HAL
open science

L'importance de la quantification de la charge d'entraînement : exemple d'un modèle

Adrien Sedeaud, Jean-Marc Sène, Norbert Krantz, Guillaume Saulière, Issa Moussa, Jean-François Toussaint

To cite this version:

Adrien Sedeaud, Jean-Marc Sène, Norbert Krantz, Guillaume Saulière, Issa Moussa, et al.. L'importance de la quantification de la charge d'entraînement : exemple d'un modèle . Science & Sports, 2018, 33 (1), pp.22-32. hal-01718076

HAL Id: hal-01718076

https://insep.hal.science/hal-01718076v1

Submitted on 27 Feb 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.

MISE AU POINT

L'importance de la quantification de la charge d'entraînement : exemple d'un modèle

The importance of quantifying training loads: A model example

A. Sedeaud[a,*,b], J.M. Sène[c,d], N. Krantz[e], G. Saulière[a,b], I. Moussa[a,b], J.F. Toussaint[a,b,f]

[a] *IRMES, institut de recherche biomédicale et d'épidémiologie du sport, INSEP, institut national du sport de l'expertise et de la performance, 11, avenue du Tremblay, 75012 Paris, France*
[b] *EA7329, université Paris-Descartes, Sorbonne Paris Cité, 12, rue de l'École-de-Médecine, 75006 Paris, France*
[c] *Service médical INSEP, 11, avenue du Tremblay, 75012 Paris, France*
[d] *FFJDA, médecin des équipes de France de judo, 21—25, avenue de la Porte-de-Chatillon, 75014 Paris, France*
[e] *Cellule d'aide méthodologique à la performance, institut national du sport de l'expertise et de la performance, 11, avenue du Tremblay, 75012 Paris, France*
[f] *CIMS, Hôtel-Dieu, Assistance publique des Hôpitaux de Paris, Parvis-Notre-Dame, 75004 Paris, France*

MOTS CLÉS
Charges d'entraînement ;
Optimisation ;
Blessures ;
Suivi ;
Préparation physique

Résumé
Objectifs. — Souligner la nécessité et l'intérêt de la mise en place de modèles de quantification de charge dans le sport de haut niveau.
Actualités. — Parfois délaissé, y compris dans le sport de haut niveau, notamment par son aspect chronophage, la quantification de la charge d'entraînement revêt pourtant de grands intérêts. Il est essentiel de replacer au centre de la programmation la quantification de la charge afin que la pierre névralgique de tout entraînement retrouve la place qui est la sienne.
Perspectives et projets. — Ceci devra passer par la mise en place de modèles mixtes, incluant charge externe et interne. De récents articles positionnent les indicateurs de charges internes

* Auteur correspondant.
Adresse e-mail : Adrien.sedeaud@insep.fr (A. Sedeaud).

comme prépondérants et soulignent la bonne connaissance des athlètes sur leur ressenti de niveau de fatigue, récupération ou intensité des séances. Un modèle récent de ratio de charges prenant en compte la charge chronique et la charge actuelle, paraît extrêmement pertinent. Ce positionnement autour de ratios aiguë/chronique est à extrapoler sur d'autres variables de suivi et intéressant à croiser avec du monitoring de la fatigue et des blessures.
Conclusion. — Ce type de modèle s'avère utile à la préparation physique, au suivi d'entraînement, à la prévention de la blessure, la réathlétisation face aux exigences compétitives. Par ailleurs, le calcul du ratio de charge peut se révéler transférable à tous les sports et tous les niveaux.

KEYWORDS
Training load quantification;
Optimization;
Injuries;
Strength and conditioning

Summary
Objectives. — Emphasize the importance of setting up training load quantification models in sport.
News. — Sometimes neglected due to its time-consuming aspect, the quantification of training loads proves to be of great interest nevertheless, including in high performance sport. It is essential to place load quantification at the center of the training program so that it regains its main role within practice.
Perspectives. — This will have to go through the setting up of mixed models, including external and internal loads. Recent articles have placed internal loads as predominant indicators, which highlight the athlete's knowledge on how they perceive fatigue, recovery or session intensity. A recent model of loads ratio taking into account the chronic load and the acute load seems extremely relevant. This reflection on acute/chronic ratios needs to be extrapolated to other variables of follow-up and to cross with the monitoring of fatigue and injuries.
Conclusion. — This model is useful for physical preparation, training monitoring, injury prevention and reathletisation in accordance to competitive requirements. Moreover, the computing of the ratio load could be transferable to all sports and all levels.

1. Introduction

Une des quêtes des entraîneurs et préparateurs physiques est d'atteindre une charge suffisamment importante afin d'améliorer les qualités ciblées, en gérant la magnitude de la fatigue qui peut conduire au seuil fatidique amenant à la blessure [1]. En miroir de la charge d'entraînement, le niveau de fatigue est un marqueur qu'il convient également de quantifier. Ce qui place le staff sur une « ligne de crête » qu'il est nécessaire d'objectiver afin d'optimiser la balance entre développement de la performance et instauration d'un certain niveau de fatigue qui mal ajustée peut conduire à la survenue de la blessure. Car, en effet, une programmation pertinente doit non seulement impliquer une surcharge, mais cette dernière ne doit pas se combiner à une récupération insuffisante [2]. Lorsque l'on parle de fatigue, quatre stades deviennent pertinents [2] :

- la fatigue aiguë : qui peut se manifester par une fatigue perçue mais réversible, avec une restauration des niveaux de performance sous 24 à 36 heures ;
- le surmenage fonctionnel : qui repose sur une perception de fatigue très intense, mais réversible en 1 à 2 semaines, avec une restauration des niveaux de performance possible durant cette période ;
- le surmenage non fonctionnel : résulte d'une fatigue très intense et persistante au-delà 2 à 3 semaines, avec une diminution des niveaux de performance elle aussi persistante et aucun phénomène de surcompensation observé ;
- le surentraînement : s'exprime par une fatigue perçue très intense et persistante, associée à une détérioration persistante du niveau de performance durant plus d'un mois et ce malgré le respect d'une faible charge d'entraînement.

Face à cette graduation, le suivi de la charge d'entraînement se présente comme un levier de compréhension d'émergence de la fatigue des athlètes [3]. Une quantification appropriée peut amener à déterminer si un athlète s'adapte à l'entraînement en ne franchissant pas la ligne du surmenage non fonctionnel [3]. Dès lors que l'on parle de planification de l'entraînement ou de programmation du rapport volume/intensité de ce dernier, la première étape résonne déjà avec la première difficulté. Il s'agit de quantifier la charge. La rationalisation de la charge d'entraînement repose sur deux grands types de paramètres :

- la charge externe qui correspond aux caractéristiques de l'exercice (intensité, volume...) [4], pouvant être mesurée par des paramètres comme la distance totale parcourue, le temps total d'entraînement, les tonnes soulevées, le % d'une répétition maximale (RM), le nombre et l'intensité des sprints, mais également les nouveaux outils

tels qu'accéléromètres tridimensionnels, GPS, capteurs de puissance, *tracking video*, gyroscopes... ;
- la charge interne qui est perçue comme l'ensemble des adaptations aiguës et chroniques (positives ou négatives) de l'organisme à la charge externe [4]. Cette dernière est souvent appréhendée par les variables psychométriques (RPE : *rate of perceived exertion*), échelle de Borg, questionnaire de ressenti, questionnaire de courbatures...) ou les variables physiologiques et biologiques (fréquence cardiaque, lactatémie, activité en créatine-kinase [CK]...).

À l'interface de ces deux familles historiques (charges interne et externe) viennent se placer les modèles mixtes incluant charge interne et charge externe. Cette thématique a vu se développer des modèles qui ont montré leur utilité, tels celui de Banister et al. Ce dernier repose sur le *training impulse* (pour TRIMP) perçu comme un indice du stimulus pour quantifier la charge d'entraînement de l'athlète en prenant en compte le volume et l'intensité de la charge à partir de la fréquence cardiaque maximale, de repos et durant l'exercice [5]. Ce modèle offre également des facteurs de pondération selon le sexe. Il a pu montrer certaines limites vis-à-vis des exercices maximaux et supramaximaux, ceux de types force, puissance et vitesse [6] ainsi que des difficultés de mise en œuvre. Une autre méthode reconnue est celle de Foster qui appréhende la charge d'entraînement à partir de la difficulté subjective de la séance (RPE) multipliée par sa durée (min) [7,8]. Cette dernière présente la possibilité de quantification d'activités et d'intensités très variées et fut même utilisée comme indicateur du surentraînement [9]. Des méthodes plus récentes, telle que la WER, pour *work endurance recovery*, proposent des équations de charge en rapport avec l'épuisement par une prise en compte de valeurs objectives précises relativisées par des paramètres subjectifs [10,11]. Des exemples de relation entre charge récente (charges des derniers jours, aussi mentionnées sous le nom de charges aiguës) et charge cumulative ont été mis en place. Banister et al. parlent de « fitness » (que l'on pourrait traduire par la forme ou plus exactement la condition physique) pour l'expression de la charge des 3 à 6 dernières semaines et de « fatigue » pour celle de la dernière semaine [5]. Allen et Coggan, quant à eux, dans un rapport de quantification de charge chronique et aiguë parlent des effets bénéfiques et potentiellement délétères de l'entraînement en se focalisant sur l'équilibrage du stress d'entraînement (*training-stress balance*) [12]. Ces ratios ont cependant été exclusivement utilisés dans la planification et la préparation. Sur ce socle, l'équipe de Tim Gabbett, propose un ratio de charge aiguë sur charge chronique indiquant à la fois le risque de blessure et la capacité physique à performer [13—15]. Le développement de cet outil revêt des intérêts de transversalité et transférabilité. Transversalité puisque cet outil offre une utilité dans la préparation physique, le suivi d'entraînement, la prévention de la blessure, la réathlétisation et la disponibilité des athlètes en adéquation à la demande compétitive. Transférable, car le calcul de ratio de charge est utilisable pour tous les sports. La spécificité de chaque discipline naît des particularités des indicateurs de charges (internes et externes) spécifiques à chaque sport, ce qui fait également de cet outil un modèle d'optimisation de la préparation et de prévention des blessures comparable de sport à sport.

L'objectif de cette revue est de souligner l'intérêt de la mise en place de modèles de quantification de charge dans le sport de haut niveau. Une approche intégrative est nécessaire et pour cette raison les charges internes et externes se doivent d'être jumelées afin de fournir une plus grande rationalisation du stress d'entraînement [16]. De plus, ce type de modèle est extrapolable du sédentaire se mettant en activité aux sportifs de bon, voire très bon niveau. L'aspect transversal de ce type d'outil repose sur trois parties :

- utilité dans la préparation physique et le suivi d'entraînement au quotidien ;
- utilité pour appréhender les conditions de survenue de la blessure et leur prévention ;
- outils de réathlétisation et de la disponibilité des athlètes en adéquation à la demande compétitive.

2. Utilité dans la préparation physique et l'entraînement au quotidien

2.1. Le ratio proposé

L'indice proposé est celui du ratio de charge aiguë sur charge chronique. Ce ratio représente la charge supportée durant la semaine actuelle, relativement à la charge des 4 dernières semaines : concrètement la moyenne des charges hebdomadaire (charge aiguë), sur la moyenne des charges du mois précédent (charge chronique). Si la charge chronique est élevée, l'athlète développe sa forme physique. Si, associée à cette charge chronique, une charge aiguë faible est mesurée alors l'athlète expérimente un minimum de fatigue. Par contre, si l'athlète présente une charge aiguë supérieure à la charge chronique, le sportif est considéré comme assujetti au risque de blessures [1]. Un ratio de 0,5 signifie que l'athlète s'est entraîné deux fois moins lors de la semaine passée comparée à la moyenne des quatre semaines précédentes. Un ratio de 2,0 signifie que l'athlète s'est entraîné deux fois plus lors de la semaine passée par rapport aux quatre semaines précédentes.

L'utilisation de ce ratio met en exergue à la fois les conséquences positives et négatives de l'entraînement [13]. Plus important encore, il considère la charge d'entraînement soutenue par l'athlète en fonction de la charge d'entraînement pour laquelle il/elle a été préparé(e). Ces notions de charge chronique/charge aiguë reposent sur les modèles de périodisation traditionnels : microcycles d'une semaine et mésocycles pour la charge chronique [17].

2.2. Individualisation

Ce ratio, calculé pour chaque athlète, permet d'affiner le suivi individuel de la charge d'entraînement afin de fournir des retours quotidiens aux athlètes et entraîneurs. La dynamique des charges se dessine pour chaque athlète selon l'une des trois zones : que l'on pourrait catégoriser de « fatigue », « zone de développement minimisant le risque » et « sous-entraînement » (Fig. 1). Le sous-entraînement

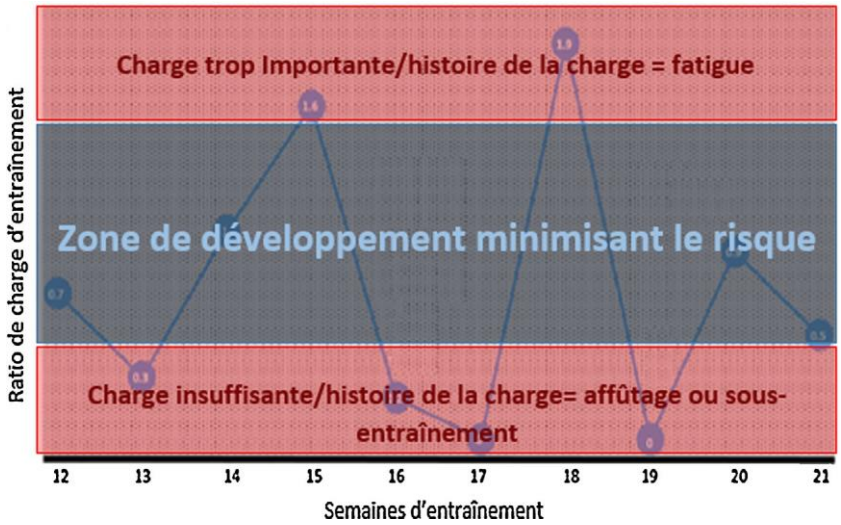

Figure 1 Ratio charge aiguë/charge chronique, adapté de Blanch et Gabbett [41].

pouvant être perçu comme le moment où les perturbations qui découlent de l'entraînement ne créent plus d'adaptations ou d'améliorations. Ce ratio permet également d'alimenter un modèle de type « zone de développement » en évitant le surentraînement ou le sous-entraînement. Ce type d'outils offre, « l'occasion de mieux appréhender sur un plan longitudinal et cumulatif, les effets de la charge » N. Krantz In Les Cahiers de l'INSEP nº 33, sur « La charge de travail en sport de haut niveau » [18]. Des alertes peuvent être fournies aux entraîneurs dès lors qu'un(e) athlète se situera dans les zones de fatigue ou de sous-entraînement. De plus, ce modèle par sa transférabilité s'enrichit de l'apport d'autres sports afin de l'incrémenter de nouvelles données pour affiner la zone de développement la plus rentable et la moins traumatique. L'intérêt de ce type d'outil réside dans le ratio qui reste comparable entre sports, mais qui reflète les spécificités en termes de charges externes et internes de chaque sport. Ce modèle peut être implémenté par certains tests statistiques de type z-score ou z-score amélioré [19] permettant la détection de valeurs atypiques parmi une série longitudinale. Cette méthode de détection offre la possibilité de détecter des variations intra-individuelles au sein d'une série longitudinale de valeurs. Cela permet de déterminer à quel moment un athlète dans sa cinétique de ratio de charge s'écarte de sa propre variabilité et rentre dans une zone plus à risque. L'intérêt de cette méthode réside dans la capacité à analyser le ratio d'un athlète et à la comparer à ses ratios antérieurs. Elle permet de suivre l'évolution de l'entraînement et de détecter non seulement des changements importants, mais aussi à quels moments ils interviennent dans une série. Concrètement, cet outil peut fournir des informations afin de déceler le moment où le franchissement des limites signale une phase de surentraînement, de sous-entraînement ou un risque augmenté de blessure. De plus, cette détection permet un affinement individuel, c'est-à-dire qu'un niveau de variation pour un/une athlète pourra se révéler à risque alors que la même variation ne le sera pas pour un/une autre athlète au regard de l'histoire propre des cinétiques de charge.

2.3. Calibrer la montée en puissance

Ce type d'outil offre la possibilité d'une meilleure opérationnalisation du principe de progressivité de la charge : notion fondamentale afin d'augmenter la charge en minimisant le risque de blessures (Fig. 2). La Fig. 2 met en évidence que le risque de blessure est minimisé lorsque les variations de charge de semaine à semaine restent inférieures à 10 % (8 % de risque de blessure). Par contre, avec des variations hebdomadaires de l'ordre de 15—20 %, le risque augmente entre 20—25 % et s'accroît graduellement pour atteindre près de 50 % de risque avec des variations massives de charge [13]. Piggott a pu montrer que 40 % des blessures observées lors d'une présaison étaient associées à un changement brutal de la charge [20]. D'autres travaux ont également mis en avant que l'augmentation du risque de blessure s'observait avec des variations importantes mesurées par la charge interne [21]. Dans le cadre du sport de haut niveau, les

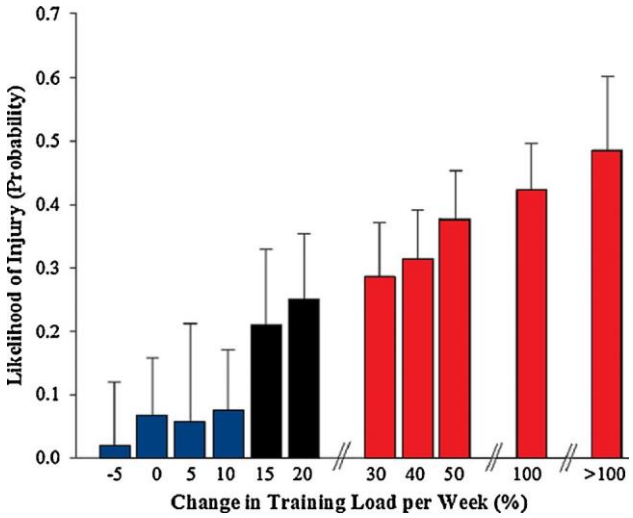

Figure 2 Relation entre charge d'entrainement et taux de blessures, adaptée de Gabbett [13].

charges d'entraînement importantes ainsi que l'habitude à s'entraîner « durement » sont nécessaires et essentielles afin de mettre les athlètes en adéquation avec la demande compétitive [13]. Pour autant, il n'y aura une amélioration de la capacité de performance que si et seulement si l'athlète est en surmenage fonctionnel ou à un niveau de fatigue inférieur, c'est-à-dire s'il est en capacité d'assimiler toutes les charges d'entraînement. Dans les sports individuels (natation et athlétisme), un volume d'entraînement conséquent [7,22] ou des intensités importantes [22,23] améliorent la performance. Chez des footballeurs élite, une charge aiguë plus élevée a été associée à la victoire (comparée à la charge de la semaine précédant une défaite), alors qu'un ratio supérieur à 1 augmenterait la probabilité de défaite [24]. Ce qui fait consensus est le fait que les athlètes doivent avoir été en mesure de soutenir de grandes charges ou de fortes intensités afin de préparer leurs organismes aux sollicitations extrêmes de la compétition. Ils doivent parvenir à un ratio se trouvant dans la zone dite « optimale » : ni trop fatigué, ni insuffisamment préparé. Dans le but d'affiner ces zones, il est judicieux de croiser avec d'autres marqueurs de fatigue connus (échelle visuelle analogique du ressenti de fatigue, rapport testostérone/cortisol, activité en CK...). Puisqu'il n'existe pas de marqueur idoine, précis fiable et valide du niveau de fatigue et de la forme physique [25], le croisement de variables liées est une solution. La réelle question n'est pas de savoir si les athlètes doivent encaisser des charges conséquentes et intenses, mais de quelle manière nous pouvons les accompagner à ces hautes charges en minimisant le risque de blessures.

2.4. Affûtage

La quantification de la charge a été amplement utilisée pour la périodisation de l'entraînement ainsi que le calibrage de la période d'affûtage [5,26—29]. L'affûtage perçu comme une diminution de la charge d'entraînement au cours d'une période de durée variable, avec comme objectif de réduire la fatigue physiologique et psychologique induite par les cycles d'entraînement précédents, et ainsi optimiser la performance [30], se doit d'être objectivé. Ce modèle de quantification de charges d'entraînement étayé par d'autres variables de suivi (fatigue, sommeil...) peut permettre d'affiner l'ajustement de la période d'affûtage afin de ne pas basculer dans une probabilité de risque trop important par rapport à la charge de compétition. De plus, l'individualisation du rebond lors de surcompensation attendue lors des périodes d'affûtage peut être déclinée selon l'état de forme exprimé par la charge chronique.

2.5. Disponibilité des athlètes

Selon les investigateurs, la comparaison de la charge aiguë sur la charge chronique fournit un index de l'état de préparation physique des athlètes [13]. En corollaire, des seuils de développement individuels minimisant le risque de blessure et mesurant les probabilités d'adéquation de la préparation avec la demande compétitive peuvent être fournis. En effet sur un suivi de deux ans, [14] ces auteurs ont montré que les athlètes avec un profil de haute charge chronique associée à un ratio modéré (entre 1,02 et 1,18) présentaient une

Figure 3 Relation entre charge d'entrainement et taux de blessures, adaptée de Gabbett [33].

plus grande disponibilité et une adéquation à la demande compétitive plus élevée que les athlètes avec une charge chronique basse. Dans la pratique, il est cependant possible d'avoir le même indice avec des charges chroniques et aiguës différentes, ces variabilités interindividuelles sont à considérer.

Ce type de modèle peut permettre de faire travailler chaque athlète dans la zone la plus optimale avec un système d'alerte objectivé et individualisé pour le staff. Il peut fournir des alertes aux entraîneurs lorsqu'un(e) athlète se trouve dans une zone de sous-entraînement ou de surentraînement, ou lorsque la progressivité de la charge est trop brutale, générant un risque. Ce ratio est un outil d'accompagnement de la charge d'entraînement qui doit permettre de réduire le risque de blessure.

3. Utilité pour appréhender les conditions de survenue de la blessure et leur prévention

3.1. Contexte et paradoxe

La blessure apparaît parfois dans un contexte paradoxal : de nombreuses études ont démontré un plus grand risque de blessures avec l'augmentation de la charge d'entraînement [9,22,23,31—36] (Fig. 3). Cependant, parmi de nombreux sports, des qualités physiques bien développées sont associées à une réduction du risque de blessures [13,37—40]. Par exemple en rugby à XIII, une charge chronique importante est associée à un risque réduit de blessure [14].

3.2. Suivi individuel et exposition au risque

Dans cette relation charge-blessure, une notion essentielle est celle de la progressivité de la charge (Fig. 2). Le risque réside dans les grandes variations du ratio de charge (c'est-à-dire charge aiguë sur charge chronique) et surtout des pics élevés de ce ratio dépassant 1,5 sont associés à une augmentation du risque de blessure [1]. Une valeur de 1,5 apparaît comme le point où le risque de blessure explose et où la balance entre amélioration des performances et risque de blessure doit être reconsidéré [41]. Cependant, une réflexion par sport et ses contraintes spécifiques doit être au préalable réalisée. La définition comme les

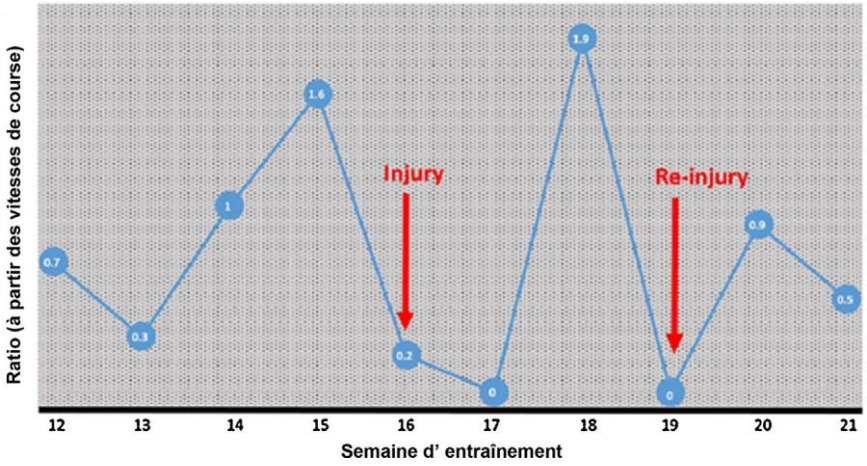

Figure 4 Ratio charge aiguë/charge chronique et survenues des blessures, issue de Blanch et Gabbett [41].

conditions de survenue des blessures nécessitent à elles seules une approche sport-spécifique, et les liens avec les blessures qu'elles soient traumatiques ou dites de « surutilisation », le stade de gravité, le fait que ce soit une récidive ou non doivent être renseignés. Par exemple dans le rugby, les « *soft tissue* » (i.e. muscles, tendons, ligaments, fascia) sont identifiés comme le types de blessures les plus courantes [42]. Ce qui fait sens, puisque les régimes musculaires sollicités dans la répétition de sprint (accélérations et décélérations) sont majoritaires. De plus, rien que dans ce sport les causes de blessures sont en premier lieu liées aux contacts puis aux courses. Il convient donc en premier lieu de considérer les contraintes spécifiques du sport observé ainsi que l'occurrence, la localisation, la gravité et l'étiologie des blessures. Sur la Fig. 4, l'apparition de la première blessure et la rechute interviennent juste après des pics dans l'expression du ratio de charge. Ce sont les augmentations rapides de la charge de travail, ici les courses à grandes vitesses dans le rugby à XII, qui semblent responsables d'une grande proportion de blessures « hors contact » [41]. Ces types de blessures, qui peuvent être considérées comme reliées à la charge d'entraînement, peuvent être considérées comme partiellement évitables [13]. En effet, lors de l'apparition de blessures, l'analyse des cinétiques de ratio de charges au regard des indices de fatigue, de sommeil, de marqueurs biologiques offre l'opportunité d'identifier de potentiels facteurs prédictifs (exemple des pics de ratio Fig. 4). L'utilisation de tests de type z-score, offrant la possibilité de détecter des valeurs atypiques parmi une série longitudinale d'un individu, permet d'individualiser les seuils de risque de blessures et de détecter les variations trop importantes dans les cinétiques de charge exposant au risque. Cette individualisation est nécessaire puisque pour certain(e)s athlètes de petites variations de charges signifieront une augmentation de l'exposition aux risques alors que pour d'autres de grandes fluctuations ne les prédisposeront pas forcément à une augmentation du risque de blessure. À partir des cinétiques de ces ratios de charges, la détection de variabilité intra-individuelle permet de fournir des seuils propres à chaque athlète. Ces seuils individuels offrent la possibilité de situer chaque athlète dans une des 3 zones : « fatigue », « zone de développement minimisant le risque » et « sous-entraînement » (Fig. 1).

Pour autant, la tâche n'est pas simple puisque dans ces liens à la blessure, la charge est essentiellement appréhendée de deux façons.

- la première démarche considère la charge de manière cumulative (somme des charges d'entraînement). Dans ce cas, l'augmentation de cette dernière accroît le risque de blessure [43—46]. La limite de cette méthode réside dans le fait que de très hautes charges d'entraînement peuvent être atteintes de différentes façons (certes par le volume, mais aussi par l'intensité, la fréquence ou la combinaison d'activités). Il devient donc inadéquat de mesurer les hautes charges *per se* en supposant le même facteur contributif au risque de blessure ;
- la seconde méthode repose sur le changement de charge, souvent exprimé en pourcentage entre différentes périodes, encore appelée charge relative (par exemple semaine 1 vs. semaine 2). L'augmentation de cette charge relative a quant à elle été corrélée à l'augmentation du taux de blessures [21,43,47,48].

Le ratio de charge proposé se positionne à l'interface de ces deux méthodes. En effet, dans cette méthode, la charge cumulative est prise en compte (4 dernières semaines, représentant le fond physique ou en nomenclature de terrain « la caisse »), mais elle est mise en relation avec la charge de la semaine actuelle (les auteurs parlent de « statut de fatigue »).

Dans ces travaux de suivi de deux ans d'une équipe de rugby à XIII, Tim Gabbett, en utilisant la charge de travail à partir des sessions RPE, établit une probabilité du risque de blessure [49]. Ce modèle de quantification de la charge peut aider à déterminer dans quelle mesure les blessures liées à la charge peuvent être évitées. Dans ce cas, des retours individualisés par athlète peuvent alerter le staff lorsque les niveaux de charges se situeraient en dehors des zones de développement minimisant le risque (Fig. 5).

Lorsque le ratio de charge se situe entre 0,8 et 1,3 (permettant une diminution contrôlée de la charge par rapport aux semaines précédentes (affûtage, gestion d'une autre période de la préparation, réathlétisation...) ou une augmentation maîtrisée (développement minimisant le risque) (Fig. 5), alors la probabilité de blessures des

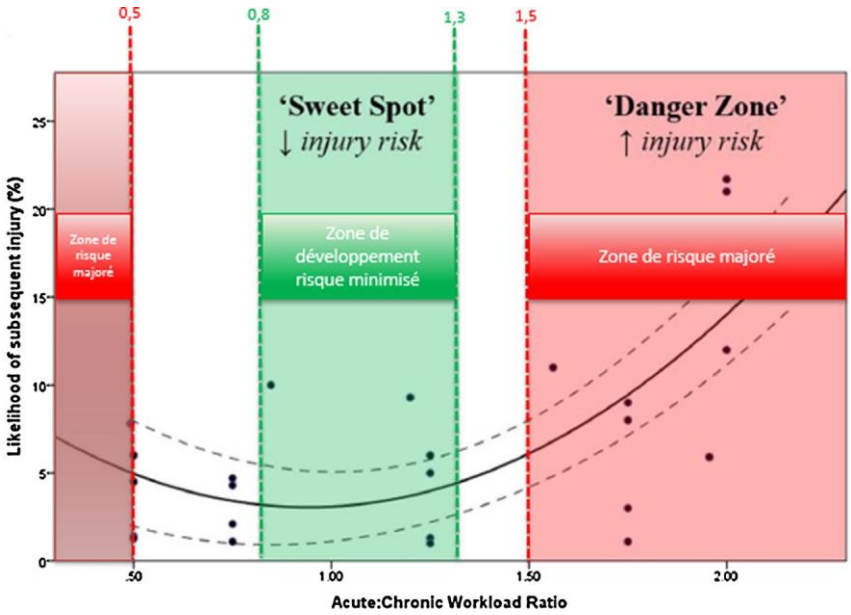

Figure 5 Modèle utilisable dans le suivi quotidien d'athlète entre le ratio de charge et la probabilité de se blesser, adapté de Gabbett [13]. La zone verte représente la zone optimale où le risque de blessure est minimisé.

lanceurs (cricket) est inférieure à 4 % [50]. Par contre, dès lors que ce ratio dépasse 1,5 (c'est-à-dire que la charge d'entraînement de la semaine était 1,5 fois plus élevée que la moyenne des 4 dernières semaines) alors le risque de blessure se trouve significativement augmenté [14,50].

Pour autant, les athlètes accoutumés aux hautes charges d'entraînement présentent moins de blessures que ceux qui ne s'exposent qu'à de faibles charges [13,14,37,50,51] qui, plus exactement, sont trop faibles en vue d'une performance espérée. Finalement, des évidences émergent : le surentraînement comme le sous-entraînement augmentent le risque de se blesser [1,13,41,43,44,52]. Plus exactement, la capacité à avoir encaissé de fortes charges d'entraînement (haute charge chronique) procure un effet protecteur en minimisant l'influence de la fatigue (charge aiguë) [50]. Notamment en générant des adaptations physiques et physiologiques afin de tolérer ultérieurement la demande compétitive.

3.3. Vers un modèle mixte (charge externe + charge interne)

Une approche cumulant charge interne et externe a été mise en place afin de mesurer les effets positifs ou négatifs du stress d'entraînement. Les athlètes avec une charge interne doublant d'une semaine à l'autre présentaient un risque multiplié par 4,5 par rapport à ceux dont la charge avait peu varié. Alors que les athlètes avec une charge externe doublant d'une semaine à l'autre présentaient un risque multiplié par 3,3 par apport à leurs homologues à charge stable [50]. De plus, 63 % des blessures apparaissent une semaine après une inversion du stress d'entraînement, mesurée à partir de la charge externe (57 % à partir de la charge interne) [50]. En conséquent, l'interprétation et l'incorporation de ces deux types de paramètres de quantification doivent être considérées. La charge interne présente l'intérêt d'englober à travers une seule mesure le ressenti lors d'entraînement, de préparation physique ou de compétition. Des raffinements offrent des interprétations à l'interface de l'effort perçu et du plaisir ressenti, les auteurs parlent de charge affective [53]. Ces indicateurs, qu'ils soient internes ou externes, recueillis et pensés par les athlètes, entraîneurs, préparateurs physiques, staff médical, ne pourront que par le suivi longitudinal de l'ensemble de ces derniers (charge, fatigue, sommeil ...) permettre de tester et améliorer la mise en place de modèle de détection du risque de blessure selon la charge d'entraînement [50].

3.4. Utilité entre chaque compétition

Ce ratio de charge a également été utilisé dans la préparation hebdomadaire entre deux matchs de rugby. Cet outil s'avère également utile dans la quantification et la minimisation du risque de blessure entre les matchs ou les compétitions, selon le temps de récupération [15]. Sur un suivi de deux ans, ces auteurs ont pu montrer que lorsque le temps de récupération était plus faible, une charge chronique élevée était associée à une réduction du risque de blessure. Par contre, les joueurs qui présentaient un ratio élevé (> 1,6) (charge aiguë nettement supérieur à charge chronique) étaient 3,4 à 5,8 fois plus à risque de se blesser [15]. Cet article montre que la charge peut être manipulée dans des situations de délai de récupération court afin de diminuer l'exposition au risque de blessure. Récemment, un suivi de 7 ans, sur 15 équipes de première division de rugby anglais utilisait des indicateurs chroniques et aiguës de matchs. Le principe de ratio a également prouvé un intérêt dans le suivi des matchs de rugby. Les auteurs ont, tout d'abord montré qu'en dessous 15 matchs et au-dessus 35 par saison, le risque de blessure était augmenté [54]. Par la suite, ces derniers utilisent un ratio nombre de minutes jouées lors du dernier mois sur le nombre de match lors des

12 derniers. Ils ont révélé qu'une augmentation importante du nombre de minutes jouées dans le mois sur un nombre de match lors de la dernière année faible augmentait le risque de blessure [54].

Cette utilisation objectivable des charges d'entraînement et de compétitions permet un accompagnement rationnel de la montée en puissance en minimisant le risque. Cependant si une blessure survient, ce ratio devient utile afin d'identifier de potentiels facteurs prédictifs.

4. Outils de réathlétisation et de la disponibilité des athlètes en adéquation à la demande compétitive

Alors qu'il existe de nombreux tests fonctionnels afin de mesurer les progrès réalisés par des athlètes blessés, il n'existe que très peu d'outils en mesure de calculer une probabilité de retour à la compétition identifiant le risque encouru. Quelques modèles d'évaluation médicale de retour au sport existent [55,56], mais il ne prennent cependant pas en compte les modalités d'entraînement ainsi que les éléments relevant de la planification (intensité, charge ou durée d'exercices). Aujourd'hui, de nombreux tests fonctionnels sont appliqués (comme le temps de course ou les sauts verticaux) afin d'évaluer les athlètes. Nombre d'entre eux jaugent la capacité de l'athlète à effectuer une tâche finalement très spécifique, mais souvent éloignée de la discipline concernée. Ces tests distants de l'entraînement ou de la compétition ne sont donc pas prédicteurs d'une future blessure [57]. Plusieurs tests de détection de risque de blessures existent (questionnaires, tests isocinétiques, tests physiques, de flexibilité), mais également éloignés des spécificités de la pratique et ne caractérisant finalement qu'une habileté dans une tâche unique. Selon McCall et al. [58], sur 44 clubs de football professionnels anglais, les tests les plus utilisés à des fins de détection de risque de blessure sont le *functional movement system* (FMS), les questionnaires (de type échelle RPE) et les mesures isocinétiques utilisés respectivement par 29 %, 27 % et 18 % des clubs. Néanmoins, aucun de ces tests ne permet de s'étalonner par rapport à la demande compétitive ou ce à quoi l'athlète a été préparé dans les dernières semaines. Aucun de ces tests n'estime le risque de retour en fonction des possibilités actuelles des athlètes. Dans ce cadre, le rapport de la charge aiguë sur la charge chronique (capacité actuelle à soutenir une charge de type compétitive par rapport à la charge soutenue lors des dernières semaines) est déterminant. En effet, à partir de ce rapport, des probabilités de retour à l'entraînement ainsi qu'à la compétition pourront être calculées (Fig. 6). Le ratio de charge hebdomadaire va permettre de générer des probabilités de rechute si l'athlète se met en situation de compétition ainsi que le niveau d'adéquation de la condition d'un athlète par rapport à la demande compétitive (Fig. 6). Par exemple, un athlète qui a suivi, sur la semaine écoulée, 100 % de la charge prévue par les entraîneurs (*acute workload* = charge aiguë), mais qui sur les 4 dernières semaines en conséquence de la rééducation et réathlétisation n'a en moyenne soutenu que 40 % de la charge programmée (*chronic workload* = charge chronique), s'expose à une probabilité de blessure de l'ordre de 28,2 % sur la semaine

Chronic workload (% of normal average)								
	110	4.7	4.1	3.6	3.4	3.2	3.3	3.5
	100	4.3	3.7	3.4	3.3	3.3	3.6	4.0
	90	3.9	3.5	3.3	3.3	3.6	4.2	4.9
	80	3.5	3.3	3.3	3.7	4.3	5.3	6.6
	70	3.3	3.3	3.7	4.6	5.8	7.5	9.5
	60	3.3	3.8	4.9	6.6	8.8	11.6	14.9
	50	4.0	5.5	7.9	11.0	14.9	19.6	25.1
	40	6.6	10.1	14.9	20.9	28.2	36.7	46.5
	30	14.9	23.2	33.7	46.5	61.4	78.6	98.0
		60	70	80	90	100	110	120
		Acute workload (% of normal average)						

Figure 6 Probabilité de blessure selon le niveau de charge des 4 dernières semaines (chronic) et de la semaine en cours (acute), issu de Blanch et Gabbett [41].

suivante s'il se met en situation compétitive [41]. Sous cet angle, ce type de modèle de quantification de la charge d'entraînement complète les marqueurs préventifs et prophylactiques afin de calibrer la récupération. La clé est ici d'adapter au mieux le processus d'entraînement à l'individu « en prenant en considération la façon dont il s'adapte aux charges », N. Krantz dans la charge de travail en sport de haut niveau [18].

L'utilisation de ce ratio de charge offre au travers du rapport entre condition physique (charge chronique) et fatigue actuelle (charge aiguë) la possibilité de calculer une probabilité de retour à la compétition identifiant le risque encouru. Cet outil renouvelle le panel de tests afin d'optimiser les séquences d'entraînement en évaluant la disponibilité des athlètes. Ce calcul peut s'ajouter aux outils d'aide à la décision et servir de support aux entraîneurs afin d'affiner l'arbitrage de retour à la compétition.

5. Limites et perspectives

Cette revue se positionne comme un manifeste pour la quantification de la charge et des variables de suivi des athlètes de haut niveau comme la fatigue, le sommeil, les courbatures, les données biologiques afin de mettre en place les premières pierres de futurs modèles de détection du risque de blessure. Le sujet repose sur la nécessaire réflexion à conduire quant à l'intégration de ratio aiguë/chronique sur un certain nombre de variables de suivi d'entraînement. L'exemple pris autour du ratio de charge de Gabbett présente aussi certaines limites. Dans les ajustements avisés, pondérer l'historique des charges est une évolution. En effet, via cette pondération les données cumulatives de la semaine précédente (semaine − 1) prennent plus d'importance que celles des semaines antérieures (semaine − 1 > semaine − 2 > semaine − 3 > semaine − 4) [59]. Une approche avec une pondération de ce type jour par jour pourrait s'avérer utile [59]. D'autres améliorations résident dans l'opportunité de tester toutes les possibilités de ratio de charge par sport afin de trouver le ratio le plus sensible vis-à-vis de l'apparition de blessure [60]. L'objectif étant d'identifier quelle combinaison de variable de charge de travail, aiguë et chronique permet le mieux d'expliquer la probabilité de se blesser. Autour de ces notions de ratio, les moyennes mobiles pondérées de manière exponentielle semblent être un indicateur plus sensible dans le détection de probabilité de blessure

que les moyennes mobiles [61]. Un autre écueil se niche lors des périodes de stages internationaux, le manque de données pour le suivi lors de ces périodes ou l'utilisation d'indicateurs ou de types de capteurs différents nécessitent la mise en place d'équations de calibration afin de maintenir fonctionnel ce ratio [62]. De plus, à l'instar des ratios existant tels que lactate-RPE ou fréquence cardiaque-RPE [3], le ratio de l'ensemble des variables de charges interne et externe offre de nouvelles possibilités.

6. Exemple de l'équipe de France de Judo

Pour ce suivi, nous discernons deux types de blessures ainsi que le climat infectieux :

- blessures de type traumatiques lors des combats ;
- les autres types de blessure ;
- infections (voie aériennes, cutanées...).

Le point commun dans la définition de ces dernières reposera sur un des axes actuels de définition de la blessure : les définitions liées au temps de pratique perdu [63]. Sera considéré comme blessures tout évènement qui entraîne une incapacité de s'entraîner à 100 %, ou en randori fort, de plus d'un jour ou de participer à une compétition.

Pour chaque athlète blessé, les caractéristiques individuelles telles que l'âge, la durée de pratique, l'histoire de la blessure, le niveau de performance (JO, CM, France), les périodes de régime (fluctuation de poids) seront renseignées. D'un point de vue médical, seront colligés sur l'ensemble de la période le type de blessure, le moment de survenue, les facteurs étiologiques, la durée d'arrêt de la pratique, le retour à l'entraînement, le retour aux capacités fonctionnelles à 100 %.

Pour chaque athlète, un rapport est généré automatiquement en fin de semaine afin de fournir un feedback de l'ensemble des indicateurs relevés. Ce rapport, destiné aux athlètes et aux entraîneurs, est un outil d'analyse qui permet de mettre en évidence les fluctuations journalières de la charge d'entraînement, du niveau de fatigue et de courbature ressenti, de la quantité et qualité de sommeil, des niveaux de CPK entre autres. L'intérêt de fournir des rapports automatisés est d'avoir une vue globale et synthétique de l'état de forme de l'athlète. Cette information présente une utilité, celle d'ajuster la charge d'entraînement en fonction des différents indicateurs. De plus, lors de l'apparition d'une blessure est retracée pour chaque individu, l'évolution des différents indicateurs précédant l'apparition d'une blessure afin de tenter d'identifier le climat propice à, en effet nous pourrons.

7. Conclusion

La prescription dûment objectivée et rationalisée des charges d'entraînement, notamment les plus élevées, est un outil crucial afin d'améliorer la condition physique des joueurs, qui à son tour les protégera contre les blessures. Si un évènement traumatique apparaît, cet outil basé sur les ratio de charges et d'indicateurs de suivi de sommeil, fatigue entre autre fournit un encadrement au retour à la compétition ainsi qu'une disponibilité des athlètes au vu de la charge compétitive. Ce type de suivi quotidien permet d'affiner et de rationaliser la charge d'entraînement se situant à l'interface de la performance, la condition physique et la blessure. La quantification de la charge et des variables de suivi des athlètes de haut niveau est la pierre angulaire de programme efficace de suivi, détection et prédiction du risque de blessure. La première étape est le recueil sur un suivi long, la suivante consiste à tester des modèles qui auraient permis de détecter si possible certaines blessures et la dernière consiste en la validation de ces modèles. Une fois, les étapes respectées, des outils d'aide à la décision peuvent être proposés au staff.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

[1] Gabbett TJ, Hulin BT, Blanch P, Whiteley R. High training workloads alone do not cause sports injuries: how you get there is the real issue. Br J Sports Med 2016, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-095567.

[2] Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, et al. Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. Med Sci Sports Exerc 2013;45:186—205, http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e318279a10a.

[3] Halson SL. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. Sports Med 2014;44:139—47, http://dx.doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z.

[4] Platonov VN. L'entraînement sportif : théorie et méthodologie. Éditions EP&S; 1988.

[5] Banister, Calvert, Savage Bach. A systems model of training for athletic performance. Aust J Sports Med 1975;7:57—61.

[6] Hopkins WG. Quantification of training in competitive sports. Methods and applications. Sports Med Auckl NZ 1991;12:161—83.

[7] Foster C, Daines E, Hector L, Snyder AC, Welsh R. Athletic performance in relation to training load. Wis Med J 1996;95:370—4.

[8] Foster C, Hector LL, Welsh R, Schrager M, Green MA, Snyder AC. Effects of specific versus cross-training on running performance. Eur J Appl Physiol 1995;70:367—72.

[9] Foster C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. Med Sci Sports Exerc 1998;30:1164—8.

[10] Desgorces, Sénégas, Garcia, Decker, Noirez P. Methods to quantify intermittent exercises. Appl Physiol Nutr Metab 2007;32:762—9, http://dx.doi.org/10.1139/H07-037.

[11] Desgorces, Noirez. Quantifying continuous exercise using the ratio of work completed to endurance limit associated with exercise-induced delayed-onset muscle soreness. Percept Mot Skills 2008;106:104—12, http://dx.doi.org/10.2466/pms.106.1.104-112.

[12] Allen H, Coggan A. Training and racing with a power meter, 2nd Ed. VeloPress; 2012.

[13] Gabbett TJ. The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? Br J Sports Med 2016;50:273—80, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788.

[14] Hulin BT, Gabbett TJ, Lawson DW, Caputi P, Sampson JA. The acute: chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite

rugby league players. Br J Sports Med 2016;50:231—6, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-094817.
[15] Hulin BT, Gabbett TJ, Caputi P, Lawson DW, Sampson JA. Low chronic workload and the acute: chronic workload ratio are more predictive of injury than between-match recovery time: a two-season prospective cohort study in elite rugby league players. Br J Sports Med 2016, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-095364.
[16] Bourdon PC, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley MC, et al. Monitoring athlete training loads: consensus statement. Int J Sports Physiol Perform 2017;12:S2161—70, http://dx.doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0208.
[17] Issurin VB. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. Sports Med Auckl NZ 2010;40:189—206, http://dx.doi.org/10.2165/11319770-000000000-00000.
[18] Lehénaff D, Fleurance P. La charge de travail en sport de haut niveau. INSEP-Publications; 2002.
[19] Saulière G, Dedecker J, Sedeaud A, Rochcongar P, Toussaint J-F, Berthelot G. Adaptive Z-scores and their application to biological monitoring: an example in professional soccer players. Paris: CNOSF; 2014.
[20] Piggott B. The relationship between training load and incidence of injury and illness over a preseason at an Australian Football League club 2008.
[21] Rogalski B, Dawson B, Heasman J, Gabbett TJ. Training and game loads and injury risk in elite Australian footballers. J Sci Med Sport Sports Med Aust 2013;16:499—503, http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.004.
[22] Scrimgeour AG, Noakes TD, Adams B, Myburgh K. The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. Eur J Appl Physiol 1986;55: 202—9.
[23] Mujika I, Chatard JC, Busso T, Geyssant A, Barale F, Lacoste L. Effects of training on performance in competitive swimming. Can J Appl Physiol Rev 1995;20: 395—406.
[24] Aughey RJ, Elias GP, Esmaeili A, Lazarus B, Stewart AM. Does the recent internal load and strain on players affect match outcome in elite Australian football? J Sci Med Sport Sports Med Aust 2016;19:182—6, http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2015.02.005.
[25] Borresen J, Lambert MI. The quantification of training load, the training response and the effect on performance. Sports Med Auckl NZ 2009;39:779—95, http://dx.doi.org/10.2165/11317780-000000000-00000.
[26] Morton RH, Fitz-Clarke JR, Banister EW. Modeling human performance in running. J Appl Physiol Bethesda Md 1985 1990;69:1171—7.
[27] Banister EW, Calvert TW. Planning for future performance: implications for long-term training. Can J Appl Sport Sci 1980;5:170—6.
[28] Banister EW, Carter JB, Zarkadas PC. Training theory and taper: validation in triathlon athletes. Eur J Appl Physiol 1999;79:182—91, http://dx.doi.org/10.1007/s004210050493.
[29] Le Meur Y, Hausswirth C, Mujika I. Tapering for competition: a review. Sci Sports 2012;27:77—87, http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2011.06.013.
[30] Mujika I, Padilla S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. Med Sci Sports Exerc 2003;35:1182—7, http://dx.doi.org/10.1249/01.MSS.0000074448.73931.11.
[31] Mujika I, Busso T, Lacoste L, Barale F, Geyssant A, Chatard JC. Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. Med Sci Sports Exerc 1996;28:251—8.
[32] Stewart AM, Hopkins WG. Seasonal training and performance of competitive swimmers. J Sports Sci 2000;18:873—84, http://dx.doi.org/10.1080/026404100750017805.
[33] Gabbett TJ. Influence of training and match intensity on injuries in rugby league. J Sports Sci 2004;22:409—17, http://dx.doi.org/10.1080/02640410310001641638.
[34] Anderson L, Triplett-McBride T, Foster C, Doberstein S, Brice G. Impact of training patterns on incidence of illness and injury during a women's collegiate basketball season. J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc 2003;17:734—8.
[35] Gabbett TJ, Domrow N. Relationships between training load, injury, and fitness in sub-elite collision sport athletes. J Sports Sci 2007;25:1507—19, http://dx.doi.org/10.1080/02640410701215066.
[36] Killen NM, Gabbett TJ, Jenkins DG. Training loads and incidence of injury during the preseason in professional rugby league players. J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc 2010;24:2079—84, http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ddafff.
[37] Gabbett TJ, Domrow N. Risk factors for injury in subelite rugby league players. Am J Sports Med 2005;33:428—34.
[38] Gastin PB, Meyer D, Huntsman E, Cook J. Increase in injury risk with low body mass and aerobic-running fitness in elite Australian football. Int J Sports Physiol Perform 2015;10:458—63, http://dx.doi.org/10.1123/ijspp.2014-0257.
[39] Gabbett TJ, Ullah S, Finch CF. Identifying risk factors for contact injury in professional rugby league players — application of a frailty model for recurrent injury. J Sci Med Sport Sports Med Aust 2012;15:496—504, http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2012.03.017.
[40] Quarrie KL, Alsop JC, Waller AE, Bird YN, Marshall SW, Chalmers DJ. The New Zealand rugby injury and performance project. Br J Sports Med 2001;35:157—66.
[41] Blanch P, Gabbett TJ. Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute: chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. Br J Sports Med 2015, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-095445 [bjsports-2015-095445].
[42] Ball S, Halaki M, Orr R. Training volume and soft tissue injury in professional and non-professional rugby union players: a systematic review. Br J Sports Med 2016, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-095926.
[43] Cross MJ, Williams S, Trewartha G, Kemp SP, Stokes KA. The Influence of in-season training loads on injury risk in professional rugby union. Int J Sports Physiol Perform 2015, http://dx.doi.org/10.1123/ijspp.2015-0187.
[44] Lyman S, Fleisig GS, Waterbor JW, Funkhouser EM, Pulley L, Andrews JR, et al. Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. Med Sci Sports Exerc 2001;33:1803—10.
[45] Lyman S, Fleisig GS, Andrews JR, Osinski ED. Effect of pitch type, pitch count and pitching mechanics on risk of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. Am J Sports Med 2002;30:463—8.
[46] Colby MJ, Dawson B, Heasman J, Rogalski B, Gabbett TJ. Accelerometer and GPS-derived running loads and injury risk in elite Australian footballers. J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc 2014;28:2244—52, http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000362.
[47] Gabbett TJ. Incidence of injury in junior and senior rugby league players. Sports Med Auckl NZ 2004;34:849—59.
[48] Ehrmann FE, Duncan CS, Sindhusake D, Franzsen WN, Greene DA. GPS and injury prevention in professional soccer. J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc 2016;30:360—7, http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000001093.
[49] Gabbett TJ. The development and application of an injury prediction model for noncontact, soft-tissue injuries in elite collision sport athletes. J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc 2010;24:2593—603, http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181f19da4.

[50] Hulin BT, Gabbett TJ, Blanch P, Chapman P, Bailey D, Orchard JW. Spikes in acute workload are associated with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. Br J Sports Med 2014;48:708—12, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2013-092524.

[51] Zouita S, Amira Zouita B-M, Kebsi W, Dupont G, Ben Abderrahman A, Salah FB, et al. Strength training reduce injury rate in elite young soccer players during one season. J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc 2016, http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000920.

[52] Dennis R, Farhart P, Goumas C, Orchard J, Farhart R. Bowling workload and the risk of injury in elite cricket fast bowlers. J Sci Med Sport Sports Med Aust 2003;6:359—67.

[53] Baron B, Moullan F, Deruelle F, Noakes TD. The role of emotions on pacing strategies and performance in middle and long duration sport events. Br J Sports Med 2011;45:511—7, http://dx.doi.org/10.1136/bjsm.2009.059964.

[54] Williams S, Trewartha G, Kemp SPT, Brooks JHM, Fuller CW, Taylor AE, et al. How much rugby is too much? A seven-season prospective cohort study of match exposure and injury risk in professional rugby union players. Sports Med Auckl NZ 2017, http://dx.doi.org/10.1007/s40279-017-0721-3.

[55] Herring SA, Kibler WB, Putukian M. The team physician and the return-to-play decision: a consensus statement-2012 update. Med Sci Sports Exerc 2012;44:2446—8, http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182750534.

[56] Matheson GO, Shultz R, Bido J, Mitten MJ, Meeuwisse WH, Shrier I. Return-to-play decisions: are they the team physician's responsibility? Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med 2011;21:25—30, http://dx.doi.org/10.1097/JSM.0b013e3182095f92.

[57] Hegedus EJ, McDonough SM, Bleakley C, Baxter D, Cook CE. Clinician-friendly lower extremity physical performance tests in athletes: a systematic review of measurement properties and correlation with injury. Part 2 — the tests for the hip, thigh, foot and ankle including the star excursion balance test. Br J Sports Med 2015;49:649—56, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2014-094341.

[58] McCall A, Carling C, Nedelec M, Davison M, Le Gall F, Berthoin S, et al. Risk factors, testing and preventative strategies for non-contact injuries in professional football: current perceptions and practices of 44 teams from various premier leagues. Br J Sports Med 2014;48:1352—7, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2014-093439.

[59] Menaspà P. Are rolling averages a good way to assess training load for injury prevention? Br J Sports Med 2017;51:618—9, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2016-096131.

[60] Carey DL, Blanch P, Ong K-L, Crossley KM, Crow J, Morris ME. Training loads and injury risk in Australian football-differing acute: chronic workload ratios influence match injury risk. Br J Sports Med 2016, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2016-096309.

[61] Murray NB, Gabbett TJ, Townshend AD, Blanch P. Calculating acute: chronic workload ratios using exponentially weighted moving averages provides a more sensitive indicator of injury likelihood than rolling averages. Br J Sports Med 2017;51:749—54, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2016-097152.

[62] Buchheit M. Applying the acute: chronic workload ratio in elite football: worth the effort? Br J Sports Med 2016, http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2016-097017.

[63] Drew MK, Finch CF. The relationship between training load and injury, illness and soreness: a systematic and literature review. Sports Med Auckl NZ 2016, http://dx.doi.org/10.1007/s40279-015-0459-8.