



HAL
open science

Les profils musculaires inertiels permettent une définition plus précise des charges d'entraînement

Christine Hanon, Boris Jidovtseff, Jacques Quièvre, Jean-Michel Crielaard

► To cite this version:

Christine Hanon, Boris Jidovtseff, Jacques Quièvre, Jean-Michel Crielaard. Les profils musculaires inertiels permettent une définition plus précise des charges d'entraînement . Science & Sports, 2009, 24 (2), pp.91-96. hal-01765336

HAL Id: hal-01765336

<https://insep.hal.science//hal-01765336>

Submitted on 12 Apr 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.

Les profils musculaires inertiels permettent une définition plus précise des charges d'entraînement

Inertial muscular profiles allow a more accurate training loads definition.

Jidovtseff Boris¹, Quièvre Jacques², Hanon Christine², Crielaard Jean-Michel¹

¹ Service évaluation et entraînement des aptitudes physiques, Département des Sciences de la Motricité. Université de Liège, Belgique.

² Laboratoire de biomécanique et de physiologie, INSEP, Paris, France

JIDOVTSEFF Boris

ISEPK - B21

Allée des Sports, 4

B-4000 Liège

Belgique

Tel : 0032 4 366 38 94

E-mail : B.jidovtseff@ulg.ac.be

Résumé

Objectifs : cette étude a pour objectif d'explorer l'intérêt des relations inertielles charge-vitesse et charge-puissance dans l'identification des zones d'entraînement musculaire.

Méthodes : 35 sujets sont venus à deux reprises au laboratoire. La première séance a permis de définir la répétition maximale (1RM) en développé couché alors que la deuxième a permis de définir les profils musculaires charge-vitesse et charge-puissance à partir d'un dynamomètre inertiel. Quatre zones d'entraînement (vitesse maximale, puissance-vitesse, puissance-force et force maximale) habituellement définies à partir du 1RM ont été comparées aux zones d'entraînement objectivées pour chaque individu à partir des relations charge-vitesse et charge-puissance.

Résultats: Les zones d'entraînement obtenues lorsque l'on se base sur les relations charge-vitesse et charge-puissance diffèrent significativement ($p < 0,001$) de celles établies sur base du seul 1RM. Les résultats montrent que de 0 à 23% du 1RM, on travaille la vitesse ; de 25 à 54% du 1RM, on travaille la puissance-vitesse ; de 54 à 82 % du 1RM, on travaille la puissance-force et au-delà on travaille la force maximale. Des différences interindividuelles ont été constatées. L'établissement de ces profils inertiels permet une définition précise et individualisée de l'entraînement de la vitesse et de la puissance musculaire.

Mots clés : musculation, entraînement, profil musculaire, inertiel, force, vitesse, puissance

Abstract

Aims of the study : the aim of the present study was to explore the interest of inertial load-velocity and load-power relationships for establishing resistance training zones.

Materials and methods : 35 subjects went twice at the laboratory. The first session was used to determine bench press one repetition maximal (1RM) while the second session was

used to determine load-velocity and load-power relationships by the means of an inertial dynamometer. For each subject four major training zones (maximal velocity, power-velocity, strength-power, maximal strength), defined from the 1RM, were compared to the corresponding training zones defined from inertial load-velocity and load-power relationships.

Results: training zones defined from the 1RM are significantly different ($p < 0,001$) from the ones based on load-velocity and load-power relationships. According to load-power and load-velocity relationships results, maximal bench press velocity should be trained from 0 to 23% of the 1RM ; power-velocity should be trained from 25 to 54% of the 1RM ; strength-power should be trained from 54 to 82% of the 1RM and maximal strength should be trained with superior loads. Such muscular profiles defined with inertial dynamometers allow a more acute and individualised prescription for power-velocity resistance training.

Key words : resistance training, muscular profile, inertial, force, velocity, power

Introduction

L'entraînement musculaire apparaît comme un processus déterminant dans la construction de la performance sportive. Les charges utilisées doivent être judicieusement choisies afin de garantir l'efficacité du travail. Le plus souvent, c'est le 1RM (charge la plus élevée qu'on ne peut soulever complètement qu'une seule fois) qui sert de référence, notamment pour définir les zones de travail de la force, de la puissance et de la vitesse musculaire. La détermination du 1RM n'est pas toujours conseillée dans certains contextes (sujets jeunes, âgés, débutants, fragiles, ...) car elle nécessite l'utilisation de charges très lourdes, potentiellement dangereuses [10,14]. L'appréciation indirecte du 1RM par des formules ou des tables reste possible et permet l'utilisation de charges sous maximales, mais offre des informations moins précises. En effet, la qualité prédictive des formules varie selon le mouvement, le nombre de répétitions mais aussi l'expérience en musculation du sujet [6,8,10,14]. L'évaluation de la force à partir du 1RM ou à partir de formules prédictives informe l'entraîneur uniquement sur le niveau de charge que son athlète est capable de soulever, mais ne donne aucune indication sur ses qualités de vitesse et de puissance. L'évaluation de ces qualités musculaires s'avère pourtant particulièrement importante dans le processus d'entraînement de nombreuses disciplines sportives.

Les avancées technologiques ont contribué au développement des dynamomètres inertiels, capables de mesurer, lors d'un exercice de musculation, la vitesse et la puissance

développées à n'importe quelle charge [2-4,9,13,15,20]. Les profils musculaires inertiels peuvent ainsi être définis en mesurant la performance à différents niveaux de charge. Ils permettent d'établir, pour un mouvement de musculation donné, les relations charge-vitesse (Ch-V) et charge-puissance (Ch-P). Pour être complet, un profil devra explorer les qualités de vitesse et de puissance à charge légère (pour explorer les qualités de vitesse), à charge moyenne (pour explorer les qualités de puissance) et à charge élevée (pour explorer les qualités de force) [10]. Ce concept d'évaluation musculaire offre évidemment bien plus d'informations que le seul 1RM.

Si on se réfère à la littérature, mais aussi aux habitudes des entraîneurs, c'est pourtant bien le 1RM qui est utilisé afin de définir les zones spécifiques d'entraînement. Concernant l'entraînement de la force, la littérature apparaît uniforme : il faut utiliser des charges très élevées (80 à 100% du 1RM) répétées un petit nombre de fois (1 à 8 RM) [1,11-12,20]. Peu d'auteurs abordent l'entraînement de la vitesse musculaire. Les quelques références conseillent d'utiliser, pour améliorer cette qualité, des charges très légères (0 à 30% du 1RM) [11-12]. Comme le démontrent Cronin et Sleivert [5], les méthodes d'entraînement de la puissance maximale n'apparaissent pas unanimes. Certains auteurs préconisent l'utilisation de charges relativement faibles (entre 30 et 50% du 1RM) alors que d'autres préconisent des charges plus lourdes (50 à 70% du 1RM). L'étude de Miller [12], réalisée à l'INSEP, envisage de manière intéressante l'entraînement de la puissance : entre 30 et 50% du 1RM on travaille la puissance-vitesse alors qu'entre 50 et 70% du 1RM on travaille la puissance-force. Sur base de cette littérature quatre grandes zones d'entraînement peuvent être définies à partir du 1RM (figure 1) :

1. de 0 à 30% du 1RM = vitesse maximale
2. de 30 à 50% du 1RM = puissance-vitesse
3. de 50 à 70% du 1RM = puissance-force
4. de 80 à 100% du 1RM = force maximale

Alors que de nombreux travaux défendent l'intérêt de l'évaluation des profils musculaires [2-3,7,9,11,12,16], toutes les études continuent à se baser sur le seul 1RM pour individualiser les charges d'entraînement. Les critères objectifs mesurés à partir des profils Ch-V et Ch-P devraient pourtant améliorer la qualité et la précision du travail musculaire.

Cette étude a pour objectifs de présenter l'intérêt des profils musculaires inertiels en comparant les charges d'entraînement préconisées à partir de la seule détermination du 1RM, avec celles préconisées lorsque l'on se base sur les relations Ch-V et Ch-P définies par un profil inertiel.

Matériel et Méthode

Trente cinq sujets masculins (âge = 24 ± 2 ans ; taille = 179 ± 5 cm ; poids = 72 ± 5 kg), étudiants en éducation physique ou sportifs de loisir, ont participé à l'étude. Tous ont été familiarisés avec le développé couché au cours de leur formation scolaire et 6 sujets ont pratiqué la musculation pendant au minimum un an. Le protocole d'évaluation en développé couché (DC) était réparti en deux séances. La première permettait la détermination exacte de la position d'évaluation, ainsi qu'une familiarisation avec le mouvement. Cette séance était également mise à profit pour déterminer le 1RM. Afin d'éviter toute influence du contre-mouvement sur la performance, le DC était initié avec la barre en position basse, reposant sur des taquets, trois centimètres au-dessus de la poitrine, à mi-distance entre l'appendice xiphoïde et la fourchette sternale. Des pastilles d'un centimètre permettaient un ajustement précis de la hauteur initiale de la barre. L'écartement des mains sur la barre correspondait à la largeur des coudes écartés moins 20 centimètres. La hauteur de la barre, la position du sujet et du banc, ainsi que l'écartement des mains étaient notés afin de reproduire la position avec exactitude. La détermination du 1RM s'organisait de la manière suivante : après deux séries d'échauffement et de familiarisation de 10 répétitions avec une charge légère (23kg), les sujets réalisaient une série de 4 à 6 répétitions avec une charge moyenne arbitrairement choisie (qui devrait idéalement se trouver entre 50 et 80% du 1RM). L'augmentation de la charge se faisait ensuite en fonction de l'aisance démontrée par le sujet. Une seule répétition était alors accordée. La récupération entre chaque tentative était complète (entre 3 et 5 minutes). L'incrément continuait jusqu'à l'échec du sujet. La charge la plus élevée totalement soulevée constituait le 1RM.

Lors de la seconde séance, survenant une semaine plus tard, les sujets réalisaient un profil musculaire inertiel en DC. Le dynamomètre inertiel utilisé [9] permet, en connaissant la charge mobilisée, une mesure précise de la vitesse atteinte et de la puissance développée. Afin d'obtenir la mesure la plus précise possible, le dynamomètre combine un accéléromètre (modèle 3140, ICSensors Inc., USA) à un capteur de déplacement (modèle PT5DC, Celesco

Inc., USA), positionnés d'un même côté de la barre. Les signaux sont numérisés par une carte d'acquisition (Daqcard 6024^E, National Instrument, USA) et analysés par un instrument virtuel spécifique développé à partir du logiciel Labview 6.0 (National instrument, USA). La fréquence d'enregistrement s'élève à 1000hz et les signaux sont filtrés à partir d'un filtre passe-bas de 17 hz. La vitesse est obtenue par dérivée première du déplacement. La puissance mesurée correspond au produit de la force ($F=ma+mg$) et de la vitesse.

Le profil musculaire se construit à l'aide des mesures de vitesse moyenne et de puissance moyenne recueillies à quatre niveaux de charge croissants (30 à 35% du 1RM ; 50% du 1RM ; 70% du 1RM et 90 à 95 % du 1RM). Pour chaque sujet, nous avons donc établi, à partir des données enregistrées, les relations Ch-V et Ch-P. La relation Ch-V respecte une relation linéaire alors que la relation Ch-P respecte une équation polynomiale du second degré. Pour chaque sujet, ces relations ont été définies à partir du logiciel Microsoft Excel (Microsoft, USA). Les équations ainsi obtenues ont permis de définir toute une série de paramètres :

- ▶ la puissance moyenne maximale (Pmax) et la charges qui est associé,
- ▶ la vitesse moyenne théorique lorsque la charge est nulle (Vmax),
- ▶ la charge maximale théorique lorsque la vitesse est nulle (Ch0).

A partir de ces données, il est possible de préciser, de manière objective, différentes zones d'entraînement. Nous partons du principe que pour améliorer une qualité musculaire, il faut la solliciter au moins à 80% de son intensité maximale. Sur cette base, et à partir des équations obtenues, les charges correspondant à chaque type d'entraînement ont été calculées. L'entraînement de la vitesse maximale est défini par les charges permettant de développer au moins 80% de Vmax. L'entraînement de la puissance maximale correspond aux charges permettant d'atteindre au moins 80% de Pmax. A l'intérieur de cette zone, l'entraînement de la puissance-vitesse et de la puissance-force correspondent respectivement aux parties ascendante et descendante de la courbe puissance. L'entraînement de la force, quant à lui, sollicite au moins 80% de Ch0.

Après avoir été définies pour chaque sujet, ces zones d'entraînement ont été comparées avec celles établies dans l'introduction à partir du 1RM (figure 1). Pour vérifier les différences entre les zones d'entraînement, nous avons réalisé un test de Student pour

échantillons appariés. Le seuil de signification est fixé à $p < 0,05$. L'analyse statistique descriptive (moyenne \pm écart type), les équations, ainsi que les estimations de valeurs ont été réalisées à partir du logiciel Microsoft Excel (Microsoft, USA).

Résultats

Le 1RM mesuré lors de la première séance varie selon les sujets entre 49 et 87kg ($66,3 \pm 9,7$ kg). Les relations Ch-V et Ch-P définies lors de la seconde session à partir du dynamomètre inertiel (figure 2), offrent pour chaque individu différentes informations. Chez tous les sujets, la vitesse diminue linéairement avec l'augmentation de la charge alors que la puissance respecte une équation polynomiale du second degré. La relation Ch-P révèle que P_{max} (338 ± 46 W) est atteint en moyenne à $53,5 \pm 4,4\%$ du 1RM. Par ailleurs, c'est entre $25,2 \pm 5,8\%$ et $81,6 \pm 4,9\%$ du 1RM que la puissance dépasse 80% de P_{max} . La relation Ch-V a permis, quant à elle, de définir V_{max} ($1,75 \pm 0,14$ m.s⁻¹) et la charge correspondant à 80% de cette V_{max} ($22,8 \pm 1\%$ du 1RM).

Les profils musculaires inertiels ne permettent pas une appréciation directe du 1RM. Le prolongement de la relation charge-vitesse montre cependant qu'à une vitesse théorique nulle, la charge (Ch_0) s'élève à $75,5 \pm 10,4$ kg, ce qui correspond en moyenne à $114,1 \pm 5,1\%$ du 1RM. La corrélation entre Ch_0 et le 1RM mesuré lors de la première séance s'avère très élevée ($r = 0,95$; $p < 0,001$)(figure 3).

L'analyse comparative démontre que les limites des zones d'entraînement sont significativement différentes ($p < 0,001$) lorsque l'on se base sur le 1RM ou sur les profils musculaires (tableau 1). La relation Ch-V montre que pour solliciter au minimum 80% de la vitesse maximale, il faut travailler en dessous de 23% du 1RM. La relation Ch-P révèle que pour travailler la puissance-vitesse en DC les sujets devraient utiliser des charges relatives comprises entre 25 et 53,5% du 1RM. La zone de puissance-force se situe, elle, entre 53,5 et 81,6% du 1RM. Pour améliorer la force maximale, il faudrait, d'après les profils, travailler entre 91,3 et 114,1% du 1RM. Pour cette qualité musculaire, le 1RM reste le meilleur indicateur de charge. Il est intéressant d'observer que c'est lorsque la puissance devient inférieure à 80% du maximum (81,6% du 1RM) que l'on atteint la zone d'entraînement de la force définie à partir du 1RM.

Une analyse au cas par cas démontre que le profil des relations Ch-V et Ch-P diffèrent d'un sujet à l'autre, même s'ils présentent le même 1RM. La figure 4 illustre pour deux sujets présentant le même 1RM (S1 et S2) les relations Ch-V et Ch-P ainsi que les zones d'entraînement établies.

Discussion

Les résultats de cette étude montrent que la détermination du 1RM reste une démarche intéressante et accessible ne fournissant cependant qu'une seule information objective sur le sportif : sa force maximale dynamique. Elle ne donne par contre strictement aucune information sur les qualités musculaires de vitesse et de puissance qui, généralement, apparaissent plus importantes dans la performance sportive.

Les profils musculaires inertiels solutionnent cette problématique en permettant la description précise et objective des relations Ch-V et Ch-P. A partir de quelques mesures réalisées à des charges sous maximales, il devient possible d'obtenir des informations très précises sur les qualités de puissance et de vitesse d'un individu dans un mouvement donné. Ainsi, dans le cadre du DC, le profil musculaire réalisé montre que la puissance augmente avec la charge en moyenne jusqu'à 53% du 1RM, puis diminue aux charges supérieures. Ce profil charge-puissance correspond parfaitement avec ce qui est observé dans la littérature pour le développé couché [4,9]. La Pmax varie d'un sujet à l'autre entre 269w et 466w (moyenne : 338 ± 48 watts), et apparaît comme un paramètre discriminant. La vitesse, quant à elle, diminue linéairement avec l'augmentation de la charge, conformément à la littérature [9]. Cette relation apparaît fondamentale car elle établit le lien entre deux qualités musculaires indépendantes : la vitesse et la force. En effet, il apparaît que les sujets les plus forts ne sont pas nécessairement ceux qui développent la plus grande vitesse gestuelle et, inversement, les sujets présentant une vitesse gestuelle élevée ne sont pas nécessairement les plus forts. Des travaux réalisés sur le triceps sural démontrent d'ailleurs que la vitesse de raccourcissement musculaire sans charge n'est pas corrélée à la force isométrique maximale [17]. Par ailleurs, il est reconnu que la composition en fibre musculaire influence l'allure de la relation force-vitesse [18-19]. Dès lors, on comprend tout le sens d'une analyse de la relation Ch-V permettant d'identifier si un sujet présente une diminution

brutale ou progressive de la vitesse avec la charge. Les individus ne sont plus hiérarchisés à partir de leur seule force musculaire, mais également à partir de leur qualité de vitesse.

Si le profil musculaire ne permet pas une appréciation exacte du 1RM, elle autorise une estimation assez précise. En effet, une corrélation étroite ($r = 0,95$) a été observée entre le 1RM et Ch0 obtenue à partir du profil musculaire. Ch0, définie pour une vitesse nulle, apparaît très logiquement supérieure au 1RM qui correspond à la charge la plus élevée pouvant être soulevée complètement. L'analyse de la relation Ch-V montre que le 1RM serait atteint à une vitesse moyenne de $0,21 \pm 0,07 \text{ m.s}^{-1}$, et correspondrait à $88 \pm 4\%$ de Ch0. La formule suivante permet d'estimer le 1RM à partir de Ch0 avec marge d'erreur de 3kg :

$$1\text{RM} = (0,9 \cdot \text{Ch0}) - 1$$

Cette appréciation indirecte de la force maximale à partir d'un profil utilisant des charges sous-maximales présente un intérêt remarquable dans de nombreux contextes d'évaluation, et pourrait apparaître comme une solution aux entraîneurs, physiothérapeutes et scientifiques réticents à l'idée d'évaluer le 1RM. Il est évident que la réalisation des profils musculaires, en permettant de se passer du 1RM et en offrant des informations objectives sur les qualités de vitesse, de puissance et de force, pourrait faire considérablement évoluer la conception de l'évaluation et de l'entraînement en salle de musculation.

La réalisation d'un profil musculaire permet de définir avec précision les zones d'entraînement en fonction de critères objectifs. Les zones d'entraînement observées à partir des relations Ch-V et Ch-P diffèrent significativement de celles que nous avons établies à partir du 1RM ($p < 0,001$). D'après nos résultats, pour solliciter au moins 80% de la vitesse maximale, il faut travailler sous 23% et non entre 0 et 30%. La zone de travail de la puissance s'étend par contre beaucoup plus lorsque l'on se base sur la relation Ch-P (de 25 à 82% du 1RM) plutôt que sur la littérature (30 à 70%). Il importe de préciser que les zones d'entraînement établies en fonction du 1RM ont été définies à partir d'observations réalisées sur des mouvements parfois différents et dans des conditions d'effort inertielles mais aussi isocinétiques [1,3,5,12,20]. Des études scientifiques démontrent d'ailleurs que les relations Ch-V et Ch-P varient d'un mouvement à l'autre [3,7,9] et il est probable que pour un autre exercice que le DC, les zones d'entraînement définies seraient différentes. L'intérêt des profils musculaires inertiels se trouve justement dans cette capacité à individualiser l'entraînement de la vitesse et de la puissance pour chaque mouvement et pour chaque

sujet en fonction de ses caractéristiques. Il apparaît par contre que pour entraîner la force maximale, il est plus pertinent de se baser sur le 1RM que sur les profils inertiels. En effet, l'extrapolation de la relation Ch-V donne une charge théorique maximale (Ch0) qui correspond à un effort isométrique et non à un effort dynamique. Un entraînement de la force maximale basé sur cette valeur surestime donc les charges relatives à utiliser (91 à 114% du 1RM). A partir des profils inertiels, deux approches semblent tout de même intéressantes pour définir les charges d'entraînement de la force maximale, sans devoir absolument évaluer le 1RM. La première consiste à considérer que l'entraînement de la force débute lorsque les charges ne permettent plus de développer 80% de Pmax. Il s'agit de la limite supérieure de la zone d'entraînement de la puissance-force qui est très proche de 80% DU 1RM (en moyenne 81,6% du 1RM). La seconde approche consiste à se baser sur l'estimation du 1RM à partir de la mesure Ch0 et d'en calculer le 80%.

Les zones d'entraînement définies sur base du 1RM offrent une approche intéressante de l'entraînement musculaire qui permet effectivement d'individualiser les charges relatives en fonction du niveau de force de chaque sujet. Nos résultats démontrent cependant qu'en utilisant un profil musculaire inertiel, l'entraîneur sera beaucoup plus précis pour améliorer les qualités de vitesse et de puissance musculaires, particulièrement importantes dans de nombreuses disciplines sportives. Les relations Ch-V et Ch-P établies pour chaque mouvement et chaque sujet permettent de définir avec exactitude les zones optimales de travail de la vitesse, de la puissance-vitesse et de la puissance-force. Une analyse au cas par cas de nos résultats confirme d'ailleurs que des sujets ayant réalisé le même 1RM présentent des profils différents, et devraient, pour une même qualité musculaire, travailler à des charges légèrement différentes (figure 4). L'analyse des profils montre notamment que la Pmax survient à des charges différentes (38kg pour S1 et 29 kg pour S2) malgré un même 1RM. Cette précision et cette individualisation de l'entraînement musculaire deviennent indispensables en sport de haut niveau, lorsque l'on souhaite optimiser la précision et l'efficacité de l'entraînement musculaire.

Conclusion

En appréciant la vitesse et la puissance à des charges sous-maximales, les profils musculaires inertiels permettent, sans obligatoirement passer par le 1RM, une évaluation

précise des relations Ch-V et Ch-P. Les informations récoltées contribuent à l'optimisation de la musculation en permettant l'individualisation du travail basé sur des critères objectifs.

Légendes des figures

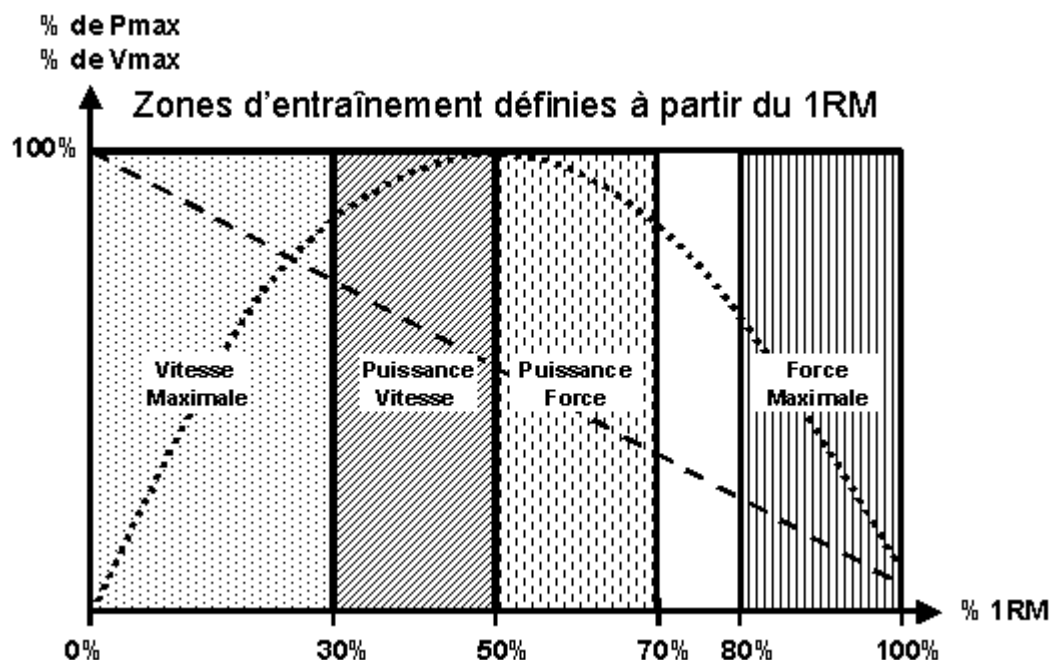


Figure 1 – Zones d'entraînement des qualités musculaires et évolution hypothétique de la vitesse et de la puissance en fonction du 1RM.

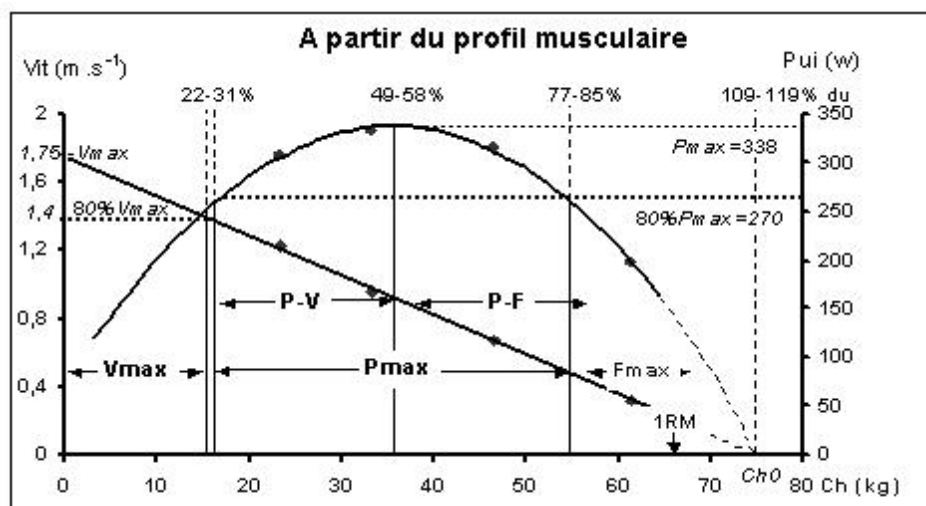


Figure 2 – Relations charge-vitesse et charge-puissance définies à partir du profil musculaire inertiel. Zones d'entraînement établies à partir de critères objectifs de vitesse et de puissance.

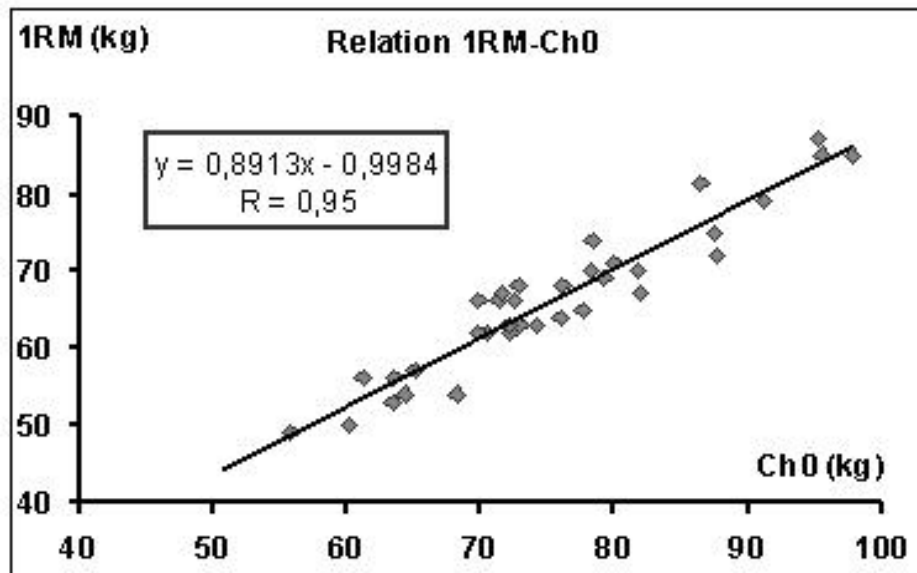


Figure 3 – Corrélation entre le 1RM et Ch0 (charge estimée lorsque vitesse = 0m.s⁻¹).

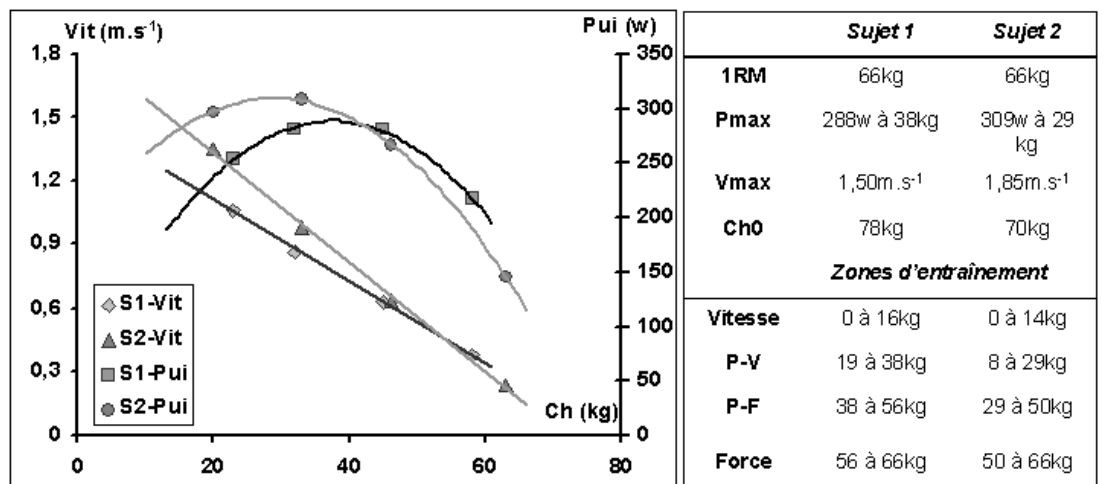


Figure 4 - Relations Ch-V et Ch-P pour deux sujets (S1 et S2) présentant un même 1RM. Caractéristiques musculaires (1RM, Pmax, Vmax, Ch0) et zones d'entraînement établies à partir des profils individuels.

Tableau

Tableau 1 – Tableau comparatif des zones d'entraînement établies à partir du 1RM d'un part et à partir des relation Ch-V et Ch-P d'autre part. Les différences significatives entre les deux approches pour une même zone sont signalées dans le tableau par * ($p < 0,001$).

		Vitesse		Puissance			Force	
				Puis-Vitesse	Puis-Force			
1RM	%1RM	0%	30%	30%	50%	70%	80%	100%
	Charges (kg)	0	19,9±2,9*	19,9±2,9*	33,1±4,8*	46,4±6,8*	55,4±8,4*	66,3±9,7*
Profil	%1RM	0%	22,8±1%	25,2±5,8%	53,5±4,4%	81,6±3,9%	91,3±4,1%	114,1±5,1%
	Charges (kg)	0	15,1±2,1*	16,6±4,3*	35,3±5,2*	54±7,9*	60,4±8,3*	75,5±10,4*

Références

1. ACSM (American College of Sports Medicine). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002 ; 34 : 364-380.
2. Bosco C, Belli A, Astrua M, Tihanyi J, Pozzo R, Kellis S, et al. A dynamometer for evaluation of dynamic muscle work. *Eur J Appl Physiol* 1995 ; 70 : 379-386.
3. Cormie P, McCaulley GO, Triplett NT, McBride JM. Optimal Loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Ex* 2007 ; 39 : 340-349.
4. Cronin JB, McNair PJ, Marshall RN. The role of maximal strength and load on initial power production. *Med Sci Sports Exerc* 2000 ; 32 : 1763-1769.
5. Cronin J, Sleivert G. Challenge in understanding the training influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Med* 2005 ; 35 : 213-234.
6. Dohoney P, Chromiak JA, Lemire D, Abadie B, Kovacs C Prediction of one repetition maximum (1-RM) strength from a 4-6 RM and a 7-10 RM submaximal strength test in healthy young adult males. *J Exerc Physiol Online* 2002 ; 5 : 54-59.
7. Funato K, Matsuo A, Fukunaga T. Measurement of specific movement power application: evaluation of weight lifters. *Ergonomics* 2000 ; 43 : 40-54.
8. Horvat M, Ramsey V, Franklin C, Gavin C, Palumbo T, Glass LA. A method for predicting maximal strength in collegiate women athletes. *J Strength Cond Res* 2003 ; 17: 324-328.

9. Jidovtseff B, Croisier JL, Lhermerout C, Serre L, Sac D, Crielaard JM. The concept of iso-inertial assessment: reproducibility analysis and descriptive data. *Isokinetics Exerc Sci* 2006 ; 14 : 53-62.
10. Jidovtseff B, Croisier JL, Demoulin C, Crielaard JM. Evaluation inertielle : état de la question et perspectives. *Sci Sports* 2008 ; 23 : 107-117.
11. Kaneko M, Fuchimoto T, Toji H, Sueti K. Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand J Med Sci Sports*. 1986 ; 5 : 50-55.
12. Miller C. Développement des capacités musculaires. In : *Entraînement de la force - spécificité et planification*. Les cahiers de l'INSEP 1997 ; 21 : p49-84.
13. Murphy AJ, Wilson GJ, Pryor JF. Use of the iso-inertial force mass relationship in the prediction of dynamic human performance. *Eur J Appl Physiol* 1994 ; 69: 250-257.
14. Pereira M, Gomes P. Muscular strength and endurance tests : reliability and prediction of one repetition maximum – review and new evidences. *Rev Bras Med Esporte* 2003 ; 9 : 336-346.
15. Rahmani A, Dalleau G, Viale F, Hautier C, Lacour JR. Validity and reliability of kinematic device for measuring the force developed during squatting. *J Appl Biomech* 2000 ; 16 : 26-35.
16. Rahmani A, Viale F, Dalleau G, Lacour JR. Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *Eur J Appl Physiol* 2001 ; 84 : 227-232.
17. Sasaki K, Ishii N. Shortening velocity of human triceps surae muscle measured with the slack test in vivo. *J Physiol* 2005 ; 567 : 1047-1056.
18. Thorstensson, A. Grimby, G. Karlsson, J. Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol* 1976 ; 40 :12-16.
19. Tihanyi J, Apor P, Fekete G. Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1982 ; 48 : 331-343.
20. Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 1993 ; 25 : 1279-1286.