disorders.

Citation: Schaal K, Tafflet M, Nassif H, Thibault V, Pichard C, et al. (2011) Psychological Balance in High Level Athletes: Gender-Based Differences and Sport-Specific Patterns. PLoS ONE 6(5): e19007. doi:10.1371/journal.pone.0019007

Editor: Monica Uddin, University of Michigan, United States of America

Received: November 8, 2010; **Accepted:** March 24, 2011; **Published:** May 4, 2011

Copyright: © 2011 Schaal et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Funding: The authors have no support or funding to report.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

* E-mail: karine.schaal@insep.fr

Introduction

With the development of applied sports psychology research over the past decades, increasing attention has been turned to the psychological well-being of elite athletes, who not only make colossal mental and physical investments into their sport, but also deal with tremendous pressures in order to succeed at the international level. For many, sports participation represents a recreational and social outlet as well as an effective method to cope with stress, and is well known to prevent the onset of many psychological problems such as depression [1–4] or anxiety disorders [2,4]. However, practicing a sport at the highest level offers an entirely different set of circumstances, representing a high pressure career replete with stressors and constraints. Some of the psychological issues encountered at the elite level and within particular sports have been studied in depth, and are sometimes highly mediated, such as depression and anxiety

stemming from season or career-ending injuries [5,6], disordered eating in women involved in weight-bearing or aesthetic sports [7,8] or the abuse of illegal performance-enhancing substances [9,10]. However, data on the overall psychological health of elite athletes is difficult to obtain at an epidemiological level, and the athletic populations studied instead are often high school or college sportsmen and women—most of whom never reach the high level. Findings from these studies may be difficult to apply to the elite athlete population, who, by a favorable combination of genetic predispositions, personality and environmental circumstances [11,12] added to relentless motivation and hard work, have been able to rise to the top in their sport. While the psychological resilience attributed to high level athletes [13] aids their ascension to the world stage and allows them to succeed where others are eliminated from the competition, this mental toughness does not imply complete immunity from psychopathology. Rather, even in relatively

resilient individuals, provided enough adverse circumstances are met, it is conceivable that the added pressures inherent to the high level could facilitate the development of psychological problems.

With the increased participation of women in high level sport, the study of gender differences in many facets of sport and exercise has bloomed as a field of research. While a large body of literature exists on the gender differences in psychopathology for the general population, such large scale psychological data on male and female elite athletes is scarce. The most striking gender disparities in psychopathology are preserved across populations, of different ages or income levels. Women are diagnosed with depression and anxiety disorders roughly twice as often as men [14–16] and suffer from eating disorders 6 to 10 times more often than men [17], while a notable male preponderance exists in alcohol abuse and dependence and externalizing disorders, such as alcohol and drug abuse [14,18,19]. It would therefore be reasonable to expect that even among elite athletes, these gender-based disparities would be observed.

To our knowledge, no published study has yet gathered data on the global psychological status of a large, nationally-representative sample of high-level athletes, from a wide range of Olympic sports, encompassing the most common psychological disorders as well as the social and personal factors likely to influence their occurrence. This study aims to bring forth the principal types of psychological disorders that are encountered within high level sport. The focus of the study is placed on the sex-specific vulnerabilities to particular disorders, and, because the practice of particular sports imposes some unique demands and stressors on athletes, we also explore the occurrence of psychopathology according to the type of sport played.

Methods

Ethics

The epidemiological data obtained for this study was collected by retrospectively pooling together results from the yearly psychological evaluations of high level athletes in France, which are mandatory by the law decree of June 16th, 2006. This study therefore used a research protocol qualified as non-interventional, in which “...all acts are performed in a normal manner, without any supplemental or unusual procedure of diagnosis or monitoring.” (article L1121-1 of the French public health code). According to the law, its approval therefore did not fall under the responsibility of a committee for the protection of persons (CPP). For these reasons, it was not necessary to obtain informed consent from the athletes previously evaluated. All data obtained from collaborating psychologists and physicians was anonymous, and none of the information relayed to the researchers could lead to the identification of any subjects. This study was designed and monitored by two committees: the IRMES (Institut de Recherche bioMédicale et Epidémiologique du Sport) scientific committee and a leading committee dedicated to the study.

Subjects and data collection

The athletes included in the study were registered on the French High Level or Junior athlete lists. High Level athletes are individuals selected by their sport's national federation for meeting specific performance criteria. Juniors are youth athletes at least 12 years old who are also officially recognized as already delivering strong performances in their age category at the national or international level. A data collection grid was created to standardize the reporting of findings from all athletes' yearly

psychological consultations nationwide. This form was not intended for use as a diagnostic tool or a questionnaire, but as a data collection sheet to be filled by the professional after each evaluation. Data was obtained on common psychological disorders, with detail on whether these disorders occurred in the past (over 6 months ago), were current (or recent, within the last 6 months), or either (lifetime occurrence). The following psychopathologies, were included in the report: anxiety disorders (panic attacks, agoraphobia, obsessive-compulsive disorder, generalized anxiety disorder (GAD, duration of at least 6 months) and social phobia); depression (differentiating between major depression and minor episodes by the number of symptoms, at least 2 for minor, and at least 5 for major depression) present over a two week period; eating disorders : anorexia nervosa, bulimia, and eating disorders not otherwise specified (EDNOS); suicidal thoughts and attempts; psychosis; substance abuse and dependence (nutritional supplements, tobacco, cannabis, alcohol, doping agents, psychoactive substances). Diagnoses were based upon DSM-IV or CIM 10 criteria.

Other associated problems were included, such as violent treatment received by the individual, in the verbal, physical, or sexual forms, as well as aggressiveness toward self (auto-aggressiveness) or others (hetero-aggressiveness). Insomnia symptoms (difficulty falling asleep, nocturnal waking, and daytime somnolence) were also assessed.

Socio-environmental factors with the potential of either strengthening or weakening each athlete's psychological well-being were evaluated; the personal and familial environment, athletic environment, academic or professional life, physical health and social life. Each factor was rated on a four point scale. The rating of “1” was considered as a risk factor for the development of psychopathologies, and “2, 3 or 4” as “not a risk factor”. Data was also collected on the athlete's age, sex, height and weight, competition level, type of training center, and the name of the professional performing the evaluation.

This form was sent to all official training centers in France hosting High Level or Junior athletes, and associated medical centers. Information was collected by the physician or psychologist in the training center of each athlete while respecting the rules of confidentiality. The forms were anonymous, and were sent to the IRMES for analysis once completed.

Data analysis

The presence of psychological disorders (Yes/No) were compared by gender, age (under 18, 18 to 21, and over 21 years of age), type of professional performing the evaluation (physician or psychologist), and geographical region (northwest, northeast, southwest, and southeast of France, and the greater Parisian area) using the Chi-square test, or Fisher's exact test when appropriate. As we focused specifically on the gender differences in psychopathology, a multivariate logistic regression was performed for each disorder adjusting for the potentially confounding factors previously mentioned. The prevalence of each disorder was calculated by dividing the number of individuals affected by the total number of individuals in the group (i.e. all athletes, or men only, women only).

We also compared the presence of the most common psychological disorders encountered in the study sample according to the type of sport played (and by sex) using the Chi-square test and Fisher's exact test. Due to the small number of individuals in many sports in the database, only those including ten or more athletes were included for this analysis. In order to achieve sufficient statistical power, the 36 sports included were grouped into seven categories, similar to those published elsewhere(8);

aesthetic, contact/combat, high risk, aiming and fine motor skill, racing, racquet, and team ball sports. We did not have sufficient statistical power to adjust these comparisons on age, type of professional or region.

Results

2067 athletes' evaluations were returned to IRMES between 2008 and 2009 and included in the analysis. With a total of 16013 High Level and Junior athletes registered on national lists, the sample represents 13% of this population. The proportion of male to female athletes included was representative of the nationwide proportion for high level sport (64.8% compared to 63.9% for men and 35.2% compared to 36.1% for women, respectively). The sample was also representative on the basis of age (18.5 ± 4.9 versus 19.8 ± 5.3 years), ranging from 12 to 35 years old. A similar proportion of athletes belonged to the Junior competition category (55.3 vs. 54.0%), but the High Level category was slightly underrepresented compared to the nationwide proportions (36.3 vs. 46%), likely due, in part, to 9.6% of the evaluations that failed to indicate the athletes' competition category.

The prevalence by sex and occurrence in time (current and lifetime) of each psychological disorder and associated problems included in the data form is presented in Table 1. At the time of their clinical evaluation, 83.1% of athletes did not have any recent or ongoing psychopathology. The 16.9% who did had a mean of 1.4 ± 0.7 disorders over the lifetime, showing several associations between disorders and other problems. Generalized anxiety disorder for instance was associated with major and minor depression, anorexia nervosa, bulimia nervosa and ED-NOS, cannabis abuse and difficulty falling asleep. In turn, major depression was linked to difficulty falling asleep, nocturnal waking, anxiety, being victim to verbal, physical or sexual abuse, alcohol consumption and abuse, and suicide attempts.

Regardless of age, type of professional or geographical location, women were 1.3 times more likely to be diagnosed with at least one psychopathology than men. While a similar proportion of men and women had only one disorder in their lifetime, more than twice as many women were diagnosed with 2 or more disorders than men (5.8 vs. 2.4% currently, and 13.0 vs. 5.6% over the lifetime). Younger age also impacted the prevalence of current psychopathology, with 15.1% of athletes aged 17 years or under showing at least one disorder, against 13.1% of athletes between 18 and 21 years old and 10.4% of athletes 22 years and over ($p = 0.04$).

Generalized anxiety was the most prevalent disorder found in men and women. A significant gender difference appeared in anxious pathologies, showing women as 56% more likely to have suffered from any anxiety disorder over their lifetime than men. A large majority (82.4%) of men diagnosed with generalized anxiety disorder had no other anxious disorders, while women were concomitantly diagnosed with OCD, agoraphobia or panic disorder significantly more often (44.3% of GAD cases).

Recent or ongoing depression was encountered in 3.6% of athletes, with 87% of cases classified as minor depression. Only 7 men and 6 women were diagnosed with recent or ongoing major depression. Compared to men, nearly twice as many women were found to have experienced minor and/or major episodes of depression over the lifetime. Age was also associated with ongoing major depression, affecting 2.2% of athletes over 21 years of age, 0.8% in 18 to 21 year olds, and 0.3% in athletes under 18 ($p = 0.02$).

Ongoing eating disorders were found in 4.9% of athletes, the vast majority classified as eating disorders not otherwise specified (ED-NOS). Only 3 athletes were diagnosed with ongoing anorexia nervosa, and 7 with bulimia nervosa. Women were significantly more likely than men to have or have had anorexia, bulimia, or an ED-NOS in their lifetime.

Relative to the total number of women and men diagnosed with generalized anxiety, depression, or an eating disorder, the occurrence of all 3 of these disorders over the lifetime was identified significantly more often in women than men (8.1% vs. 0.5% of cases, respectively).

Ongoing sleep problems were experienced by 21.5% of the athletes at the time of their evaluations, difficulty falling asleep being the most common. While difficulty falling asleep and nocturnal waking occurred more often in women, the prevalence of daytime somnolence was significantly greater in younger athletes (10.5% in 17 year-olds and less, versus 8.2% in 18 to 21 year olds and 3.3% in 22 year olds and up, respectively).

3% of athletes were found to be or to have been subjected to some form of violence, and no differences were found according to sex. Verbal harassment or aggressions was the most common type of violence that athletes experienced, followed by physical, then sexual forms of violence. Younger age was linked to increased exposure to verbal abuse, as it involved 7.4% of those aged 17 years and under but only 4.3% of the older athletes. 1.9% of athletes had had suicidal thoughts at some point in their life, women more often than men. 7 women and 3 men were found to have attempted suicide at some point. As expected, these 10 individuals had significantly more socio environmental risk factors and had several other issues; 8 had been depressed, 8 had been violence victims, 7 had an anxiety disorder, and 5 an eating disorder.

Alcohol was the substance whose consumption was the most reported, with 20.9% of athletes admitting to consuming alcohol at least rarely or occasionally. Men consumed alcohol and dietary supplements more often than women, and while greater age was associated with increased alcohol ($p = 0.04$) and tobacco ($p = 0.0001$) consumption, athletes aged between 18 and 21 years appeared as the most frequent cannabis consumers.

The type of professional performing the psychological evaluations caused a significant bias on the prevalence of psychopathology identified. Physicians detected one or more psychological disorders over the lifetime in 23% of women and 14% of men, compared to 34% and 28% of those evaluated by psychologists. Psychologists identified more "stand alone" disorders, while physicians and psychologists detected similar proportions of individuals having had 2 or more disorders. Since a slightly higher proportion of women were evaluated by psychologists than men (63.8 and 56.4% respectively), all gender comparisons were adjusted on the type of professional.

Table 2 shows the association between the presence of each socio-environmental risk factor and the presence of psychological problems over the lifetime. The presence of any socio-environmental risk factor was strongly associated with the occurrence of a psychological disorder over the lifetime in both sexes. Each risk factor was found more often in women. Further, among the athletes exposed to any of these risk factors, women were significantly more likely than men to have developed at least one disorder in their lifetime.

The occurrence of lifetime generalized anxiety disorder (GAD) according to the type of sport played is presented in Figure 1. Significantly higher rates of GAD were found in aesthetic sports (38.9 vs. 10.3% for women in all other sports, and 16.7 vs. 6.8% for men in all other sports, respectively). The

Table 1. Prevalence of psychological disorders and associated problems (%).

Psychological disorders and associated problems		Current (<6months)				Lifetime (all)			
		All	Men	Women		All	Men	Women	
At least one psychopathology		16.9	15.1	20.2	*	25.1	22.1	30.8	***
Anxiety disorders	At least one anxiety disorder	8.6	7.1	11.3	**	12.1	10.1	15.8	***
	Anxiété généralisée	6	5.2	7.5	†	8	6.8	10.3	**
	Troubles paniques	1.2	1.1	1.5		2.8	1.9	4.4	*
	Agoraphobie	1	0.8	1.4		1.8	1.3	2.9	*
	Troubles obsessionnels et compulsifs	1.6	1.2	2.3	†	1.7	1.5	2.3	
	Phobie sociale	0.8	0.8	0.8		1.3	1.2	1.2	
Depression	At least one depressive episode	3.6	2.6	4.9	†	11.3	8.7	16.3	***
	Episode dépressif mineur	3	2.4	4.1	†	9	6.9	13	***
	Episode dépressif majeur	0.7	0.6	0.9		2.6	2	3.5	†
Eating disorders	At least one eating disorder	4.9	4	6.5	†	7.5	5.5	11.2	***
	ED-NOS	4.3	3.6	5.9	†	6.2	4.8	9	**
	Anorexia nervosa	0.2	0.2	0.2		1.1	0.5	2.1	**
	Bulimia nervosa	0.4	0.2	0.6		1.4	0.7	2.6	**
Sleep problems (>15 days)	At least one sleep problem	21.5	20.2	23.9	†	26.6	24.6	30.3	**
	Difficulty falling asleep	13.4	11.8	16.5	**	17.7	15.6	21.5	**
	Night time waking	7.6	6.1	10.4	***	10.1	8.1	14	***
	Daytime drowsiness	7.5	7.3	7.9		8.3	8	9.3	
Violence received by others	At least one form of violence	3	2.8	3.3		8.8	8.4	9.5	
	Verbal violence	2.7	2.6	2.8		7	7	7	
	Physical violence	0.5	0.6	0.4		3.3	3.8	2.3	†
	Sexual violence	0.2	0	0.5		0.8	0.4	1.8	**
Violence inflicted to self or others	Auto-agressiveness	0.8	0.8	0.9		1.8	1.2	2.9	*
	Hetero-agressiveness	2.3	2.9	1.2	**	4	5.1	2	**
Psychosis	Delirious ideas, hallucinations, other	0.2	0.2	0.1		0.4	0.5	0.1	
Suicidal thoughts and attempts	Suicidal thoughts	0.6	0.3	1.2	*	1.9	1	3.8	***
	Suicide attempts	0.3	0.12	0.6		0.5	0.2	1.1	*
Substance consumption, abuse and dependence	Abuse or dependence-any substance	-	-	-		4.1	4.2	4	
	Alcohol consumption	20.9	22.8	17.4	***	22.4	24.6	18.5	***
	Tobacco consumption	4.8	4.7	5		6.3	6.3	6.4	
	Cannabis consumption	1.1	1.3	0.9		3.4	3.6	3.1	
	Dietary supplements consumption	11.5	13.2	7.7	**	15.9	18.2	10.9	***
	Illegal perf.-enhancing substances	0.4	0.6	0.2		0.9	1.0	0.6	

Significant difference between men and women;

†, $p < 0.1$,*, $p < 0.05$,**, $p < 0.01$,***, $p < 0.001$ (multivariate analysis, adjusted on age, professional and geographical location).

doi:10.1371/journal.pone.0019007.t001

gender difference in the prevalence of GAD remained significant within aesthetic sports. High risk sports had the lowest prevalence of GAD for both women and men (3.5 and 3.0% respectively).

The prevalence of depression and sleep problems according to the type of sport practiced followed the trend observed with GAD (Figures 2 and 3). The lifetime occurrence of at least one period of depression was highest in aesthetic sports (24.2%), followed by aiming and fine motor skills sports (18.2%). The rate of depression was significantly lower in team ball sports (8.1%), and with 7.4%, high risk sports showed the lowest prevalence of depression, but did not reach significance ($p = 0.19$ according to

the Chi square test) due to the low numbers of athletes. Sleep problems were also more prevalent in aesthetic sports (33.3%), while athletes in high risk sports had significantly less sleep issues than the rest.

The lifetime occurrence of any eating disorder showed different sport-specific trends in men and women. The highest rates of eating disorders were found in women involved in racing sports and fine motor skills sports, while those playing team ball sports had the lowest occurrence of such problems (14, 14 and 5.8% respectively). For male athletes however, participation in combat and contact sports showed the highest prevalence of eating disorders (7.3%).

Table 2. Prevalence of at least one psychopathology over the lifetime in athletes with and without socio-environmental risk factors.

Socio-environmental factors	Risk factor?	Athletes, %	Athletes within each level of risk with ≥ 1 psychological disorder, %			
			Men		Women	
Personal and family life	At risk	2.4	46	††	84.2	†† **
	Not at risk	98.0	16.5		26.9	***
Sport environment	At risk	1.6	62.5	††	73.3	††
	Not at risk	98.5	20.6		27.6	***
Scholastic and professional life	At risk	3.6	43.1	††	63.2	††
	Not at risk	96.6	23.1		27.7	*
Physical health	At risk	3.4	48.8	††	76.9	†† *
	Not at risk	96.7	20.3		26.7	**
Social life	At risk	0.8	50	†	66.7	†
	Not at risk	99.2	21		28.1	***

Significant difference in the prevalence of psychopathology between athletes with or without the risk factor:

† $p < 0.05$,

††, $p < 0.001$.

Significant difference between men and women:

*, $p < 0.05$;

**, $p < 0.01$,

***, $p < 0.001$.

doi:10.1371/journal.pone.0019007.t002

Discussion

This study brings forth two important themes of psychology in elite sport. First, the gender-based differences in psychopathology demonstrated here agree with findings from other epidemiological studies performed on the general population [14–17,20,21]. Elite female athletes are more likely to be diagnosed with a psychological problem than men, and appear more susceptible to difficulties encountered in their environment than their male counterparts. Secondly, important variations in these occurrences according to the type of sport practiced are brought forth, conveying that the demands and pressures associated with the

practice of a particular sport may act as one of the significant socio-environmental risk factors which, if combined with a particular personality and genetic predisposition, could facilitate the development of some disorders.

GAD is the principal psychological issue encountered in both genders. Characterized by excessive, difficult to control worrying that disrupts daily functioning, this disorder usually becomes full blown in late adolescence or early adulthood, showing both cognitive and physical symptoms. In the general population, anxiety disorders have a high comorbidity with other psychopathologies, such as major depression, eating disorders, substance abuse and drug addiction [15], and an array of long-term psycho-

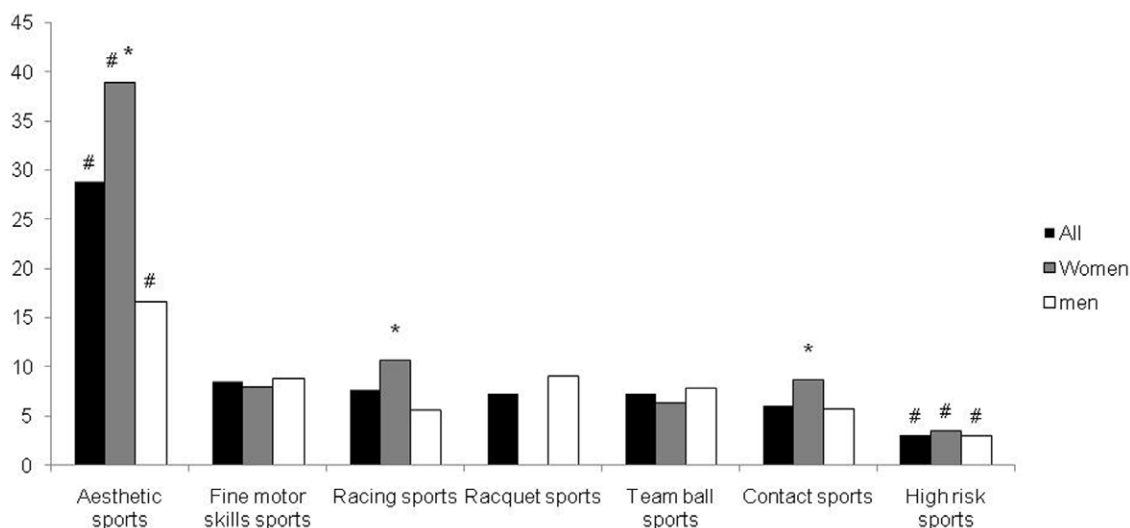


Figure 1. Lifetime prevalence (%) of generalized anxiety by type of sport played. #, significant difference with all other sports ($p < 0.05$). *, significant difference between men and women ($p < 0.05$).

doi:10.1371/journal.pone.0019007.g001

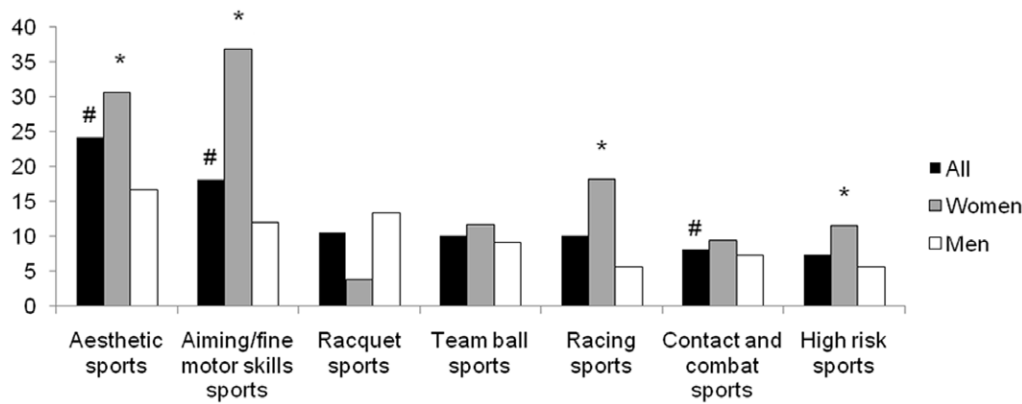


Figure 2. Lifetime prevalence (%) of minor or major depression according to the type of sport practiced. #, significant difference with all other sports ($p < 0.05$). *, significant difference between men and women ($p < 0.05$).
doi:10.1371/journal.pone.0019007.g002

physiological consequences that are often closely intertwined. Such associations between anxiety and other disorders are demonstrated here in elite athletes. The 3:2 women to men ratio found for GAD in this study resembles that usually reported in large population studies [14,22]. Researchers have proposed explanations for this female predominance in anxious disorders at the genetic, physiological, and socio-environmental levels [23]. From a hormonal perspective, one proposed mechanism involves the gene expression of corticotropin releasing factor (CRF), a neurohormone which initiates the autonomic and cognitive response to stress, and which is directly regulated by estrogen [24]. CRF acts on the locus ceruleus (LC), a brain center known to regulate emotional arousal via the secretion of norepinephrine. The excessive activity of CRF and LC systems is considered a major component underlying the development of stress related disorders like depression and anxiety. Bangasser et al. [25] demonstrated that the activation of the CRF and LC-norepinephrine systems occurred in response to subthreshold stressors in female compared to male rats, reinforcing the concept of sexual dimorphism in physiological stress reactivity.

From the psychosocial perspective, it is thought that women's biological tendencies for increased worrying are often strongly reinforced by gender-norms socialization throughout their development [25]. Regardless of their relative influence, the predominance of women suffering from anxious or affective disorders is most likely due to a combination of these fundamental differences at the biological and psychosocial level.

Finding generalized anxiety as the most prevalent disorder in both male and female athletes does not come as a surprise. The age range of athletes (adolescence and early adulthood) corresponds to that during which the highest rates of anxiety are usually found; Leray et al. [15] found that in the French population, about 12.8% of individuals had GAD, with the highest rates found in 18 to 34 year-olds (14.3%). Just as unsatisfactory school performance is often a source of anxiety in adolescents [26], it is easily conceivable that the pressure to excel within their sport could present a risk factor in high level athletes; especially if a large discrepancy exists between the desired or imposed goals and actual performance, and thus becomes a source of excessive worry. Yet despite the pressures inherent to high level sport, the overall

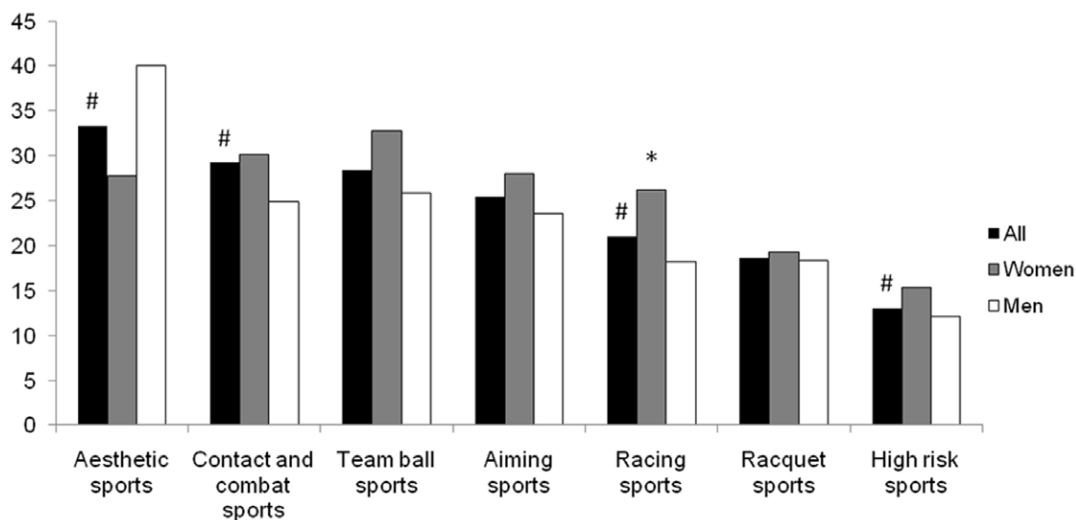


Figure 3. Lifetime prevalence (%) of all sleep problems according to type of sport played. #, significant difference from all other sports ($p < 0.05$). *, significant difference between men and women ($p < 0.05$).
doi:10.1371/journal.pone.0019007.g003

prevalence of GAD in athletes appears no higher than in the population.

Our results support the notion that the particular constraints associated with specific types of sports might play a role in the development of GAD. The greatest prevalence of this disorder is found here in athletes practicing aesthetic sports; gymnastics, synchronized swimming and figure skating. This raises an interesting point regarding the possible psychological repercussions of being so highly invested in a sport in which success is heavily dependent upon judgement by others - jury members, coaches, or even teammates - and the pressure to deliver a 'perfect' performance is therefore tremendous [27]. At the highest levels of competition, differences in the quality of each performance can be extremely small, and obtaining a medal or finishing last can be decided by fractions of a point. Although trained to score objectively, judges can be inconsistent or affected by a number of factors, including the nationality of the athlete, political inclinations, or even the public effect, to name a few [28,29]. In a study by Kerr et al. [30] elite gymnasts have expressed the feeling of "lacking control, not only over the ultimate outcome of their performances, but also many other aspects of their careers". The sense of powerlessness in important aspects of life is well documented as one of the triggering factors for anxiety disorders and depression [30–32]. The tremendous competition-related state anxiety in judged aesthetic sports should certainly not be confused with pathological anxiety. However, it has been speculated that one can evolve into the other in athletes who show "negative perfectionism", in that their self esteem is largely based upon competence aspects and success in their endeavours [28,33]. We speculate that these characteristics, combined with the specific pressures of judged sports, may help to explain the high occurrence rate of GAD in these athletes.

On the other end of the spectrum, high risk sports, which include sliding sports, aerial sports and motor sports, show the lowest rates of GAD. These sports all share the very high risk of lethal accidents inherent to each performance [34,35]. Commonly referred to as "thrill seekers", individuals such as high risk sports participants may need higher levels of stimulation in order to compensate for a chronic deficit in basal arousal [36,37]. In addition, it could be argued that these elite high risk sports athletes may have a better propensity to cope with stress or to deal with fearful situations, sometimes through an "optimistic bias" [38]. In light of this, the low GAD rates found in our study could support the interpretation that individuals with anxious predispositions, excessive worriers unable to manage fear and stress well, would be very unlikely to practice such dangerous sports.

If the prevalence of GAD resembles that of the population, the rate of major depression, the most widely diagnosed and costliest mental health problem encountered in many countries, is by comparison very low within the high level athlete population. In spite of this, the 2:1 women to men ratio consistently reported in population studies [14,22] was preserved in the athlete population. As for anxiety disorders, this phenomenon is partially affected by the manner in which men and women express their symptoms, and women's greater willingness to talk about them [39]; the social stigma of weakness associated with depression also makes men less likely to seek help from a professional than women.

In addition to these social differences, the female preponderance in depression also appears to share some of the same biological origins as anxiety disorders, and is thought to be a secondary effect to women's predominance in anxiety disorders. Parker et al. [16] have reported that both female sex and preceding GAD contribute significantly to the development of major depression, with GAD being the stronger contributor of the two.

In a large study, Alonso et al. [14] found a lifetime prevalence of major depression of 12.8%, and a 12-month prevalence of 3.9%, with the greatest rates found in 18 to 24 year olds. Our results indicate that less than 1% of athletes were suffering from major depression within the 6 months leading up to their evaluation, and 2.6% over the lifetime. Even though we may only loosely compare the prevalence of depression across population studies, the tremendous difference between that found within our sample population and those of the greater population is noteworthy and encouraging for high level sport.

The literature already strongly supports the anti-depressive benefits of physical exercise [1], and our results show that lower depression rates are also found within high level sport. Despite the increased pressures and constraints exerted upon elite athletes relative to those in recreational sports, the former could potentially be more resilient to stressors that would otherwise trigger depression symptoms in many individuals. Elite athletes are characterized by their peers as strongly optimistic and able to adapt and even thrive under pressure [13]. As researchers are determining which genes may confer physiological or physical advantages to elite athletes [11,12], the same concept could be studied for psychological resilience in these individuals. Gene polymorphisms have been identified which confer either resilience or vulnerability to stress, fear, and in turn, the development of depression [40–42]. While we have not measured resilience or adaptability, the low prevalence of major depression in this group incites us to consider that psychological resilience could be part of many elite athletes' genetic attributes.

The trends in lifetime depression by type of sport practiced followed, as expected, those seen for GAD, since the two disorders were closely associated in men and women. The higher prevalence of depression in aesthetic sports athletes reinforces the idea of a greater "psychological toll" within these jury-based disciplines.

The majority (86%) of eating disorders encountered in this study were classified as EDNOS. The percentages of athletes with anorexia or bulimia nervosa, are similar to those obtained on a large sample of the European population aged 18 to 29 years [17]. However, the 2:1 women to men ratio was smaller in this study than those reported in the population (between 6:1 and 10:1) [8,17]. This could be due in part to a higher number of male athletes displaying minor disordered eating in sports with weight category constraints.

As expected, the prevalence of disordered eating varied widely according to the type of sport practiced, likely reflecting the constraints inherent to each type of discipline. While women in racing sports (particularly track and field, a weight-bearing sport) and aiming/fine motor skill sports were more affected by disordered eating than in other sports, women in team ball sports, racquet sports and aesthetic sports fared the best in that area. While much concern exists over disordered eating in this population [7,8,43–45], more recent research by Klinkowski et al. [46] found that despite their often extremely thin physique, rhythmic gymnasts did not share the psychopathological features of anorexic patients.

For men, the practice of contact and combat sports was associated with the highest prevalence of disordered eating. The literature provides ample documentation on inappropriate dieting behaviors associated with weight class sports [47–50]. While many of these dieting practices in weight-class sports are unhealthy and should be discouraged, it is also important to recognize that many high level weight-class athletes do not suffer from a true, psychopathological eating disorder. Once the performance-specific pressure to drop weight is removed, at the end of a season for instance, most athletes regain normal dietary habits, and do not

show the psychological distress and preoccupation with weight indicative of a psychopathology [47,48].

An important goal behind the nationwide implementation of a psychological follow-up for high-level athletes consisted of identifying socio-environmental risk and protection factors that could influence the psychological well-being of each individual. The strong link that emerged between these factors and the presence of psychopathology strengthens the concept that particular attention should be paid to the well-being of athletes by ensuring that adequate social or professional support remains accessible.

Our study encountered a few of the limitations typically associated with epidemiological studies. The professional bias induced by the fact that 61% of athletes were seen by psychologists and 38% by physicians probably resulted in lower rates of psychopathology than would have been reported by psychologists only. Even though psychologists identified more athletes with one disorder, physicians found as many individuals with 2 or more disorders as psychologists. This could be partially due to differing sensitivities for recognizing disorders that may difficult to diagnose. For instance, among eating disorders, psychologists diagnosed more EDNOS, minor EDs, than physicians, but physicians identified anorexia and bulimia as often as psychologists. In the realm of high level sport, the fear of stigmatization for psychological problems could be especially strong; elite athletes work extremely hard to excel, and might therefore be particularly unwilling to disclose anything that could reveal emotional or mental fragility. Despite these limitations, our study had the merit of being based on in-person consultations by health professionals.

This study is the first to examine the prevalence of the major types of psychopathology over a nationwide sample of high level athletes; the results obtained are encouraging, as they assert the psychological balance of this population despite the stress imposed by athletic careers. The expected sex-based differences in the prevalence of various disorders are demonstrated, showing that the

sex-specific trends in psychopathology resemble those of the population at large. The practice of a sport at the high level, in itself, does not appear psychopathogenic, since the prevalence of psychopathology identified is no higher than in the general population. Rather, it is the presence of very particular stressors, such as problems in the athletes' social, personal and sporting environment that is associated with psychopathology. Psychological issues and the stressors from which they stem should be addressed early, in order to help avoid the development of a full-blown disorder and its potential consequences on the athletes' health and career.

Acknowledgments

We would like to thank all of the psychologists and physicians who collaborated with the IRMES since 2007 and helped us to gather data from the psychological evaluations of high level athletes: E. Rosnet, E. Mangon, I. Inchauspé, J.M. Sene, C. Chalopin, O. Laigneau, P. Mouret, S. Ruffio-Thery, J. Girardin, I. Chevrier, J. Rougier, A. Favre, L. Desmurget, L. Hennebaut, S. Gimenez, M. Bonnier, C. Doé de Maindreville, B. Brunet, C. Quignon-Fleuret, M. Salmi, J.C. Guibert, M. Guinaudeau, E. Chedhomme, K. Reperant, M. Paquinet, Y. Guillot, A. Merllie, N. Crepin, B. Blanchard, E. Volle, D. Vassal, D. Gutierrez, M.P. Mazière, F. Pelletier, B. Sesboué, F. Granet, Y. Hervouet des Forges, D. Rousseau, O. Coste, A. Frey and the many other health professionals who participated. We would also like to thank the INSEP teams for their full support.

Author Contributions

Conceived and designed the experiments: MT JF-T. Performed the experiments: MT KS SS JF-T CP. Analyzed the data: MT KS HN VT NEH CP MA TG. Wrote the paper: KS JF-T. Reviewed and proofread the manuscript: SS GB.

References

- Lawlor DA, Hopker SW (2001) The effectiveness of exercise as an intervention in the management of depression: systematic review and meta-regression analysis of randomised controlled trials. *BMJ* 322: 763–767.
- Petruzzello SJ, Landers DM, Hatfield BD, Kubitz KA, Salazar W (1991) A meta-analysis on the anxiety-reducing effects of acute and chronic exercise. Outcomes and mechanisms. *Sports Med* 11: 143–182.
- Scully D, Kremer J, Meade MM, Graham R, Dudgeon K (1998) Physical exercise and psychological well being: a critical review. *Br J Sports Med* 32: 111–120.
- Wipfli BM, Rethorst CD, Landers DM (2008) The anxiolytic effects of exercise: a meta-analysis of randomized trials and dose-response analysis. *J Sport Exerc Psychol* 30: 392–410.
- Johnson U (1997) Coping strategies among long-term injured competitive athletes. A study of 81 men and women in team and individual sports. *Scand J Med Sci Sports* 7: 367–372.
- Leddy MH, Lambert MJ, Ogles BM (1994) Psychological consequences of athletic injury among high-level competitors. *Res Q Exerc Sport* 65: 347–354.
- Smolak L, Murnen SK, Ruble AE (2000) Female athletes and eating problems: a meta-analysis. *Int J Eat Disord* 27: 371–380.
- Sundgot-Borgen J, Torstveit MK (2004) Prevalence of eating disorders in elite athletes is higher than in the general population. *Clin J Sport Med* 14: 25–32.
- Holt RIG, Sönksen PH (2008) Growth hormone, IGF-I and insulin and their abuse in sport. *Br J Pharmacol* 154: 542–556.
- Kondro W (2003) Athletes' "designer steroid" leads to widening scandal. *Lancet* 362: 1466.
- Lucia A, Morán M, Zihong H, Ruiz JR (2010) Elite athletes: are the genes the champions? *Int J Sports Physiol Perform* 5: 98–102.
- MacArthur DG, North KN (2005) Genes and human elite athletic performance. *Hum Genet* 116: 331–339.
- Connaughton D, Wadey R, Hanton S, Jones G (2008) The development and maintenance of mental toughness: perceptions of elite performers. *J Sports Sci* 26: 83–95.
- Alonso J, Angermeyer MC, Bernert S, Bruffaerts R, Brugha TS, et al. (2004) Prevalence of mental disorders in Europe: results from the European Study of the Epidemiology of Mental Disorders (ESEMeD) project. *Acta Psychiatr Scand Suppl*. pp 21–27.
- Leray E, Camara A, Drapier D, Riou F, Bougeant N, et al. (2010) Prevalence, characteristics and comorbidities of anxiety disorders in France: Results from the "Mental Health in General Population" Survey (MHGP). In press. *Eur Psychiatry*.
- Parker G, Hadzi-Pavlovic D (2001) Is any female preponderance in depression secondary to a primary female preponderance in anxiety disorders? *Acta Psychiatr Scand* 103: 252–256.
- Preti A, Girolamo GD, Vilagut G, Alonso J, Graaf RD, et al. (2009) The epidemiology of eating disorders in six European countries: results of the ESEMeD-WMH project. *J Psychiatr Res* 43: 1125–1132.
- Hicks BM, Blonigen DM, Kramer MD, Krueger RF, Patrick CJ, et al. (2007) Gender differences and developmental change in externalizing disorders from late adolescence to early adulthood: A longitudinal twin study. *J Abnorm Psychol* 116: 433–447.
- López-Soler C, Castro Sáez M, Alcántara López M, Fernández Fernández V, López Pina JA (2009) Prevalence and characteristics of externalizing symptoms in childhood. Gender differences. *Psicothema* 21: 353–358.
- Beck F, Guibert P, Gautier A (2007) Baromètre santé 2005: 608.
- Kovess-Masfety V, Briffault X, Sapinho D (2009) Prevalence, risk factors, and use of health care in depression: a survey in a large region of France between 1991 and 2005. *Can J Psychiatry* 54: 701–709.
- Wittchen HU, Zhao S, Kessler RC, Eaton WW (1994) DSM-III-R generalized anxiety disorder in the National Comorbidity Survey. *Arch Gen Psychiatry* 51: 355–364.
- McLean CP, Anderson ER (2009) Brave men and timid women? A review of the gender differences in fear and anxiety. *Clin Psychol Rev* 29: 496–505.
- Vamvakopoulos NV (1995) Sexual dimorphism of stress response and immune/inflammatory reaction: the corticotropin releasing hormone perspective. *Mediators Inflamm* 4: 163–174.
- Bangasser DA, Curtis A, Reyes BAS, Bethea TT, Parastatidis I, et al. (2010) Sex differences in corticotropin-releasing factor receptor signaling and trafficking: potential role in female vulnerability to stress-related psychopathology. *Mol Psychiatry*.

26. Pomerantz EM, Ruble DN (1998) The role of maternal control in the development of sex differences in child self-evaluative factors. *Child Dev* 69: 458–478.
27. Masi G, Millepiedi S, Mucci M, Poli P, Bertini N, et al. (2004) Generalized anxiety disorder in referred children and adolescents. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 43: 752–760.
28. Koivula N, Hassmen P, Fallby J (2002) Self-esteem and perfectionism in elite athletes: effects on competitive anxiety and self-confidence. *Personality and Individual Differences* 32: 865–875.
29. Looney MA (2004) Evaluating judge performance in sport. *J Appl Meas* 5: 31–47.
30. Kerr G, Goss J (1997) Personal control in elite gymnasts: the relationships between locus of control, self-esteem and trait anxiety. *Journal of Sport Behavior* 20: 69–82.
31. Hoehn-Saric R, McLeod DR (1985) Locus of control in chronic anxiety disorders. *Acta Psychiatr Scand* 72: 529–535.
32. Kendler KS, Hettema JM, Butera F, Gardner CO, Prescott CA (2003) Life event dimensions of loss, humiliation, entrapment, and danger in the prediction of onsets of major depression and generalized anxiety. *Arch Gen Psychiatry* 60: 789–796.
33. Flett GL, Hewitt PL, Blankstein KR, Gray L (1998) Psychological distress and the frequency of perfectionistic thinking. *J Pers Soc Psychol* 75: 1363–1381.
34. Burtcher M, Nachbauer W, Schrocksnadel P (1997) Risk of traumatic death during downhill skiing compared with that during mountaineering, skiing trauma and safety. *ASTM STP* 1289: 23–29.
35. Fuller CW (2007) Managing the risk of injury in sport. *Clin J Sport Med* 17: 182–187.
36. Carton S, Morand P, Bungenera C, Jouvent R (1995) Sensation-seeking and emotional disturbances in depression: relationships and evolution. *J Affect Disord* 34: 219–225.
37. Michel G, Carton S, Jouvent R (1997) Sensation seeking and anhedonia in risk taking. Study of a population of bungee jumpers. *Encephale* 23: 403–411.
38. Larkin M, Griffiths M (2004) Dangerous sports and recreational drug-use: rationalizing and contextualizing risk. *J Commun & Appl Soc Psychol* 14: 215–232.
39. Wilhelm K, Parker G (1994) Sex differences in lifetime depression rates: fact or artefact? *Psychol Med* 24: 97–111.
40. Hariri AR, Drabant EM, Munoz KE, Kolachana BS, Mattay VS, et al. (2005) A susceptibility gene for affective disorders and the response of the human amygdala. *Arch Gen Psychiatry* 62: 146–152.
41. Pezawas L, Meyer-Lindenberg A, Drabant EM, Verchinski BA, Munoz KE, et al. (2005) 5-HTTLPR polymorphism impacts human cingulate-amygdala interactions: a genetic susceptibility mechanism for depression. *Nat Neurosci* 8: 828–834.
42. de Kloet ER, Joëls M, Holsboer F (2005) Stress and the brain: from adaptation to disease. *Nat Rev Neurosci* 6: 463–475.
43. Byrne S, McLean N (2001) Eating disorders in athletes: a review of the literature. *J Sci Med Sport* 4: 145–159.
44. Ferrand C, Magnan C, Philippe RA (2005) Body-esteem, body mass index, and risk for disordered eating among adolescents in synchronized swimming. *Percept Mot Skills* 101: 877–884.
45. Byrne S, McLean N (2002) Elite athletes: effects of the pressure to be thin. *J Sci Med Sport* 5: 80–94.
46. Klinkowski N, Korte A, Pfeiffer E, Lehmkuhl U, Salbach-Andrae H (2008) Psychopathology in elite rhythmic gymnasts and anorexia nervosa patients. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 17: 108–113.
47. Dale KS, Landers DM (1999) Weight control in wrestling: eating disorders or disordered eating? *Med Sci Sports Exerc* 31: 1382–1389.
48. Lakin JA, Steen SN, Oppliger RA (1990) Eating behaviors, weight loss methods, and nutrition practices among high school wrestlers. *J Community Health Nurs* 7: 223–234.
49. Oppliger RA, Landry GL, Foster SW, Lambrecht AC (1993) Bulimic behaviors among interscholastic wrestlers: a statewide survey. *Pediatrics* 91: 826–831.
50. Oppliger RA, Steen SAN, Scott JR (2003) Weight loss practices of college wrestlers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 13: 29–46.

Success and Decline: Top 10 Tennis Players Follow a Biphasic Course

MARION GUILLAUME^{1,2}, STEPHANE LEN^{1,2}, MURIEL TAFFLET^{1,2,3}, LAURENT QUINQUIS^{1,2},
BERNARD MONTALVAN⁴, KARINE SCHAAL^{1,2}, HALA NASSIF^{1,2,5}, FRANÇOIS DENIS DESGORCES^{1,2,5},
and JEAN-FRANÇOIS TOUSSAINT^{1,2,5,6}

¹Institute for Biomedical and Epidemiological Research in Sport, Paris, FRANCE; ²National Institute of Sports Expertise and Performance, Paris, FRANCE; ³National Institute of Health and Medical Research, Paris, FRANCE; ⁴French Tennis Federation, Paris, FRANCE; ⁵Paris-Descartes University, Paris, FRANCE; and ⁶Center for Sports Medicine Research, Hôtel-Dieu, Publics Assistance Paris Hospitals of Paris, Paris, FRANCE

ABSTRACT

GUILLAUME, M., S. LEN, M. TAFFLET, L. QUINQUIS, B. MONTALVAN, K. SCHAAL, H. NASSIF, F. D. DESGORCES, and J. TOUSSAINT. Success and Decline: Top 10 Tennis Players Follow a Biphasic Course. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 43, No. 11, pp. 00–00, 2011. **Introduction:** The victory percentages for tennis players who entered the top 10 women and men rankings show various evolutions related to age and time since 1968. **Methods:** The study analyzed the careers of all top 10 players: 97 women (50,933 matches) and 144 men (92,450 matches). For each player, we describe a biphasic performance course. Two generations were compared: the first one (G₁), including players who started their professional career before 1985, and the second one (G₂), with players starting after 1985. **Results:** The average career length is 16.1 ± 3.8 yr for the top 10 men and 15.8 ± 4.4 yr for women. Compared with G₁ players, G₂ players begin earlier (women = 1.3 yr, men = 0.8 yr), but career length remains the same. An exponential model describes the time course of the victory percentage with a great similarity for both genders. Using this equation, the peak victory rate reaches 82.5% at 21.5 yr for number 1 (no. 1) women and 78.5% at 23.7 yr for no. 1 men, showing a greater precocity and earlier decline in women. Finally, the area under the curve shows a potential that is 22.8% (men) to 56.8% (women) larger for the no. 1 players as compared with all other numbers 2–10. **Conclusions:** Tennis players in the top 10 show a biphasic career. Women reach their highest level earlier than men, consistent with their more precocious biological development. For the current generation, the peak performance tends toward a younger age than the first generation. We show how to precisely quantify and compare tennis performances using indicators that follow the trends of development and aging and demonstrate that precocity does not provide a larger victory potential. **Key Words:** PHYSIOLOGY, PRECOCITY, PEAK PERFORMANCE, GENDER GAP, GENERATION GAP

AQ1

Since the beginning of the Open era, the tournaments of the WTA (Women's Tennis Association) and ATP (Association of Tennis Professionals) have constantly produced tennis legends and mythical confrontations. "If you can meet with Triumph and Disaster and treat those two imposters just the same" (15) is written on the wall of the Centre Court players' entrance at Wimbledon. And in the July 2008 Wimbledon final, Rafael Nadal defeated Roger Federer in his garden, before becoming number 1 (no. 1). He was 22 yr old and in full upward progression, whereas Roger Federer at 27 began to show slight signs of performance decline.

This most recent transfer of power illustrated that tennis, as many other disciplines, obeys a law of progression and regression (7,18,22) that no. 1 players successively experience. The cycle begins with the first professional match and shows a progression, which reflects the development of the player's capabilities until a peak is reached. Then, performances start to slowly decrease over the years until the player chooses to quit. However, the exact evolution of a tennis career results from the expression of several events: among them, the date of entrance on the professional circuit, the prevalence of injury (24), and age at retirement. It could also depend on unknown predisposition, training volume, technical development, and media coverage, which may have introduced differences between generations (12,25). Intensive training at a young age can lead to a higher prevalence of injury (4). Lastly, the McCann Precocity–Longevity hypothesis states that "that those who reach career peaks earlier tend to have shorter lives" (19), suggesting that the effects of an early success may act negatively on long-term health parameters (1,20), and it incites us to question the early recruitment of the new players' generation and measure its effect.

AQ2 Address for correspondence: Marion Guillaume, 11, avenue du Tremblay, 75012 Paris, France; E-mail: irmes@insep.fr.
Submitted for publication February 2011.
Accepted for publication April 2011.

0195-9131/11/4311-0000/0
MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE®
Copyright © 2011 by the American College of Sports Medicine
DOI: 10.1249/MSS.0b013e31821eb533

Previous studies have highlighted the effect of age on human physical capacities and have sought to determine the optimum age for certain human biological functions (3,16,27) or activities such as athletics or swimming (7,22,25,28). Some studies showed a common physiological pattern of growth and decline (7,18,22). In this study, we analyze a large pool of tennis players and show a similar time course common to most players, using a new indicator: the percentage of matches won relative to age. Athletes' rankings have also been used as an indicator of performance (12,25), but the point systems of ATP and WTA have evolved several times since 1968 (5,14,26). The victory percentage is more stable and remains consistent during the whole Open era. Furthermore, a player may remain in the ranking while he reduces his physical investment—i.e., the physical number of yearly played matches. The point systems do not offer as much precision as the yearly victory percentage.

AQ3 Our aim was to model the tennis performance career as a function of age, to measure the potential of each player, their successes and highlights all the mechanisms involved in a sport career that are crucial determinants of longevity on the circuit. Thus, we also question whether the Precocity–Longevity hypothesis may be observed at the level of the players' career length by comparing two generations and if the precocity of a player may increase his/her tennis potential.

METHODS

Data. All players included were featured in the top 10 WTA or ATP ranking between 1973 and 2009. Our study analyzes all 50,933 matches played by the 97 women (W) players and all 92,450 matches played by the 144 men (M) players between 1968 and 2009 (5,14,26). Matches played during the Davis Cup, Fed Cup, Olympic Games, Grand Slam Cup, and World Team Cup are not included because these tournaments do not affect the ATP or WTA rankings (or only until recently, and others do not occur annually).

Tennis players are divided into two generations to compare their career parameters and performances: first generation (G_1) with a first match played before and in 1985 ($n_W = 47$ and $n_M = 69$ for W and M, respectively) and second generation (G_2) with a first match played after 1985 ($n_W = 50$ and $n_M = 75$). For a homogeneous number of players by generation, 1985 has been chosen as the median year.

AQ4 **Variables.** The following variables are collected from WTA, ATP, and International Tennis Federation Web sites (5,14,22) for each player: gender, best ranking, birth year, age of career start, and retirement; for each match, the year and the result for the player (victory or defeat) were collected. The following variables are defined for each player: generation, length of career, age, and number of matches played per year.

Beginning, retirement, and length of career. The length of career has been considered for all players, except for the ones still active in the WTA or ATP Tour. The average longevity and the average age at the career beginning and retirement have been calculated for all players and for the two generations. The bilateral t -test was used to compare the difference of mean between genders and between generations. Statistical significance was set at $P < 0.05$.

Descriptive analysis.

- Number of matches per age are measured for each player: $\text{match}_{p,t}$ with p as the player and t as the age. The mean number of matches per athlete for each age has been calculated for W (Wmatch_t) and M (Mmatch_t), respectively, where t is the age.
- The number of victories is measured by age for each player: $\text{victory}_{p,t}$ with p as the player and t as the age. The victory percentage ($\%\text{victory}_{p,t}$) is defined as the annual ratio of victory over the total of matches played by player p at age t :

$$\%\text{victory}_{p,t} = \text{victory}_{p,t} / \text{match}_{p,t}$$

- The logarithmic correlation between the number of matches played and the victory percentage is calculated.

Fitted victory percentage. An exponential model is chosen to fit the age victory percentages for each player (7,18,22):

$$\%\text{victory}_p = a_p[1 - \exp(b_p t_p)] + c_p[1 - \exp(d_p t_p)]$$

t_p is the age for the player p . The coefficients a_p , b_p , c_p , and d_p are estimated by the method of least squares.

Modeled curves.

- The mean of individual coefficients a_p , b_p , c_p , and d_p is calculated for the top 10 W and M players. Modeled curves are displayed using the obtained mean coefficients. The coefficients are then stratified by gender and generation. In addition, the modeled curves for no. 1 W and M and the modeled curves for numbers 2 (no. 2) to 10 (no. 10) are calculated.
- For each curve, the area under the curve (AUC) is calculated, as well as the age and value at the performance peak. A bilateral t -test is used to compare the difference of AUC mean between generations. Statistical significance is set at $P < 0.05$.

Ethics. The data collected for this study are obtained from ATP, WTA, and International Tennis Federation public Web sites. This study therefore used a research protocol qualified as noninterventional, in which "... all acts are performed in a normal manner, without any supplemental or unusual procedure of diagnosis or monitoring." (article L1121-1 of the French Public Health Code). According to the law, its approval therefore did not fall under the responsibility of a committee for the protection of persons. For these reasons, it is not necessary to obtain informed consent from the athletes evaluated. This study is designed

AQ5

TABLE 1. Parameters of career and modeling.

		W	M	Gender Gap	Significance
Gender (yr)		Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD		$P < 0.05$
	First match	15.87 $\pm$ 1.71	17.47 $\pm$ 1.66	1.60	*
	Last match	30.99 $\pm$ 4.83	32.84 $\pm$ 4.05	1.85	*
	Length of career	15.76 $\pm$ 4.42	16.07 $\pm$ 3.90	0.31	—
		G ₁	G ₂	Gender Gap	Significance
Generation (yr)		Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD		$P < 0.05$
W	First match	16.53 $\pm$ 1.85	15.24 $\pm$ 1.29	1.29	*
	Last match	31.43 $\pm$ 5.42	30.22 $\pm$ 3.56	1.21	—
	Length of career	15.89 $\pm$ 5.02	15.52 $\pm$ 3.19	0.37	—
M	First match	17.88 $\pm$ 1.90	17.09 $\pm$ 1.32	0.79	*
	Last match	33.64 $\pm$ 4.43	31.24 $\pm$ 2.50	2.40	*
	Length of career	16.75 $\pm$ 4.26	14.68 $\pm$ 2.54	2.07	*
Modeling		No. 1	No. 2 to No. 10	G ₁	G ₂
W	Optimum age (yr)	21.5	22.7	23.5	21.5
	Victory percentage peak (%)	82.5	66.6	68.1	71.3
	AUC (%·yr ⁻¹)	13.8	8.8	8.7	10.7
M	Optimum age (yr)	23.7	24.2	25	23.3
	Victory percentage peak (%)	78.5	67.6	71.7	67.4
	AUC (%·yr ⁻¹)	11.3	9.2	9.2	9.9

The mean age and SD at first match, at last match, and career length are calculated by gender and generation and show earlier potential in W and shorter career length in G₂ M who are more precocious. The optimum age, the maximum victory percentage, and AUC are calculated by gender and generation and show higher values for no. 1 as compared with no. 2 to no. 10 and earlier optimum age for current G₂ players.

and monitored by the Institut de Recherche bioMédicale et Epidémiologique du Sport scientific committee.

RESULTS

Beginning, retirement, and length of career. The mean career duration is 15.8 $\pm$ 4.4 yr for all W and 16.1 $\pm$ 3.9 yr for all M, respectively. For M, the career duration of G₁ players is 16.8 $\pm$ 4.3 yr; the G₂ mean is 14.7 $\pm$ 2.5 yr (Table 1), a significant 2.1 yr reduction.

At their first match, players were 15.9 $\pm$ 1.7 (W) and 17.5 $\pm$ 1.7 yr old (M) (Table 1), respectively. For G₁, the age at the first match was 16.5 $\pm$ 1.9 yr for W and 17.9 $\pm$ 1.9 yr for M. It is 15.2 $\pm$ 1.3 (W) and 17.1 $\pm$ 1.3 yr (M) for the present generation (Table 1).

The age at retirement is 31.0 $\pm$ 4.3 (W) and 32.8 $\pm$ 4.1 yr (M). For M, it was 33.6 $\pm$ 4.4 yr before 1985; it is 31.2 $\pm$ 2.5 yr after 1985. For G₂ players, age at the last match is now 2.4 yr earlier than for G₁ (Table 1). All results and significance are described in Table 1.

Descriptive analysis. The average number of matches played per age follows a progression cycle, which increases and decreases with a peak of 49.2 $\pm$ 22.7 matches at 23 yr for W and 60.2 $\pm$ 19.4 matches at 24 yr for M (Fig. 1A).

The average victory percentage per age follows a similar progression cycle with a peak of 66.7% $\pm$ 12.8% at 23 yr old for W. For M, this peak reaches 66.6% $\pm$ 11.2% at 24 yr old (Fig. 1B).

The average total number of matches during the careers of top 10 W and M is 529.2 $\pm$ 262.1 and 674.0 $\pm$ 224.2, respectively.

Victory percentage and number of played matches show a logarithmic correlation: $y = 0.128 \ln(x) + 0.188$ for top 10 W players (Fig. 2) and $y = 0.150 \ln(x) + 0.061$ for top 10 M. Analyzing these results for each rank shows similar correlations.

Fitted victory percentage. The fits show two phases of growth and decline. Such a cycle is common to all players (Fig. 3). For W, the fitted victory percentage of top 10 rises

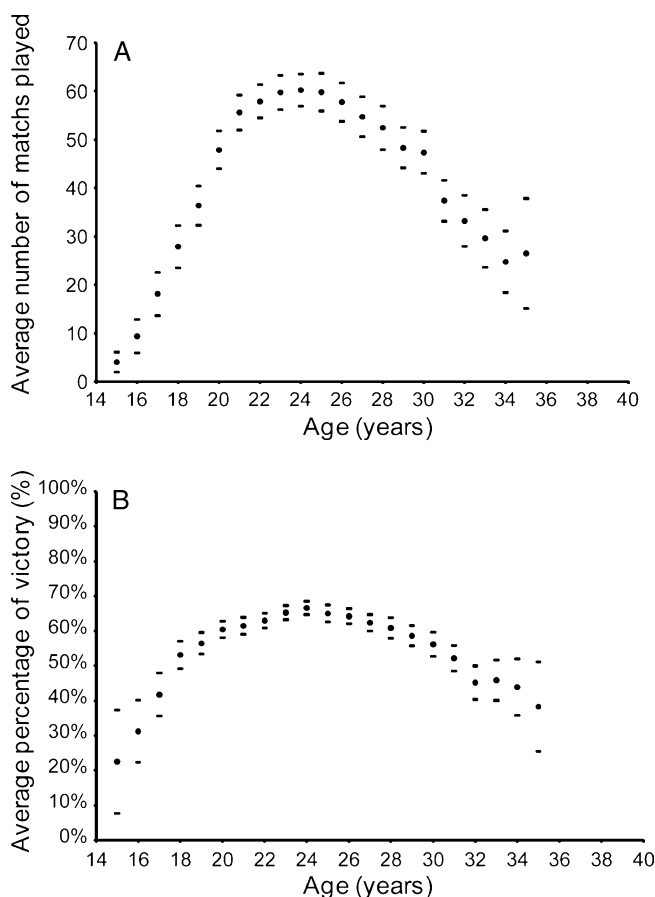


FIGURE 1—Relation between age and performance for the top 10 M during 20 yr: yearly average number of matches played according to age (A) and yearly average victory percentage according to age (B). The peak is at 24 yr with 66.7% of victory for 49.2 matches.

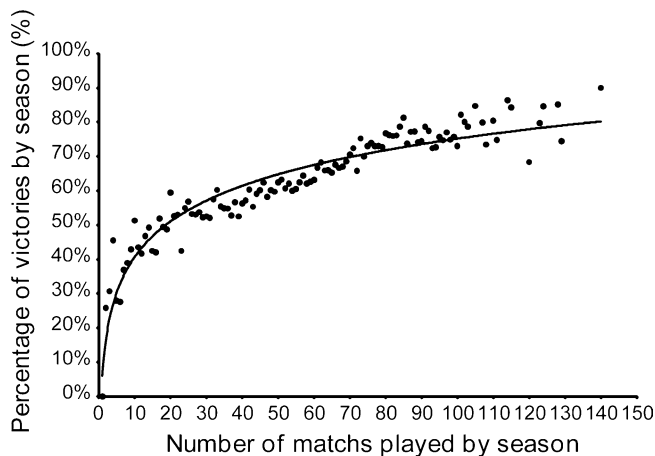


FIGURE 2—Relation between played matches and victory percentage for the top 10 W: logarithmic correlation: $0.1281 \ln(x) + 0.1882$, $R^2 = 0.72$. The more you play, the more you win.

F4 to 69.7% at 21.5 yr (Fig. 4). For the no. 1 players, it only augments to 82.5% at the same age: 21.5 yr (Table 1).

For M, the modeled victory percentage of top 10 rises to 69.4% at 24.1 yr (Fig. 4). For the no. 1 players, it increases to 78.5% at 23.7 yr (Table 1). For the top 10 players, W start and retire earlier than M (Fig. 4) but have a similar AUC.

For W, the victory peak occurs earlier for all no. 1 players compared with all others (no. 2 to no. 10): 21.5 versus 22.7 yr. The AUC for no. 1 is 56.8% greater ($AUC_{no. 1} = 13.8$, $AUC_{no. 2 \text{ to } no. 10} = 8.8$) (Table 1). For M, the same comparison shows that the peak also occurs earlier for all no. 1 players (23.7 vs 24.2 yr for no. 2 to no. 10). The M's no. 1 AUC is also greater ($AUC_{no. 1} = 11.3$, $AUC_{no. 2 \text{ to } no. 10} = 9.2$) (Table 1), a 22.8% increase.

Generations. For W, the fit of the G_1 top 10 victory percentage shows a peak of 68.1% at 23.5 yr. For G_2 , it increases up to 71.3% of wins at 21.5 yr. The players' AUC

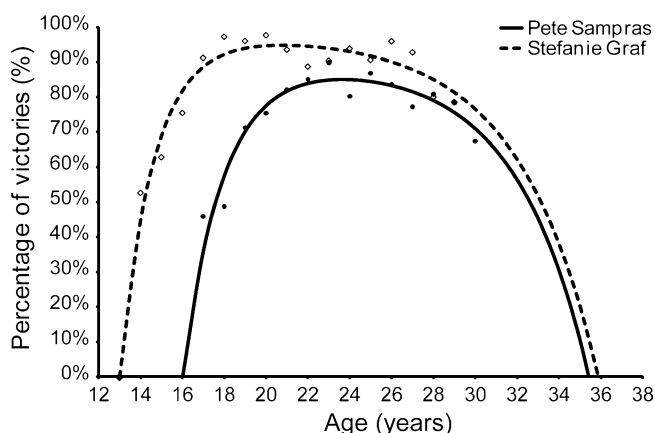


FIGURE 3—Model fitting for two players: Stefanie Graf (no. 1 W, 1987–1997) reaches her peak at 19.8 yr with 94.8% of victory, and Pete Sampras (no. 1 M, 1993–1998) reaches his peak at 23.6 yr with 85.0% of victory. Both fitted peaks coincide the exact values of 97.6% and 89.8% at age 20 and 23, respectively.

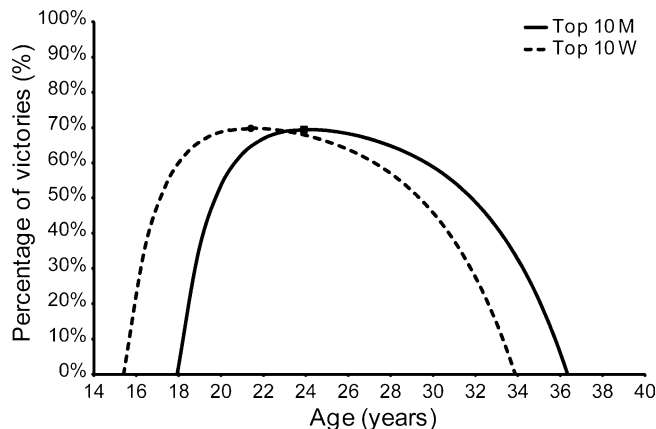


FIGURE 4—Modeling for top 10 and no. 1 by gender. A, Top 10 W and M. W reach their peak at 21.5 yr with 69.8% of victory and an AUC of 9.7. M reach their peak at 24.1 yr with 69.4% of victory and an AUC of 9.6. W and M have the same tennis capital. B, no. 1 W and M. W reach their peak at 21.5 yr with 82.5% of victory and an AUC of 13.8. M reach their peak at 23.7 yr with 78.5% of victory and an AUC of 11.3.

are not significantly different between G_1 and G_2 (8.7 vs 10.7) (Table 1).

For M, the fitted curve of the G_1 top 10 shows a peak of 71.7% at 25.0 yr. For G_2 , it decreases to 67.4% at 23.3 yr. The AUC of the players of the first generation are not different ($AUC_{G_{1M}} = 9.2$) than those of the second period ($AUC_{G_{2M}} = 9.9$) (Fig. 5, Table 1).

F5

DISCUSSION

Our study is the first to analyze tennis performances through the yearly percentage of victories of all players who reached the top 10 WTA and ATP rankings during their careers. Curves are fitted with an exponential model, describing lifetime performance course (7,18,22). This model allows for the comparison of the different progression

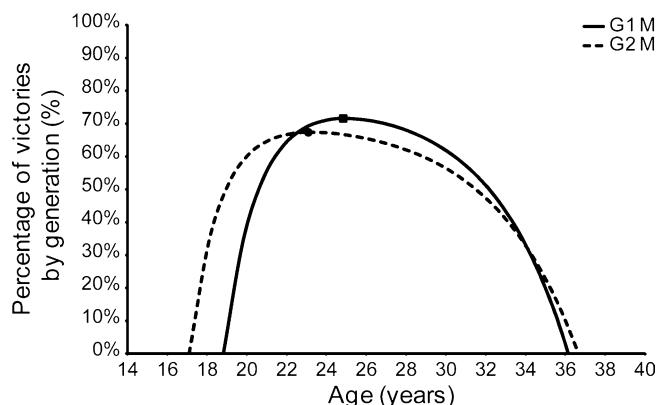


FIGURE 5—Parameters for generation G_1 and G_2 for the top 10 M. G_1 players reach their peak at 25.0 yr with 71.7% of victory and an AUC of 9.2. G_2 players reach their peak at 23.3 yr with 67.4% of victory and an AUC of 9.9. The difference of an AUC mean is not significant ($P = 0.199$).

phases between individual players, between W and M, and between successive generations.

The curves describe an athlete's career (Fig. 3), with two phases: rise and decline. As already observed (25) the comparison between genders shows that W parameters are earlier than M ones but with a similar AUC (Fig. 4). The model also highlights the greater investment of the second generation (Fig. 5) (12,25). Furthermore, the logarithmic correlation found between the number of matches played by season and the victory percentage shows the constant reciprocity between quantity and quality (Fig. 2). These results are coherent for M and W.

Previous studies analyzed quantifiable disciplines (cycling, swimming, track and field, weightlifting) and used world records as indicators of performance (7,8–11,13,31), but tennis does not provide a precise performance indicator. Other studies have looked at the maximum performance according to age for baseball (29) or tennis (17), highlighting a link between advanced age and reduced performance. In this study, we propose a new indicator to assess the players' progression: the percentage of matches won depending on age (Fig. 1B). This parameter allows for the determination of progression cycle during the career.

Tennis capital. Among best players, the length of a career (Table 1) is already a clear indicator of success, but the AUC (Table 1) describes their full potential—their energy investment: physical and mental—as compared with all other opponents of their generation (Table 1) (25). This value is a temporal measure (expressed in $\% \cdot \text{yr}^{-1}$) and can be considered as a player's "tennis capital." For example, Björn Borg is 12.3, Pete Sampras is 12.6 (Fig. 3), Ivan Lendl is 13.6, John McEnroe is 14.3, and André Agassi is 17.5; Monica Seles is 14.3, Stefanie Graf is 17.0 (Fig. 3), Chris Evert is 20.3, and Martina Navratilova is 24.9.

The best player, no. 1, usually starts earlier than other players. The age at peak tennis performance also occurs earlier for no. 1 as compared with all others, and their AUC is much larger (Table 1). These differences help to characterize their exceptional career.

The career of a tennis player follows a law of progression and regression (7,18,22). It begins at the entrance on the professional circuit, grows rapidly until the peak, and then decreases slowly. Although the majority of careers respect the form of a parabola, few careers present discontinuities that may be associated with injuries, pregnancy, and any other career break, such as temporary exclusion for positive doping control. In several sport populations, the optimum age for performance is reached at 25 yr (12,18,22,25); the optimal age for tennis performance seems to occur slightly earlier (25) (Table 1). However, this peak age has shifted between G_1 and G_2 (Fig. 5, Table 1). In the second generation, the performance peak occurs at an earlier age, although the length of career is reduced. What may be the effect of such a change on the physical and mental potential of players (1,2)?

Precocity–longevity. McCann (19) suggested that peak performance at an early age may be characterized by a

high stress resulting in a decrease in life longevity. Abel and Kruger (1) confirmed this hypothesis in Major League Baseball players and highlighted some factors: the importance of psychological stress on too young players, the media attention, and the expectations of entourage about their performances.

A player's "tennis capital" represents the exact performance during his career. However, a too large and too early investment may reduce total career longevity. The intensive practice at a young age may in fact reduce the physical potential of a player and increase his or her injury prevalence (4). Many players have not been able to return to high-level competition after injury (32) and have thus ended their careers. These results may also question the earliness and the link between the presence of very young players on the professional circuits and the length of their careers. Rafael Nadal for instance shows great precocity. Considering the mean AUC of all no. 1 players before him, this precocity could limit the duration of his career. The coming years will show what effect this early quest for performance may have on his health and overall tennis potential.

To better understand the involved mechanisms in the career duration, we calculated the tennis capital through the AUC of the victory percentage curve and tested the precocity hypothesis. The analysis of the two generations shows that an earlier start is in fact associated with an earlier retirement and with no increase of the tennis potential.

Gender differences. The rates of biological development differ for M and W (6,25,30). Modeling the progression of the top 10 W and M reflects these differences in growth between genders (Fig. 4). The length of career and AUC show that the tennis potential of the top 10 W and M are similar (Table 1). The gender gap in both the age at first match and the age at peak (Table 1) is most probably due to differences in maturity (6,25,30). As opposed to quantifiable disciplines (31), the no. 1 W's capital seems greater than the M's one. Hypotheses can be raised: competition in the male professional circuit may be more intense (23). The number of players in the ATP and WTA tours registered over the same period (144 M vs 97 W) sustains this hypothesis as well as the mean number of matches played throughout the careers. However, technique, power, and game length are different for M and W; W's tennis then could be less physically demanding.

Generation gap. The professionalization of tennis has partially changed the game and its techniques (12,25). We therefore distinguished two generations of players. The second generation W and M started their professional career at a younger age than the first players possibly because of new tennis academies and a higher investment in very young players (4,12,22). In G_2 , W and M both reach their performance peak and end their careers earlier than those in G_1 (Table 1, Fig. 5). Competition also intensified during the Open era. Although the evolution of the athletes' technical and physical qualities and the economical effect on the sport have altered some parameters of professional tennis careers,

this did not result in a significant change of their “tennis capital.”

For a similar victory percentage, the number of matches played may differ between players and thereby create a bias. Some players included in the database have started their career before the start of the Open era; others have not yet finished their career reducing the “precision” of some fits. However, the increase in the number of matches played by age follows the same progression cycle (Fig. 1).

CONCLUSIONS

Tennis is a precisely quantifiable sport allowing for comparison between gender, generation, and best players, using an appropriate indicator: the percentage of matches won. This analysis shows the same performance progression as compared with disciplines with world records. Applied to top 10 players, this indicator shows a physiological cycle of growth and decline. An improved understanding of the career time course may help coaches and physicians to plan skills training more appropriately, to

plan the expected gain for each age, and to better anticipate or respond to injury. Despite a greater precocity, the capital of tennis players did not evolve during the professional period. This indicator might be applicable to all individual sports of confrontation.

The authors have not received funding for this work specifically; the institute receives yearly funding from the French Ministry of Health, Youth, and Sports. M.G., S.L., and J.F.T. designed the research. M.G., S.L., M.T., and J.F.T. performed the research. M.G., S.L., M.T., L.Q., B.M., K.S., H.N., and F.D.D. analyzed data. M.G. and J.F.T. wrote the article.

The authors thank the Centre National de Développement du Sport and the Ministry of Health, Youth, and Sports for financial assistance. The authors thank the National Institute of Sports Expertise and Performance teams for their full support. The authors thank the Fédération Française de Tennis for their great interest in this work.

The authors declare that they have no conflict of interest. The sponsor had no role in the study design, data gathering, data analysis, data interpretation, or writing of this report. The corresponding author had full access to all data in the study and had final responsibility for the decision to submit for publication.

The results of the present study do not constitute endorsement by the American College of Sports Medicine.

REFERENCES

1. Abel EL, Kruger ML. Precocity predicts shorter life for major league baseball players: confirmation of McCann's precocity-longevity hypothesis. *Death Stud.* 2007;31(10):933–40.
2. Agassi A. *Open*. 1st ed. New York (NY) HarperCollins; 2009. p. 11–40.
3. Aguilaniu B, Maitre J, Glénet S, Gegout-Petit A, Guénard H. European reference equations for CO and NO lung transfer. *Eur Respir J.* 2008;31(5):1091–7.
4. American Academy of Pediatrics. Intensive training on sports specialization in young athletes. *Pediatrics.* 2000;106:154–7.
5. ATP World Tour Web site [Internet]. Association of Tennis Professionals; [cited 2009 Oct 7]. Available from: <http://www.atpworldtour.com>.
6. Bailey DA, McKay HA, Mirwald RL, Crocker PRE, Faulkner RA. A six-year longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual in growing children: the university of Saskatchewan bone mineral accrual study. *J Bone Miner Res.* 1999;14(10):1672–9.
7. Baker AB, Tang YQ. Aging performance for masters records in athletics, swimming, rowing, cycling, triathlon, and weightlifting. *Exp Aging Res.* 2010;36(4):453–77.
8. Berthelot G, Tafflet M, El Helou N, et al. Athlete atypicality on the edge of human achievement: performances stagnate after the last peak, in 1988. *PLoS ONE* [Internet]. 2010 [cited 2010 Jan 20]; 5(1):e8800. Available from: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0008800>.
9. Berthelot G, Thibault V, Tafflet M, et al. The citius end: world records progression announces the completion of a brief ultra-physiological quest. *PLoS ONE* [Internet]. 2008 [cited 2008 Feb 6]; 3:e1552. Available from: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0001552>.
10. Desgorges FD, Berthelot G, El Helou N, et al. From Oxford to Hawaii ecophysiological barriers limit human progression in ten sport monuments. *PLoS ONE* [Internet]. 2008 [cited 2008 Nov 5]; 3:e3653. Available from: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0003653>.
11. El Helou N, Berthelot G, Thibault V, et al. Tour de France, Giro, Vuelta, and classic European races show a unique progression of road cycling speed in the last 20 years. *J Sports Sci.* 2010;28(7): 789–96.
12. Galenson DW. The impact of economic and technological change on the careers of American men tennis players, 1960–1991. *J Sport Hist.* 1992;20(2):127–50.
13. Guillaume M, El Helou N, Nassif H, et al. Success in developing regions: world records evolution through a geopolitical prism. *PLoS ONE* [Internet]. 2009 [cited 2009 Oct 28];4(10):e7573. Available from: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0007573>.
14. ITF Tennis Web site [Internet]. International Tennis Federation; [cited 2009 Oct 10]. Available from: <http://www.itftennis.com>.
15. Kipling R. *Rewards and Fairies*. BiblioBazaar; 2007. Chapter, Brother Square Toes; p. 115–6.
16. Kühnert B, Nieschlag E. Reproductive functions of the ageing male. *Hum Reprod Update.* 2004;10(4):327–39.
17. Lehman HC. Age and achievement. In: *Aging Concepts and Controversies*. 5th ed. Thousand Oaks (CA): SAGE Publications; 2006. p. 85–90.
18. Len S, Berthelot G, Tafflet M, et al. Physiological norms in world class running tracks. *Fundam Clin Pharmacol.* 2009; 23(1):88.
19. McCann SJH. The precocity-longevity hypothesis: earlier peaks in career achievement predict shorter lives. *Pers Soc Psychol Bull.* 2001;27(12):1429–39.
20. McCann SJH. Younger achievement age predicts shorter life for governors: testing the precocity-longevity hypothesis with artifact controls. *Pers Soc Psychol Bull.* 2003;29(2):164–9.
21. McDermott B. He'll make your child a champ. *Sports Illustrated.* 1980;52(24):28–37.
22. Moore DH 2nd. A study of age group track and field records to relate age and running speed. *Nature.* 1975;253:264–5.
23. Paserman D. Gender differences in performance in competitive environments: evidence from professional tennis players. *IZA Discuss Pap.* 2007;2834:1–36.
24. Pluim BM, Staal JB, Windler GE, Jayanthi N. Tennis injuries: occurrence, aetiology, and prevention. *Br J Sports Med.* 2006;40: 415–23.

25. Schulz R, Curnow C. Peak performance and age among super-athletes: track and field, swimming, baseball, tennis, and golf. *J Gerontol.* 1988;43(5):P113–20.
26. Sony Ericsson WTA Web site [Internet]. Women's Tennis Association; [cited 2009 Oct 10]. Available from: <http://www.sonyericssonwtatour.com>.
27. Stanojevic S, Wade A, Stocks J, et al. Reference ranges for spirometry across all ages. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006;177:253–60.
28. Tanaka H, Seals DR. Endurance exercise performance in Masters athletes: age-associated changes and underlying physiological mechanisms. *J Physiol.* 2008;586:55–63.
29. Tanaka H, Wienke J, Scherr C. The fountain of youth in baseball sluggers? *J Am Geriatric Soc.* 2007;55(11):1887–8.
30. Tanner JM, Whitehouse RH, Marubini E, Resel LF. The adolescent growth spurt of boys and girls of the Harpenden Growth Study. *Ann Hum Biol.* 1976;3(2):109–26.
31. Thibault V, Guillaume M, Berthelot G, et al. Women and men in sport performance: the gender gap has not evolved since 1983. *J Sports Sci Med.* 2010;9:214–23.
32. Webb WM, Nasco SA, Riley S, Headrick B. Athlete identity and reactions to retirement from sports. *J Sport Behav.* 1998;21(3):338–62.

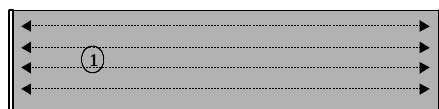
1 - TEST D'ENDURANCE : 20m en navettes.

- MISE EN OEUVRE -

Objectif : évaluer l'endurance.

Matériel et terrain :

- . 1 seul chronomètre quelque soit le nombre de participants.
- . Un terrain NON GLISSANT, long de 20m, balisé aux extrémités avec du scotch; la largeur dépend du nombre de personnes qui participent en même temps (environ 1m par participant).

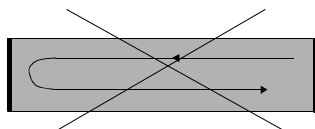


Déroulement du test :

Départ : au signal du juge pour l'ensemble des participants en même temps.
A chaque changement de sens, au moins 1 pied doit toucher la ligne au sol.

Le test dure 3 minutes.

Il est nécessaire de courir sur une même ligne, c'est à dire qu'il ne faut pas « tourner autour du rectangle ».



Encadrement :

- . 1 seul juge pour l'organisation, les explications et le chronomètre. Il peut aussi compter les A/R si une seule personne réalise le test.
- . 1 personne pour chaque participant doit compter les aller/retour; ces personnes peuvent être des autres participants, à condition qu'ils soient « aptes à compter sérieusement »...

Résultat :

Indiquer la DISTANCE TOTALE PARCOURUE (nombre d'A/R x 40m); pour le dernier A/R, arrondir à l'extrémité la plus proche de la distance parcourue (0, 20m ou 40m).

Nbre A/R	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11
Distance	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440

Nbre A/R	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5
Distance	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660

Nbre A/R	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
Distance	680	700	720	740	760	780	800	820	840	860



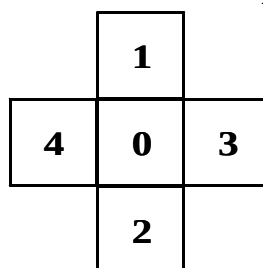
2 - TEST DE COORDINATION-ENDURANCE : « Test de la croix ».

- MISE EN OEUVRE -

Objectif : évaluer la capacité à rester coordonné, pendant un temps assez long.

Matériel et terrain :

- . 1 chronomètre par croix.
- . Une croix qui peut être :
 - soit un tapis spécifique à ce test (nous consulter),
 - soit tracée directement au sol avec du scotch (N.B.: la craie s'efface au fur et à mesure, donc à réserver pour un petit nombre de participants). Le schéma ci-dessous donne les dimensions et l'ordre de passage sur les branches.



Chaque carré
mesure 50cm
de côté

Déroulement du test :

Départ : pieds joints sur le 0. Démarrage au signal du chronométreur.

Principe : Passer à 2 pieds sur chaque branche de la croix, dans l'ordre des numéros, en passant à chaque fois par le point central.

Les pieds doivent dépasser les lignes de séparation des carrés.

Chaque passage sur une branche rapporte 1 point, à condition que l'ordre soit bien respecté; autrement dit, chaque cycle réussi (1,2,3 et 4) rapporte 4 points.

En cas d'erreur le participant redémarre un cycle (0, 1, 0, 2, etc) et le comptage des points continue; seules les erreurs ne sont pas comptabilisées.

Le test dure 30 secondes.

Encadrement :

1 juge par croix : explications, chronométrage et comptage.

Résultat :

Le participant doit réaliser le plus de cycles possibles, sans erreur, pendant les 30 secondes. Au bout de ce délai, le dernier cycle entamé est ajouté (1, 2, 3 ou 4 points) aux autres.



3 - TEST DE COORDINATION : 5 foulées bondissantes

- MISE EN OEUVRE -

Objectif : évaluer la coordination des membres du corps.

Matériel et terrain :

- . 1 bande métrique en textile de 15m (graduée tous les 20cm) ou un double décimètre.
- . Le terrain doit faire au maximum 15m de long et 1m de large.

Déroulement du test :

Départ : pieds (non joints) derrière la ligne située au 0 du décimètre.

Principe : Aller le plus loin possible sur 5 foulées bondissantes.

Nombre d'essais : 1 seul, sauf en cas de chute ou de mauvaise réalisation.

Encadrement :

1 juge pour explications et mesures.

Résultat :

La mesure se lit au niveau de l'arrière du pied.

Indiquer la LONGUEUR TOTALE, en cm, des 5 sauts.

Précision de la mesure: 20cm.



4 - TEST DE FORCE-VITESSE : saut en longueur sans élan.

- MISE EN OEUVRE -

Objectif : évaluer les qualités de force-vitesse, autrement dit de puissance, des jambes.

Matériel et terrain :

- . 1 décamètre.
- . Le terrain doit faire au maximum 3m de long et 1m de large.
- Si possible mettre un tapis pour amortir le choc.

Déroulement du test :

Départ : pieds joints derrière la ligne située au 0 du décamètre.

Principe : Aller le plus loin possible sur 1 saut en longueur.
L'arrivée se fait debout.

Nombre d'essais : 1 seul, sauf en cas de chute ou de mauvaise réalisation.

Encadrement :

1 juge pour explications et mesures.

Résultat :

La mesure se lit au niveau de l'arrière du pied.

Indiquer la LONGUEUR DU SAUT, en cm.

Précision de la mesure : 10cm.



5 - TEST D'ENDURANCE-FORCE : 5 sauts enchaînés à 2 pieds.

- MISE EN OEUVRE -

Objectif : évaluer la capacité à enchaîner un mouvement de force avec les jambes.

Matériel et terrain :

- . 1 bande métrique en textile de 15m (graduée tous les 20cm) ou un double décimètre.
- . Le terrain doit faire au maximum 15m de long et 1m de large.

Déroulement du test :

Départ : pieds joints derrière la ligne située au 0 du décimètre.

Principe : Aller le plus loin possible sur 5 sauts à 2 pieds. Les sauts doivent être enchaînés, c'est à dire sans temps d'arrêt entre chaque bond.

Nombre d'essais : 1 seul, sauf en cas de chute ou de mauvaise réalisation.

Encadrement :

1 juge pour explications et mesures.

Résultat :

La mesure se lit au niveau de l'arrière du pied.

Indiquer la LONGUEUR TOTALE, en cm, des 5 sauts.
Précision de la mesure : 20cm.



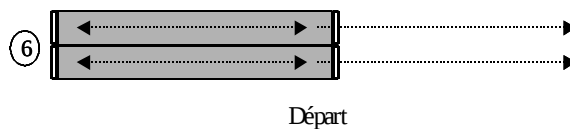
6 – TEST VITESSE COORDINATION : 4 x 10m en navette.

- MISE EN OEUVRE -

Objectif : évaluer les capacités de coordination sur un exercice de vitesse.

Matériel et terrain :

- . 1 chronomètre par participant.
 - . Un terrain NON GLISSANT, long de 20m (10m de navette et 10m de décélération), balisé aux extrémités (10m) avec du scotch. Largeur du couloir : environ 1m.
- Pour un groupe : possibilité de mettre 2 couloirs.



Déroulement du test :

Départ : au signal du chronométreur. Le chronomètre démarre lorsque le pied arrière du participant décolle du sol.

Principe : aller le plus vite possible sur 4 x 10m

A chaque changement de sens, au moins 1 pied doit toucher la ligne au sol.

Encadrement :

1 seul juge pour l'organisation, les explications et le chronomètre.

Résultat :

Indiquer le TEMPS mis pour réaliser les 4 x 10m.



7 - TEST DE VITESSE : 30m.

- MISE EN OEUVRE -

Objectif : évaluer la capacité à courir vite sur une distance courte.

Matériel et terrain :

- . 1 chronomètre.
- . Un couloir de 40m minimum : 30m pour la course et environ 10m pour la décélération, balisé aux extrémités avec du scotch (départ et arrivée).

Déroulement du test :

Départ : libre. Le chronomètre démarre lorsque le pied arrière du participant décolle du sol.

Courir le plus vite possible sur 30m.

Encadrement :

- . 1 seul juge pour l'organisation, les explications et le chronomètre.

Résultat :

Indiquer le TEMPS réalisé pour parcourir la distance.



8 - TEST DE FORCE : les pompes, genoux au sol.

- MISE EN OEUVRE -

Objectif : évaluer la force des bras.

Matériel et terrain :

Si possible, un tapis léger pour poser mains et genoux.

Déroulement du test :

Départ : genoux au sol, mains au sol (écartement légèrement plus grand que la largeur des épaules), bras tendus, **cuisses et dos alignés**, les pieds décollés du sol.

Principe : réaliser le plus de flexions de bras possibles (les bras arrivent environ à 90°), sans temps d'arrêt et en gardant l'alignement cuisses-dos.

Encadrement :

1 juge: explications, comptage.

Attention, il est important de **vérifier que la position du corps soit bien maintenue tout au long de l'exercice.**

Résultat :

Indiquer le NOMBRE DE FLEXIONS REALISEES.



9 - TEST DE SOUPLESSE

- MISE EN OEUVRE -

Objectif : mesurer la souplesse tronc-jambes.

Matériel : aucun.

Déroulement du test :

Départ : debout, pieds à plat, JAMBES TENDUES.

Descendre, lentement et ensemble, les mains le long des jambes, le plus bas possible, en gardant toujours les jambes tendues.

La mesure se fait au niveau de la position la plus basse TENUE 3 SECONDES.

Le juge se place de profil par rapport au participant afin de vérifier que les jambes restent bien tendues.

Cotation :

- mains à plat au sol : 5
 - au moins le bout de 3 doigts touche le sol : 4
 - le bout des doigts arrive au moins au niveau de la cheville : 3
 - le bout des doigts arrive au moins au niveau du mi-tibia : 2
 - le bout des doigts arrive au niveau du genou : 1
-