

Université de Montréal

Sommeil et performance : une relation complexe

Par

Amélie Apinis-Deshaies

École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique, Faculté de médecine

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.)
en Sciences de l'activité physique

Décembre 2021

© Amélie Apinis-Deshaies, 2021

Université de Montréal

École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique, Faculté de médecine

Cette thèse intitulé(e)

Sommeil et performance : une relation complexe

Présenté par

Amélie Apinis-Deshaies

A été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes

Julie Carrier

Présidente-rapportrice

Jonathan Tremblay

Directeur de recherche

Maxime Trempe

Codirecteur

Julie Messier

Membre du jury

François Bieuzen

Examineur externe

Résumé

Bien que le sommeil soit essentiel à la santé et au bien-être, les jeunes adultes parviennent rarement à rencontrer les recommandations de sommeil. Le sommeil est particulièrement important pour les athlètes et les étudiants-athlètes dans leur quête de réussite scolaire et de performance sportive. En plus, il est aussi essentiel à la consolidation, qui favorise l'apprentissage de nouveaux gestes techniques en permettant de transformer la nouvelle trace mnésique, initialement labile et sensible aux interférences, en un état plus stable et permanent. Cependant, il n'y a toujours pas de consensus sur les facteurs qui perturbent le sommeil lors des entraînements et des compétitions sportives. Le but général de cette thèse était de mieux définir le lien entre le sommeil et la performance. Cette thèse avait donc comme premier objectif d'approfondir les connaissances sur l'effet du bien-être, de la charge d'entraînement et de la charge cognitive sur le sommeil des athlètes. Son second objectif était d'identifier les variables physiologiques, psychologiques et contextuelles qui affectent le sommeil lors de la nuit suivant un match. Finalement, le dernier objectif était d'évaluer l'effet de la consolidation sur une tâche de motricité globale qui présente les mêmes sous-composantes qu'un mouvement sportif. La première étude nous a permis de constater que, chez des athlètes professionnels, des niveaux élevés de bien-être (qui considère les sensations de douleur, la nutrition, le stress, et le repos) ont un effet positif sur la durée et la qualité du sommeil, tandis qu'une charge d'entraînement de haute intensité a un impact négatif sur la durée du sommeil. De plus, les matchs joués à l'extérieur et en soirée diminuent la quantité et la qualité du sommeil. Enfin, une intensité de travail élevée lors d'un match est associée à une diminution de la qualité du sommeil. La deuxième étude a mis en évidence l'importance de l'effet de la charge cognitive perçue sur le sommeil des étudiants-athlètes. Nos résultats montrent qu'une charge cognitive élevée a un impact négatif important sur le temps de sommeil total et la qualité du sommeil. De plus, la charge d'entraînement interne a des effets néfastes sur la qualité du sommeil. À la suite d'un match, nous avons constaté qu'une élévation de l'activation cognitive au moment du coucher diminue l'efficacité du sommeil et augmente la latence d'endormissement. Enfin, aucun effet n'a été trouvé entre les habiletés mentales et le sommeil

suivant un match. La dernière étude, nous a fourni d'importantes informations à l'effet que certaines caractéristiques du mouvement ne bénéficient pas de l'amélioration hors-ligne i.e., une amélioration spontanée de la performance en l'absence de pratique supplémentaire. Ainsi, nos résultats montrent qu'un intervalle de consolidation de 24 heures, comparativement à une pause de 10 minutes, n'a pas entraîné une meilleure précision temporelle ou spatiale dans une tâche de motricité globale. Globalement, les résultats de cette thèse montrent que le suivi de la charge d'entraînement des athlètes est optimal s'il est combiné à des mesures de charge de travail interne. Concrètement, le suivi de la charge interne des athlètes devrait être priorisée afin de prévenir les problèmes de sommeil d'obtenir un portrait global de la situation de l'athlète.

Mots-clés: Apprentissage moteur, Sommeil, Consolidation, Charge d'entraînement, Bien-être, Compétition

Abstract

Although sleep is essential for health and well-being, young adults rarely meet sleep recommendations. Sleep is especially important for athletes and student-athletes in their quest for academic success and athletic performance. In addition, it is also essential for consolidation, which promotes the learning of new skills transforming the new memory trace, initially labile and sensitive to interference, into a more stable and permanent state. However, there is still no consensus on the factors that disrupt sleep during sports training and competition. The primary goal of this thesis was to better define the relationship between sleep and performance. The first objective of this thesis was therefore to deepen the knowledge of the effect of well-being, training load and cognitive load on athletes' sleep. Its second objective was to identify the physiological, psychological, and contextual variables that affect sleep during the night following a match. Finally, the last objective was to evaluate the effect of consolidation on a gross motor task that has the same sub-components as a sport movement. In the first study, we found that, in professional athletes, high levels of well-being (pain, nutrition, stress, rest) have a positive effect on sleep duration and quality, whereas a high training load intensity has a negative impact on sleep duration. In addition, away and evening matches decrease sleep quantity and quality. Finally, high match load intensity during a match is associated with a decrease in sleep quality. The second study highlighted the importance of perceived cognitive load on student-athletes' sleep. Our results show that a high cognitive load has a significant negative impact on total sleep time and sleep quality. In addition, internal training load has adverse effects on sleep quality. Following a match, we found that elevated cognitive arousal at bedtime decreases sleep efficiency and increases sleep latency. Finally, no effect was found between mental skills and sleep following a match. The last study provided us with important information that some movement parameters do not benefit from off-line consolidation, i.e., a spontaneous improvement of performance in the absence of additional practice. Specifically, our results show that a 24-hour consolidation interval did not result in better temporal or spatial accuracy in a gross motor task than a 10-minute break. Overall, the results of this thesis show that the monitoring of athletes' training load is optimal if it is combined with internal workload

measurements. In practical terms, the monitoring of the internal workload of athletes should be prioritized in order to prevent sleep problems and to obtain an overall picture of the athlete's situation

Keywords: Motor learning, Sleep, Consolidation, Training load, Well-being, Competition

Table des matières

Résumé.....	5
Abstract.....	7
Table des matières.....	9
Liste des tableaux.....	13
Liste des figures.....	15
Liste des sigles et abréviations.....	17
Remerciements.....	21
Chapitre 1 - Introduction.....	23
Chapitre 2 – Sommeil des jeunes adultes.....	25
2.1 État de la situation.....	25
2.2 Le cas des étudiants-athlètes.....	26
Chapitre 3 – Sommeil et performance.....	29
3.1 Sommeil et performance académique.....	29
3.1.2 Importance du sommeil dans la performance académique.....	29
3.1.2 Charge cognitive et sommeil.....	31
3.2 Sommeil et performance sportive.....	32
3.2.1 Importance du sommeil dans la performance sportive.....	32
3.2.2 Mesures du sommeil.....	35
3.2.3 Mesures de la charge d’entraînement.....	35
3.2.4 Mesures du bien-être.....	37
3.2.3 Sommeil et charge d’entraînement.....	40
3.3 Sommeil et compétition.....	43

3.3.1 Effets de la compétition sur le sommeil.....	43
3.3.2 Facteurs qui influencent le sommeil en compétition	47
Chapitre 4 – Sommeil et apprentissage du mouvement	49
4.1 Apprentissage et consolidation.....	49
4.2 Stabilisation de la performance	50
4.3 Apprentissage hors-ligne.....	51
4.4 Sommeil et consolidation.....	52
4.4.1 Niveaux de consolidation	53
4.4.2 Réactivation.....	53
4.4.3 Réorganisation	55
4.4.4 Automatisation.....	56
4.4.5 Caractéristiques du sommeil qui sous-tendent la consolidation.....	57
Objectifs et hypothèses.....	59
Chapitre 5 – Article 1 : Sommeil, bien-être et charge d’entraînement	61
Abstract	62
5.1 Introduction.....	63
5.2 Methods	65
5.3 Results	67
5.4 Discussion	69
Chapitre 6 – Article 2: Sommeil, charge cognitive, charge d’entraînement.....	77
Abstract	78
6.1 Introduction.....	79
6.2 Methods	82
6.3 Results	85

6.4 Discussion	91
Chapitre 7 – Article 3: Consolidation d’une habileté motrice globale	103
Abstract	104
7.1 Introduction.....	105
7.2 Methods	107
7.3 Results	111
7.4 Discussion	116
Chapitre 8 – Discussion générale	125
8.1 Charge d’entraînement interne et externe.....	127
8.1.3 Charge externe d’entraînement et sommeil.....	129
8.1.2 Charge cognitive.....	134
8.2 Sommeil post match.....	135
8.2.1 Facteurs contextuels	136
8.2.2 Facteurs psychologiques	139
8.2.3 Facteurs physiologiques.....	139
8.3 Consolidation.....	141
8.3.1 Tâches de motricité globale	142
8.3.2 « Chunking ».....	143
8.3.3 Stabilisation de l’apprentissage	144
8.4 Limites des études et perspectives	144
8.5 Conclusion	146
Références bibliographiques.....	149

Liste des tableaux

Tableau 1. – Résumé des études sur l'effet de la charge d'entraînement sur le sommeil	43
Tableau 2. – Résumé des études sur le sommeil suivant un match/compétition	47
Tableau 3. – Overview of the weekly mean variables.	67
Tableau 4. – Overview of the mixed-effects models testing the effect of TL on sleep.	68
Tableau 5. – Overview of the mixed-effects models testing the effect of TL and contextual factors on post-match sleep quantity and quality.	69
Tableau 6. – Overview of the daily sleep variables, training, and academic workload, PSAS scores, and OMSAT scores. Values are mean \pm standard deviation (SD).	86
Tableau 7. – Overview of the mixed-effects models testing the effect of training and academic load on sleep.	88
Tableau 8. – Overview of the mixed models testing the effect of somatic and cognitive arousal at bedtime and match external load.	88
Tableau 9. – Overview of the mixed models testing the effect of mental skills (OMSAT) and external load on sleep.	89

Liste des figures

- Figure 1. – **a.** View of the apparatus. **b.** Description of the experimental task: Starting from the center location (black square), participants had to reach all four targets sequentially in the time illustrated on the figure, for a total movement time of 1800 ms. **c.** Example of the feedback screen presented at the end of each trial during acquisition. TT indicates total movement time, whereas T1, T2, T3 and T4 indicate the relative time of the four movements.110
- Figure 2. – Acquisition data of the 10-min (opened) and 24-h (filled) groups for the temporal (a and b) and spatial components of the task (c). Data are averaged in blocks of 10 trials. The error bars illustrate the standard error of the mean.112
- Figure 3. – Performance of the 10-min (opened) and 24-h (filled) groups at the end of acquisition and during retention. The error bars illustrate the standard error of the mean.113

Liste des sigles et abréviations

AE: Absolute error

ANOVA: Analysis of variance

CE: Constant error

EEG: Électroencéphalographie

FTT: Finger taping task

IMU: Inertial Measurement Unit

IRMf : Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

KE: Kinetic energy

M: Mean

OIL: On-ice load

OIL·min⁻¹: On-ice load per minute

OMSAT: Ottawa Mental Skills Assessment Tool

PSAS: Pre-sleep Arousal Scale

TL: Training load

REM: Rapid eye movements

RMSE: Root mean square error

SD: Standard deviation of the mean

sRPE: Session rate of perceived exertion

TMT: Total movement time

VE: Variable error

À André

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Jonathan et Maxime, mes directeurs, qui m'ont épaulé tout au long de mon parcours. Merci de m'avoir laissé la liberté d'explorer les sujets qui me passionnent. À ceux-ci s'ajoutent tous les membres du personnel de l'université qui m'ont aidé, de près ou de loin, à atteindre mes objectifs.

Merci à l'équipe du CÉAMS, que j'ai côtoyé pendant tant d'années. C'est en travaillant à vos côtés que ma passion pour le sommeil s'est développée. Merci spécial à Sonia, Hélène et Julie de m'avoir permis d'apprendre, de me dépasser et de m'avoir accordé toute votre confiance. Je continue mon parcours sur des bases solides grâce à vous.

L'équipe de Gadbois, je ne vous oublie pas. Tant d'années passées à vos côtés. Tellement de rires et de plaisir avec vous. J'ai enfin fini!

Merci à ma famille et mes ami(e)s. Merci de me soutenir dans mes projets, même si parfois ils peuvent sembler un peu fous. C'est grâce à vous que je persévère dans ce que j'entreprends.

Finalement, merci à Alexia d'être là dans les petits comme les grands moments. Merci de me de me soutenir et de me pousser quand j'en ai besoin.

Chapitre 1 - Introduction

Le sommeil est essentiel à la santé et au bien-être général. Malgré tout, les jeunes adultes rencontrent certaines contraintes imposées par des facteurs biologiques et sociaux concurrents qui peuvent diminuer la durée du sommeil. À ces nombreux défis s'ajoutent les entraînements et les matchs chez les jeunes adultes qui poursuivent une carrière sportive. En effet, il a été montré que le sommeil peut être altéré par la participation à un match (Roberts, Teo, & Warmington, 2019), par l'horaire des séances d'entraînement (Heishman et al., 2017) et par la densité de l'horaire (Staunton et al., 2017). De plus, les athlètes suivent des entraînements rigoureux et soigneusement planifiés qui visent à imposer un stress afin de stimuler les adaptations physiologiques nécessaires à l'amélioration de la performance (Walsh et al., 2020). Une adaptation négative à l'entraînement en réponse à ces variations de la charge d'entraînement pourrait affecter le sommeil. Cette thèse avait donc comme objectif principal de mieux définir le lien entre le sommeil et la performance.

Notre première étude, présentée au chapitre 5, portait donc sur l'effet du bien-être (stress, douleur, repos et nutrition) et de la charge d'entraînement externe (i.e. le travail physique effectué) sur la quantité et la qualité subjective du sommeil chez des athlètes de hockey. Au niveau compétitif, en plus des entraînements, les athlètes disputent un nombre élevé de matchs afin de se tailler une place en série. Il est maintenant bien connu que cette participation à des matchs a un effet préjudiciable sur le sommeil. Bien que certains facteurs contextuels qui peuvent perturber le sommeil, tels que le lieu ou le moment d'un match soient bien documentés (Roberts, Teo, & Warmington, 2019), nous avons voulu identifier si d'autres facteurs pouvaient expliquer ce phénomène tels que la charge physiologique, la distance des déplacements et le résultat du match (victoire/défaite).

En plus de leur participation sportive, un nombre élevé d'athlètes font face à des contraintes uniques puisqu'ils doivent conjuguer celle-ci à leur parcours académique. La difficulté à combiner ces deux aspects est fréquemment relevé lors d'entrevues auprès d'étudiants-athlètes (de Blasiis et al., 2021; Nixdorf et al., 2015). Cette difficulté n'est pas sans

conséquence puisque, dans une récente étude auprès de 628 athlètes universitaires américains, 42% rapportaient un sommeil de mauvaise qualité et 51% présentaient des niveaux élevés de somnolence diurne (Mah et al., 2018). Ce constat est préoccupant, compte tenu qu'un sommeil adéquat est lié au succès académique (Taylor et al., 2017; Phillips et al., 2017) et sportif (Watson, 2017). Il est donc étonnant que peu d'études se soient penchées sur cette problématique. Nous avons donc, dans l'étude présentée au chapitre 6, approfondi les connaissances concernant l'effet de la charge d'entraînement sur le sommeil en y ajoutant une mesure de charge cognitive (durée et perception de l'effort lors des tâches académiques) chez un groupe d'étudiants-athlètes. Puis, après avoir exploré les facteurs contextuels pouvant perturber le sommeil après un match, nous avons évalué les mécanismes psychophysiologiques sous-jacents qui peuvent expliquer les difficultés de sommeil. Plus précisément, nous avons évalué l'effet de l'activation cognitive et somatique au moment du coucher ainsi que les habiletés mentales spécifiques au sport sur le sommeil d'après match.

Finalement, le sommeil est un état essentiel pour l'apprentissage des gestes techniques, une sous-composante primordiale de la performance sportive. Au-delà de la pratique physique qui permet l'apprentissage de nouveaux gestes, certains processus qui nécessitent du temps pour se déployer sont achevés entre les sessions de pratique afin que le nouvel apprentissage soit transformé en mémoire à long terme. Ces processus sont rassemblés sous le terme « consolidation » et prennent place, en partie, pendant le sommeil. Au chapitre 7, nous présentons une tâche de motricité globale que nous avons développée en laboratoire et qui possède des caractéristiques similaires à un mouvement sportif afin de déterminer si la consolidation pouvait améliorer l'apprentissage d'une tâche procédurale.

Cette thèse présente d'abord un survol général du sommeil chez les jeunes adultes suivi d'une revue de littérature portant sur le sommeil et la performance académique, sportive et la consolidation. Les trois articles sont ensuite présentés, puis le chapitre 8 est une discussion générale intégrant les résultats les uns aux autres.

Chapitre 2 – Sommeil des jeunes adultes

2.1 État de la situation

Le manque de sommeil est très répandu chez les jeunes adultes (Gradisar et al., 2013). Généralement, cette privation est due au fait qu'ils se couchent tard et se réveillent tôt pour leurs cours ou leur travail sans avoir dormi suffisamment. Physiologiquement, les jeunes adultes ont tendance à avoir une préférence circadienne tardive, ce sont des "noctambules" (Jenni & Carskadon, 2007). On ne comprend pas bien comment le rythme circadien et le mécanisme homéostatique du sommeil évoluent avec la puberté, mais l'effet cumulatif est que les jeunes adultes se sentent plus éveillés le soir, ont du mal à s'endormir avant une heure plus tardive et, par conséquent, ne dorment pas assez pendant la semaine et rattrapent leur sommeil le week-end (Hershner & Chervin, 2014). Outre les raisons physiologiques, le sommeil des jeunes adultes est principalement perturbé par la consommation d'alcool, une hygiène de sommeil inadéquate (horaire d'éveil et de sommeil irrégulier, environnement de sommeil bruyant), la consommation de caféine et de stimulants et l'utilisation de technologies avant l'heure du coucher (Hershner & Chervin, 2014). L'utilisation d'appareils électroniques émettant de la lumière bleue en soirée semble courante puisque des jeunes (15-32 ans) ont déclaré s'adonner à de telles activités dans l'heure précédant le coucher lors de 70 % des nuits de la semaine (Knufinke et al., 2018). Cette activité retarde l'endormissement et contribue au manque de sommeil car elle supprime les niveaux de mélatonine et augmente la vigilance (Hershner & Chervin, 2014).

Les jeunes adultes sont aussi nombreux à poursuivre des études, ce qui peut avoir une incidence sur le sommeil. Un phénomène qui semble fréquent et répandu puisque, dans une enquête récente couvrant 26 pays, la prévalence de la durée du sommeil de ≤ 6 h était de 39,2 % chez les étudiants universitaires (Peltzer & Pengpid, 2016). De plus, 55-60 % des étudiants universitaires rapportent un sommeil de mauvaise qualité (Lund et al., 2010). Les pressions scolaires et sociales accrues et les horaires irréguliers rendent les étudiants susceptibles de souffrir de troubles et de privation de sommeil. La vie sociale des étudiants universitaires comporte une variété d'occasions et de produits de divertissement qui réduisent la qualité du

sommeil (Wang & Bíró, 2021). Finalement, la vie universitaire se caractérise par une grande liberté, une surveillance minimale et des activités de loisirs facilement disponibles et accessibles (par exemple, clubs étudiants, concerts, bars de nuit) (Wang & Bíró, 2021).

2.2 Le cas des étudiants-athlètes

De nombreux jeunes adultes poursuivent, en parallèle, des carrières sportives et académiques, c'est-à-dire les étudiants-athlètes. Les performances académiques, les exigences sociales, l'adaptation à la vie loin de chez soi et les préoccupations financières ne sont que quelques-uns des défis auxquels les étudiants doivent faire face (Aquilina, 2013; Paule & Gilson, 2010). En plus de ces facteurs de stress, les athlètes universitaires doivent passer beaucoup de temps à participer à des activités liées à leur sport, comme les pratiques et les séances d'entraînement, les réunions d'équipe, les déplacements et les compétitions (Davis et al., 2019; Hyatt & Kavazis, 2019; Lopes Dos Santos et al., 2020). Il n'est donc pas étonnant que les problèmes de sommeil chez les étudiants-athlètes soient fréquents. En effet, dans une étude récente portant sur 628 athlètes universitaires américains, 42 % ont déclaré que leur qualité de sommeil était médiocre et 51 % présentaient des niveaux élevés de somnolence diurne (Mah et al., 2018).

Il n'est pas encore établi si ces derniers ont plus de problèmes de sommeil que leurs pairs en raison des effets cumulatifs des facteurs de stress sportifs et scolaires. D'un côté, de Blasiis et al. (2021) ont constaté que les étudiants-athlètes, comparés aux athlètes non-étudiants, avaient un temps de sommeil total réduit, plus d'éveils nocturnes et une somnolence accrue au réveil. De plus, Driller et al. (2017) ont constaté une réduction du temps total de sommeil et de moins bonnes habitudes de sommeil chez des étudiants-athlètes comparés à des étudiant non-athlètes, quoique ces résultats n'étaient pas significatifs. D'un autre côté, les étudiants-athlètes ont déclaré une meilleure qualité de sommeil que leurs homologues étudiants (Litwic-Kaminska & Kotysko, 2020). En comparant des étudiants-athlètes à des étudiants non-athlètes, Leduc et al. (2020) ont constaté qu'il y avait autant d'individus considérés comme mauvais dormeurs dans les deux groupes. Toutefois, ils ont constaté que les étudiants-athlètes présentaient une plus grande variabilité de l'horaire de sommeil. Malgré

cette ambiguïté, ces jeunes font face à des défis uniques puisqu'ils doivent combiner un double rôle. La gestion du temps s'avère être un défi pour les athlètes universitaires qui identifient cette double charge comme un facteur de stress important (de Blasiis et al., 2021; Hrozanova et al., 2021).

Chapitre 3 – Sommeil et performance

3.1 Sommeil et performance académique

3.1.2 Importance du sommeil dans la performance académique

La résolution de problèmes quotidiens nécessite la coopération de nombreux différents systèmes cognitifs, en passant des fonctions de bas niveau comme le maintien de la vigilance et l'attention à certains stimuli tout en ignorant les distractions, aux fonctions de plus haut niveau comme l'encodage des informations dans la mémoire, la manipulation de ces informations et la communication des résultats à d'autres personnes (Wild et al., 2018). Le lien entre le sommeil et la cognition a été bien établi par des études en laboratoire. En bref, lorsque le sommeil est réduit ou perturbé, les performances cognitives dans toute une série de tâches s'en ressentent (Mantua & Simonelli, 2019). Par exemple, la privation totale de sommeil entraîne une diminution de la mémoire à court terme, de l'attention et de la vitesse de traitement, comme le montre une récente méta-analyse (Lim & Dinges, 2010). De même, plusieurs nuits de restriction chronique du sommeil induite expérimentalement (par exemple, 5 heures de sommeil par nuit) peuvent affecter la vigilance aussi sévèrement qu'une seule nuit de privation totale de sommeil (Banks & Dinges, 2007; Van Dongen et al., 2003). De même, le fait de prolonger le sommeil au-delà des niveaux habituels, en permettant aux individus de dormir plus que d'habitude, améliore la cognition par rapport au niveau de base (Arnal et al., 2015; Mah et al., 2011; Rupp et al., 2009). Pris ensemble, ces résultats suggèrent qu'il existe une relation linéaire entre le sommeil et le fonctionnement cognitif : plus de sommeil entraîne une meilleure performance cognitive, et vice versa (Mantua et al., 2016). Finalement, la formation de la mémoire à long terme est une fonction majeure du sommeil. Ainsi, le sommeil permet la consolidation, soit le processus qui transforme les représentations nouvellement encodées qui sont labiles et susceptibles de se dégrader, en souvenirs à long terme plus stables (voir Chapitre 4).

Il est donc évident que le sommeil a un impact important sur la performance académique. Concrètement, le sommeil peut exercer une double influence sur les performances

scolaires. Il est essentiel aux performances à l'éveil, à savoir l'attention focalisée, l'organisation et l'exécution contrôlée des opérations cognitives et il est un acteur clé dans la consolidation et le raffinement des informations acquises précédemment (Gomez Fonseca & Genzel, 2020).

Essentiellement, une durée de sommeil plus courte est associée à des moyennes pondérées plus faibles (Okano et al., 2019; Raley et al., 2016; Shochat et al., 2014). Parmi des étudiants universitaires, ceux qui avaient une moyenne pondérée <3,0 étaient les mêmes qui avaient la durée de sommeil la plus courte (Raley et al., 2016). L'une des premières études sur la moyenne pondérée a montré que les adolescents âgés de 13 à 19 ans ayant des notes moyennes de C se couchaient plus tard et dormaient 3 heures de moins par semaine que les étudiants ayant obtenu des notes plus élevées (B et plus) (Wolfson & Carskadon, 1998). De multiples études ont montré une association entre la mauvaise qualité du sommeil et la baisse des performances scolaires des étudiants de tous niveaux (Kroshus et al., 2019; Okano et al., 2019; Pagel & Kwiatkowski, 2010; Turner et al., 2021). Finalement, la régularité du sommeil mesure la propension d'un étudiant à être éveillé ou endormi à la même heure chaque jour (Hershner, 2020). Dans une étude, des étudiants, dont la durée totale du sommeil était la même, ont été classés en deux groupes : dormeurs réguliers et dormeurs irréguliers. La régularité du sommeil était positivement associée à une meilleure moyenne générale (Phillips et al., 2017a). Donc, une durée de sommeil plus longue, une meilleure qualité de sommeil et une plus grande régularité du sommeil sont associées à de meilleurs résultats scolaires. Une régression linéaire multiple a révélé que ces trois mesures du sommeil expliquaient 24,44 % de la variance du rendement scolaire global (Okano et al., 2019).

Bref, un sommeil adéquat est associé à la réussite scolaire (Gaultney, 2016; Phillips et al., 2017b; Singleton & Wolfson, 2009). En général, les étudiants qui dorment mieux (par exemple, >7 heures de sommeil nocturne, des horaires de sommeil plus réguliers, des niveaux de somnolence diurne plus faibles et moins de sommeil de rattrapage le week-end) obtiennent des moyennes pondérées plus élevées (Hartmann & Prichard, 2018; Phillips et al., 2017; Taylor et al., 2013). Au contraire, certains chercheurs ont constaté que la difficulté générale à dormir, l'insomnie initiale, la fatigue diurne, la somnolence diurne et un sommeil insuffisant étaient tous associés à une baisse des résultats scolaires chez les étudiants sportifs (Turner et al., 2021).

3.1.2 Charge cognitive et sommeil

La charge de travail des étudiants a été évaluée sous différents angles. Parfois, elle a été associée au nombre d'heures que les élèves consacrent à leurs activités académiques (Oluwole, 2010; Preišegolavičiūtė et al., 2010; Ruiz-Gallardo et al., 2011), alors que d'autres recherches se sont concentrées sur l'évaluation perçue de la charge de travail des étudiants (Jansen et al., 2020; Kyndt et al., 2011). Cette approche postule que la charge de travail perçue est déterminée par des facteurs liés à la fois à la tâche et au contexte dans lequel elle doit être réalisée (complexité, aspects temporels, relations avec les pairs et les enseignants), et aux individus qui doivent l'accomplir (capacité, motivation, personnalité) (Rubio-Valdehita et al., 2014).

Les études menées auprès d'étudiants suggèrent que le fait de passer de nombreuses heures à faire des travaux scolaires peut nuire au sommeil (Jansen et al., 2020; Oluwole, 2010; Preišegolavičiūtė et al., 2010; Yeo et al., 2020). Ainsi, dans une étude menée auprès de jeunes adultes étudiants, les participants ayant atteint des niveaux élevés d'heures de travail mental pendant la journée étaient 1,74 fois plus susceptibles de dormir moins de 6 heures par nuit (Jansen et al., 2020). Une autre étude menée auprès d'étudiants de premier cycle a montré qu'une charge de travail importante avant le coucher était associée à un sommeil non réparateur (Oluwole, 2010). Finalement, une étude menée auprès d'étudiants universitaires lituaniens a révélé qu'une plus grande quantité de temps passé à étudier, ainsi que l'étude avant le coucher, étaient associées à un sommeil de moins bonne qualité (Preišegolavičiūtė, Leskauskas, & Adomaitienė, 2010).

Jusqu'à maintenant, l'influence de l'intensité de la charge cognitive perçue sur le sommeil n'a reçu qu'une attention minimale. Et pourtant, elle a été identifiée comme représentant le principal facteur générant du stress académique (Rubio-Valdehita et al., 2014). Dans une étude portant sur des étudiants universitaires, Jansen et al. (2020) ont constaté qu'une intensité cognitive perçue plus élevée pendant le travail scolaire était associée à une probabilité 112 % plus élevée d'avoir une durée de sommeil plus courte la nuit suivante.

3.2 Sommeil et performance sportive

3.2.1 Importance du sommeil dans la performance sportive

Le sommeil a été suggéré de manière anecdotique comme la meilleure stratégie de récupération disponible pour un athlète (Halson, 2008; Leeder et al., 2012). En fait, l'importance cruciale des effets réparateurs du sommeil dans la vie quotidienne en fait une partie intégrante des processus de récupération des athlètes (Gupta et al., 2017). Le sommeil, en particulier le sommeil lent, offre une fonction réparatrice à l'organisme pour récupérer d'une période d'éveil et de fatigue antérieure en rétablissant l'énergie (Taylor et al., 1997). Par conséquent, le sommeil est particulièrement important pour les athlètes, car ce processus de restauration et de réparation de l'énergie des différents systèmes physiologiques permet au corps de l'athlète d'être préparé à l'entraînement et à la compétition (Silva et al., 2021). Toutefois, il existe un manque d'études concernant l'influence du sommeil sur la performance chez les athlètes (Halson & Juliff, 2017), la majorité de celles-ci provenant de populations non-athlétiques. Pour comprendre l'importance du sommeil chez les athlètes, les chercheurs ont utilisé des protocoles de privation de sommeil ou d'extension du sommeil.

Restriction/privation de sommeil

Plusieurs études portant sur l'impact de la perte de sommeil et du déficit de sommeil accumulé sur les athlètes ont montré des conséquences négatives sur les performances physiques et cognitives (Bonnar et al., 2018). Il semble qu'une privation de sommeil de plus de 30 heures consécutives ait un impact sur la performance anaérobie (Skein et al., 2011), mais que la performance aérobie peut être diminuée après seulement 24 heures de privation (Oliver et al., 2009). De plus, les séances d'exercice soutenues ou répétées sont affectées à un degré plus élevé que les efforts maximaux ponctuels (Blumert et al., 2007; Reilly & Edwards, 2007). Cependant, ces cas simulés extrêmes de perte de sommeil, dans lesquels les participants ne dorment pas pendant de longues périodes (par exemple, 24 heures), ne reflètent généralement pas les troubles du sommeil auxquels la plupart des athlètes sont confrontés dans la vie réelle (Fullagar et al., 2015), à savoir la privation partielle de sommeil (réduction du sommeil pendant une ou plusieurs nuits consécutives). Les études réalisées à ce jour sur les effets de la privation

partielle de sommeil sur les performances physiques montrent que les exercices aérobies et les mesures maximales de la force sont peu affectés (Fullagar et al., 2015; Kroshus et al., 2019). En revanche, l'exécution d'aptitudes spécifiques à un sport, les séances d'exercices sous-maximaux soutenus et la puissance musculaire et anaérobie semblent plus susceptibles d'être affectées par la restriction de sommeil (Fullagar et al., 2015; Halson, 2013; Kirschen et al., 2018; Reilly & Edwards, 2007). Les conséquences cognitives de la restriction du sommeil comprennent des déficits dans la plupart des aspects du fonctionnement, tels que le temps de réaction, la motricité fine, la mémoire (par exemple, la consolidation des tâches motrices), l'humeur et la prise de décision (Fullagar et al., 2015). De plus, la privation partielle de sommeil exercerait une influence négative sur la fonction cognitive et la performance psychomotrice en réduisant la concentration et la vigilance (Davenne, 2009). Dans l'ensemble, les données recueillies à ce jour suggèrent que la perte de sommeil a un impact sur les performances des athlètes par le biais de voies physiques et cognitives. Les conséquences du manque de sommeil permettent de comprendre l'importance du sommeil et pourquoi il est considéré comme fondamental pour la santé et le bien-être des athlètes.

Certains mécanismes pourraient expliquer l'effet de la privation de sommeil sur la performance. Tout d'abord, il a été montré que les réserves de glycogène musculaire avant l'exercice étaient réduites après une privation de sommeil, ce qui suggère une altération de la disponibilité des substrats qui pourrait se traduire par une diminution des performances lors des efforts d'endurance (Skein et al., 2011). En outre, la diminution du temps jusqu'à l'épuisement après une privation de sommeil dans des conditions de test en laboratoire a été associée à une augmentation de l'évaluation de l'effort perçu (Temesi et al., 2013). Au contraire, les améliorations du temps d'épuisement après une prolongation du sommeil semblent être liées à une diminution de l'effort perçu à des charges de travail comparables, ce qui suggère qu'un mécanisme de fatigue central pourrait être responsable (Temesi et al., 2013).

Extension du sommeil

Au contraire, l'importance du sommeil pour la performance athlétique a été montrée via des études d'extension du sommeil. Quelques études ont montré les effets bénéfiques de

l'augmentation de la durée du sommeil. Dans l'une d'elles, des joueurs de basket-ball universitaires ont été encouragés à dormir le plus longtemps possible la nuit pendant 5 à 7 semaines et ont ainsi pu augmenter la durée moyenne du sommeil mesurée objectivement de 6,6 heures/nuit à 8,5 heures/nuit (Mah et al., 2011). Par rapport au niveau de référence, les performances après la période d'extension du sommeil reflétaient une augmentation de 5 % de la vitesse, une augmentation de 9 % de la précision des lancers francs, une amélioration de 9 % du pourcentage de lancers francs et une augmentation de 9,2 % du pourcentage de buts sur terrain à trois points. Une autre étude a révélé que l'extension de la durée du sommeil d'environ 2 h par nuit améliorait la précision du service des joueurs de tennis universitaires de 36 % à 41 % (Schwartz & Simon, 2015). Finalement, chez des athlètes d'endurance, la prolongation du sommeil pendant trois nuits a permis un meilleur maintien des performances d'endurance par rapport à un sommeil normal (Roberts et al., 2019) et, chez des nageurs, l'extension du sommeil a permis d'augmenter la vitesse du sprint et la vitesse de réaction (Mah, 2008). Au contraire, Fullagar et al. (2016) n'ont pas observé d'effets bénéfiques de la prolongation du sommeil à la suite d'un match sur la performance physique (saut à contre-mouvement et test de récupération par yoyo intermittent). Cette différence peut être due au fait que les manipulations du sommeil à long terme sont plus susceptibles que les manipulations aiguës du sommeil d'affecter les performances sportives (Kirschen et al., 2018).

Finalement, le sommeil est primordial pour la performance, puisqu'une durée de sommeil insuffisante peut augmenter le risque de blessure. Par exemple, les athlètes dormant moins de 8,1 heures par nuit sont 1,7 fois plus susceptibles d'avoir subi une blessure que leurs pairs (C. Jones et al., 2018; Milewski et al., 2014). De plus, des études effectuées auprès d'athlètes ont montré que la qualité du sommeil est associée à l'humeur. En outre, la mauvaise qualité du sommeil était associée à la confusion, à la dépression, à la fatigue et à la diminution de la vigueur (Andrade et al., 2019). Le sommeil a aussi un effet important à la fois sur l'apprentissage initial et sur la consolidation ultérieure de la mémoire à long terme (Abel et al., 2013). De nombreuses formes de traitement de la mémoire ont lieu de préférence, voire exclusivement, pendant le sommeil pouvant entraîner une stabilisation et une amélioration supplémentaire de la mémoire (voir Chapitre 4).

3.2.2 Mesures du sommeil

Diverses méthodes de surveillance de la durée et de la qualité du sommeil peuvent être utilisées. La polysomnographie (PSG) est la méthode de référence pour évaluer la durée et la qualité du sommeil (Keenan & Hirshkowitz, 2011). Elle permet de surveiller le sommeil grâce à des capteurs placés sur la tête et le corps, qui captent l'activité cérébrale, les mouvements oculaires, le tonus musculaire et la fonction respiratoire (Keenan & Hirshkowitz, 2011). Cependant, cette méthode n'est généralement pas pratique pour surveiller le sommeil sur le terrain et/ou pendant plusieurs nuits consécutives. Par rapport à la PSG, les moniteurs d'activité (actigraphie) sont moins chers et plus pratiques, ce qui en fait une option couramment utilisée pour mesurer objectivement la durée et la qualité du sommeil sur le terrain et/ou pendant plusieurs nuits (Fox, Scanlan, Stanton, & Sargent, 2020a). Ces moniteurs sont portés au poignet et détectent les mouvements grâce à un accéléromètre qui permet d'estimer le temps passé endormi. Bien qu'elle présente une bonne concordance avec la PSG et une sensibilité élevée pour détecter la durée du sommeil (Fox, Scanlan, Stanton, & Sargent, 2020a), l'actigraphie n'est pas spécifique pour la détection de l'éveil (Paquet et al., 2007). Finalement, l'utilisation d'un agenda de sommeil pour rapporter la durée et la qualité du sommeil peut représenter un moyen simple et rentable d'évaluer le sommeil (Halson, 2019). Chez les jeunes athlètes, il existe une bonne concordance entre la durée du sommeil auto déclarée et la durée du sommeil mesurée à l'aide de moniteurs d'activité ($r = 0,9$, très élevé) (Caia et al., 2018).

3.2.3 Mesures de la charge d'entraînement

Le suivi de la charge d'entraînement des athlètes est désormais une pratique courante dans le sport de haut niveau. Fondamentalement, ce suivi consiste à quantifier la charge d'entraînement des athlètes et leurs réponses à cet entraînement. Ce suivi est essentiel puisqu'il peut fournir des informations permettant d'affiner le processus d'entraînement, d'améliorer la préparation des athlètes à la performance et de réduire les risques de blessures et de maladies (Coutts et al., 2018). La charge d'entraînement a été décrite comme la variable d'entrée qui est manipulée pour provoquer la réponse à l'entraînement souhaitée. Pour chaque séance d'entraînement, la charge de travail englobe une dimension externe et une dimension interne (Vanrenterghem et al., 2017). La charge externe représente le travail absolu (Impellizzeri et al.,

2018). Elle consiste généralement à quantifier la charge de travail d'un athlète, comme les heures d'entraînement, la distance parcourue, les watts produits, le nombre de matchs joués ou de lancers effectués (Soligard et al., 2016). Les tests de la fonction neuromusculaire sont un moyen courant d'analyser la charge externe. Ces tests sont généralement effectués à l'aide de mesures telles que le saut en contre-mouvement, le saut en squat ou le saut en chute libre. Une plateforme de force peut être utilisée pour mesurer une myriade de résultats (par exemple, la puissance maximale, le temps de contact avec le sol, le temps d'envol, l'indice de force réactive et la hauteur du saut), ou simplement pour mesurer la hauteur du saut de manière plus traditionnelle (Lopes Dos Santos et al., 2020). Ces dernières années, l'utilisation de moniteurs combinant un système de positionnement global (GPS) et de moniteurs inertiels portés par les joueurs pour suivre la charge externe de travail a gagné en popularité (Theodoropoulos et al., 2020). Ceux-ci permettent de mesurer des variables cinématiques comme la distance parcourue, les accélérations/décélérations et la vitesse moyenne de course, ainsi que des mouvements spécifiques au sport tels que le nombre et la hauteur des sauts, le nombre de plaquages ou d'échappées (Akenhead & Nassis, 2016).

La charge interne représente la réponse psychophysologique que le corps initie pour faire face aux exigences suscitées par la charge externe et qui peut varier en fonction de facteurs contextuels spécifiques entre athlètes ou au sein d'un athlète (Impellizzeri et al., 2018). Par exemple, elle peut être influencée par un certain nombre de facteurs tels que les sources de stress de la vie quotidienne, l'environnement de l'athlète et sa capacité d'adaptation (Soligard et al., 2016). Une méthode couramment utilisée est la « session rate of perceived exertion » (sRPE). Afin de déterminer la charge d'entraînement perçue, l'athlète doit fournir, dans les 30 minutes suivant la session d'entraînement, une valeur unique représentant l'intensité perçue de la charge d'entraînement (Borg, 1998). Cette valeur est ensuite multipliée par la durée de la session (Foster et al., 2001). La surveillance de la fréquence cardiaque est aussi une mesure intrinsèque courante de la façon dont le corps réagit au stress. Avec l'entraînement, la réduction de la fréquence cardiaque au repos est généralement une indication claire que le cœur devient plus efficace et n'a pas à battre aussi fréquemment. Par ailleurs, l'augmentation de la fréquence cardiaque au repos, avec la poursuite de l'entraînement, peut être un indicateur d'un stress trop

important (Lopes Dos Santos et al., 2020). Finalement, l'utilisation de questionnaires qualitatifs portant sur la récupération, l'humeur ou le bien-être (détaillé dans la section suivante) peuvent aussi être utilisés. L'utilisation de mesures subjectives est une méthode simple et pratique lorsqu'il s'agit d'évaluer un grand nombre d'athlètes (Saw et al., 2016).

3.2.4 Mesures du bien-être

La mesure de la charge d'entraînement est souvent combinée à des questionnaires de bien-être puisque les évaluations du bien-être peuvent fournir des informations sur la réponse physiologique et psychologique d'un joueur à l'entraînement (Saw et al., 2016). Cela est particulièrement important si l'on considère que les athlètes peuvent vivre la même charge de travail externe différemment en raison de facteurs contextuels (par exemple, séances matinales, déplacements) ou de facteurs inhérents (par exemple, santé, stress, nutrition) (Impellizzeri et al., 2018). De plus, les indicateurs psychologiques sont plus sensibles et plus cohérents que les facteurs physiologiques au phénomène de surentraînement (Meeusen et al., 2013) et peuvent être effectués et rapportés plus rapidement que les marqueurs physiologiques dont l'évaluation peut prendre des jours, voire des semaines (Bourdon et al., 2017).

L'engagement dans le sport peut contribuer ou nuire au développement du bien-être des athlètes. En termes de bien-être physique, il est bien établi que l'entraînement sportif améliore le fonctionnement neuromusculaire, cardiovasculaire et respiratoire des athlètes, ainsi que d'autres avantages physiologiques tels que l'amélioration de la fonction immunitaire et du métabolisme et du sommeil (Kenney et al., 2021). Toutefois, celui-ci est compromis lorsque les athlètes tombent malades, se blessent ou sont surentraînés en raison de leur participation, ou lorsqu'ils adoptent des pratiques alimentaires malsaines ou abusent de substances (MacAuley, 2012). En ce qui concerne les avantages mentaux de la pratique sportive, les athlètes développent généralement une série de compétences psychologiques qui contribuent à améliorer l'estime de soi, la motivation et la résilience, ce qui profite non seulement à leurs performances, mais aussi à d'autres aspects de leur vie (Weinberg, 2019). Cependant, le bien-être mental peut être affecté par la sous-performance, la pression et les attentes, l'épuisement et le développement de symptômes et de troubles psychologiques inadaptés (Rice et al., 2016).

Finalement, d'un point de vue social, les activités sportives organisées constituent un moyen par lequel les athlètes communiquent, développent des relations et une collaboration, et favorisent un sentiment d'appartenance (Beauchamp & Eys, 2014). Ce bien-être social peut être menacé par un environnement offrant peu de support, des pratiques de contrôle, la discrimination, le harcèlement, l'intimidation, les abus, les conflits et l'isolement (Crow & Macintosh, 2009; Mountjoy et al., 2016; Wachsmuth et al., 2017).

Dans la littérature scientifique, il est évident que les chercheurs considèrent que le concept de bien-être est à la fois subjectif, multidimensionnel et complexe (Lundqvist, 2011). Par conséquent, il existe différents points de vue sur la façon dont le bien-être devrait être défini, ce qui a un impact sur la façon dont la recherche est menée dans ce domaine et sur les conclusions qui peuvent être tirées des études (Ryan & Deci, 2001). Historiquement, la recherche empirique sur le bien-être a été témoin de la formation de deux perspectives et paradigmes relativement distincts, qui s'articulent autour de deux philosophies distinctes. La première, que l'on peut qualifier d'hédonisme (Kahneman et al., 1999), reflète l'idée que le bien-être est constitué de plaisir ou de bonheur. Le second point de vue est que le bien-être ne se résume pas au bonheur, il résiderait plutôt dans l'actualisation des potentiels humains. Ce point de vue a été appelé eudémonisme (Waterman, 1993). L'étude du bien-être hédonique est souvent associée au modèle de bien-être subjectif de Diener (Diener, 1984). En ce qui concerne sa mesure, il est généralement admis que le bien-être subjectif comprend une composante affective (c'est-à-dire la présence d'émotions positives et l'absence d'émotions négatives) et une composante cognitive (c'est-à-dire les évaluations de la satisfaction de la vie). D'un autre côté, la théorie de l'autodétermination (Ryan & Deci 2001) est une perspective qui a adopté le concept d'eudémonisme, ou de réalisation de soi, comme un aspect central de la définition du bien-être et a tenté de spécifier à la fois ce que signifie la réalisation de soi et comment cela peut être accompli. Plus précisément, la théorie de l'autodétermination pose trois besoins psychologiques fondamentaux : l'autonomie, la compétence et l'appartenance sociale, et théorise que la satisfaction de ces besoins est essentielle à la croissance psychologique (par exemple, la motivation intrinsèque), à l'intégrité (par exemple, l'intériorisation et l'assimilation des pratiques culturelles) et au bien-être (par exemple, la satisfaction de la vie et la santé

psychologique). Néanmoins, malgré des décennies de recherche et un récent regain d'intérêt, il n'existe toujours pas de définition reconnue du bien-être (Dodge et al., 2012).

Contrairement à la littérature de psychologie générale, les efforts pour contextualiser le bien-être des athlètes dans un cadre conceptuel/théorique plus large ont été rares dans le domaine de la psychologie du sport (Lundqvist, 2011). Les questionnaires couramment utilisés dans la littérature sur le bien-être sportif reposent donc sur des concepts tels que l'humeur (e.g., POMS), la douleur (e.g., DOMS), le stress perçu (e.g., DALDA) et la récupération (e.g., RESTQ-Sport). Bien que ces questionnaires apportent des informations importantes sur le statut de l'athlète et qu'ils soient relativement simples et non-invasifs, ceux-ci comprennent généralement un nombre élevé de questions. Il peut donc être fastidieux pour les athlètes de les remplir et complexifie la compilation des résultats. De ce fait, ils ne sont pas adéquats pour assurer un suivi quotidien auprès des athlètes, encore moins sur une période prolongée. Une autre méthode couramment utilisée, l'indice Hooper, est la somme de quatre évaluations subjectives : sommeil, fatigue, stress et douleur musculaire, évaluées sur une échelle de 1 à 7 (Hooper et al., 1995). Dans une étude menée auprès de nageurs, une analyse de régression a révélé que, l'évaluation du bien-être à l'aide de l'indice de Hooper, prédisait les scores de fatigue, représentant 76 % de la variance (Hooper et al., 1995). Puis, pendant la période de récupération, l'évaluation du bien-être prédisait l'amélioration des performances en compétition, représentant 72 % de la variance de l'amélioration des temps de course par rapport aux meilleurs temps précédents. L'évaluation autodéclarée du bien-être peut donc constituer un moyen efficace afin de surveiller le surentraînement et la récupération. Il a aussi été montré que cette mesure autodéclarée est associée aux fluctuations de la charge d'entraînement (Moalla et al., 2016; Rabbani et al., 2018; Thorpe et al., 2015), certains chercheurs montrant que la relation entre les changements dans la mesure de bien-être et les changements dans la charge d'entraînement peuvent être très importants ($r = 0,72 ; 0,89$) (Rabbani et al., 2018). Finalement, les mesures d'auto-évaluation personnalisées à un seul item (i.e., des variantes de l'index Hooper) sont aussi largement utilisées dans le sport de haut niveau pour mesurer la préparation de l'athlète et la réponse à la charge d'entraînement (Taylor et al., 2012). Ces mesures sont adéquates afin de réduire la charge de l'athlète et d'augmenter la

compliance lors d'un suivi longitudinal. Finalement, le développement d'une mesure multidimensionnelle englobant les aspects physiques, psychologiques, affectifs et sociaux du bien-être spécifique aux athlètes sera nécessaire pour faire progresser les connaissances dans ce domaine et soutenir plus efficacement la santé et la performance des athlètes.

3.2.3 Sommeil et charge d'entraînement

En général, on suppose que l'exercice est bénéfique pour le sommeil, ce qui se traduit par des latences d'endormissement plus courtes, des occurrences de réveil après l'endormissement moins fréquentes, des durées de sommeil plus longues, moins de changements de stade de sommeil et des transitions REM vers non-REM plus régulières (Youngstedt, 2005). En particulier, les proportions de sommeil profond ont tendance à être plus élevées chez les individus actifs que chez les individus non actifs (Driver & Taylor, 2000) et il a été montré qu'elles augmentent après une journée d'exercice intense (Shapiro et al., 1981). En même temps, il existe des preuves suggérant que, dans certains cas spécifiques, les exigences d'entraînement des athlètes peuvent également compromettre le sommeil (Gupta et al., 2017). Le tableau 1 présente un résumé des travaux qui ont étudié le lien entre le sommeil et la charge d'entraînement chez une population athlétique. Alors que quelques études ne notent aucun effet d'une élévation de la charge d'entraînement sur le sommeil (Fox, et al., 2020; Knufinke et al., 2018; Lastella et al., 2020; O'Donnell et al., 2019; Robey et al., 2014) et certaines même un effet favorable sur le sommeil (Lalor et al., 2020; Thornton et al., 2018; Whitworth-Turner et al., 2019a), la majorité des études pointent plutôt vers un effet nuisible d'une élévation de la charge d'entraînement sur le sommeil en diminuant la quantité de sommeil total. Récemment, dans une méta-analyse Roberts, Teo, & Warmington (2019) ont trouvé qu'une augmentation de la charge d'entraînement de plus de 25 % avait une incidence négative sur la durée totale du sommeil. Les mécanismes exacts de cette altération du sommeil ne sont pas clairs, bien qu'il soit suggéré qu'elle soit causée par une augmentation du cortisol (Balsalobre-Fernández et al., 2014) et de l'activité sympathique (Iellamo et al., 2002), donc un état d'excitation physiologique accru qui augmente la fréquence cardiaque et la fonction métabolique (Myllymäki et al., 2011). Une augmentation de la charge d'entraînement pourrait également perturber le sommeil en provoquant des douleurs causées par des dommages musculaires (Takarada, 2003) et des

mictions fréquentes la nuit associées à la réhydratation (Roberts, Teo, & Warmington, 2019). Comme les athlètes soumettent régulièrement leur corps à des efforts physiques importants, il est possible qu'ils aient besoin de plus de sommeil que la moyenne des gens pour récupérer (Halson, 2013).

Auteurs	Participants	Méthodes	Résultats
Taylor et al. (1997)	7 femmes Natation 19 ± 2 ans	1 nuit base 1 nuit peak 1 nuit récupération Polysomnographie Journal	↑ Sommeil lent ↑ Mouvements en sommeil
Teng et al. (2011)	28 hommes Cyclisme 19.6 ± 1.6 ans	1 semaine normale 3 semaines charge élevée 2 semaines récupération Actigraphie + journal Qualité sommeil subjective	↓ Durée et efficacité sommeil ↑ Mouvements en sommeil ↑ Qualité pendant récupération mais pas de changement quand charge haute vs normale
Hauswirth et al. (2014)	27 hommes Triathlon	1 semaine base 3 semaines surcharge 2 semaines récupération Rythme cardiaque Actigraphie	Athlètes surentraînés : ↓ Durée sommeil ↓ Efficacité sommeil
Robey et al. (2014)	12 hommes Soccer 18.5 ± 1.4 ans	7 semaines Actigraphie Subjective SQ sRPE	Aucun effet
Lastella et al. (2015)	21 hommes Cyclisme 22.2 ± 2.7 ans	39 jours : Base, simulation grand tour, récupération. Actigraphie + journal	↓ Durée sommeil
Schaal et al. (2015)	10 femmes Nage synchronisée 20.4 ± 0.4 ans	7 jours entraînement 14 jours surcharge Actigraphie + qualité subjective sRPE	↓ Durée sommeil ↓ Efficacité sommeil ↑ Latence
Kölling et al. (2016)	55 hommes Rameurs 17.7 ± 0.6 ans	4 semaines camp Actigraphie + journal	↓ Durée sommeil
Killer et al. (2017)	13 hommes Cyclisme 25 ± 6 ans	9 jours entraînement intensifs (+ 153%) 5 jours baseline Actigraphie + journal	↑ Temps au lit ↓ Durée sommeil ↓ Efficacité sommeil

Pitchford et al. (2017)	19 hommes Football australien 22.1 ± 3.5 ans	8 jours réguliers 8 jours camp Actigraphie + journal sRPE	↓ Durée sommeil
Thornton et al. (2017)	31 hommes Rugby 24.5 ± 3.9 ans	7 jours réguliers 13 jours camp Actigraphie GPS	↓ Durée sommeil
Knufinke et al. (2018)	42 hommes, 56 femmes Athlètes élite 18.8 ± 3 ans	7 jours entraînement Actigraphie EEG un canal RPE	Aucun effet
Thornton, Delaney, et al. (2018)	14 hommes Rugby professionnel	Actigraphie GPS sRPE	Acc/décélération : ↑ Durée + efficacité Distance course + distance haute vitesse : ↓ Durée + efficacité
Dumortier et al. (2018)	26 femmes Gymnastique 15.4 ± 3.7 ans	9 semaines Journal sRPE	↓ Durée sommeil
Whitworth-Turner et al. (2019)	10 hommes Soccer 18 ± 1 ans	14 jours Zeo (bandeau EEG) GPS sRPE	Distance haute vitesse ↑ durée sommeil
Costa et al. (2019)	18 femmes Soccer 21.4 ± 2.1	8 entraînements soir 8 jours repos TRIMP sRPE Actigraphie	↓ Durée sommeil ↓ Latence sommeil ↓ Temps au lit ↑ Heure du coucher
Leduc et al. (2019)	9 hommes Rugby 27.9 ± 5.3	Pré saison Plus haut weekly TL vs plus bas weekly TL Actigraphie + journal sRPE GPS	↓ Durée sommeil ↓ Qualité subjective
Roberts, Teo, & Warmington (2019)	Multisport > 15 ans	Meta-analyse 11 études	↓ Durée sommeil
O'Donnell et al. (2019)	10 femmes Netball 23 ± 6 ans	1 jour contrôle 1 jour entraînement Actigraphie	Aucun effet
Fullagar et al. (2019)	23 hommes Football 21.1 ± 1.2	Juin à octobre : Off season Camp Saison Saison + école (Au moins 3 nuits/condition) Actigraphie	↓ Durée sommeil quand entraînement intensif (camp + saison)

		GPS	
Lastella et al. (2020)	11 femmes Basketball 17.3 ± 0.9 ans	14 jours camp Actigraphie + journal sRPE	Aucun effet
Hrozanova et al. (2020)	37 hommes, 19 femmes Sports d'endurance hivernaux 17-19 ans	61 jours Somnofy (radar) TRIMP	↓ REM
Fox et al. (2020)	7 hommes Basketball 23.0 ± 4.1 ans	6 à 14 jours pré + saison Actigraphie + journal Accéléromètres HR monitors sRPE	Aucun effet
Lalor et al. (2020)	38 hommes Football australien élite 22.1 ± 3.3 ans	15 jours présaison Actigraphie + journal GPS	↓ Latence ↑ Efficacité sommeil
Aloulou et al. (2021)	91 femmes, 37 hommes Multisports 15.2 ± 2 ans	7.3 (2.7) jours Actigraphie + journal sRPE	↓ Durée sommeil ↓ Efficacité sommeil ↓ Qualité subjective
de Blasiis et al. (2021)	7 hommes, 8 femmes Sports individuels 21.7 ± 2.2 ans	20 ± 1 jours Actigraphie + journal Qualité subjective (SSI) sRPE	↑ Éveil nocturne ↑ Latence
Conlan et al. (2021)	26 hommes Rugby 24.8 ± 3.6 ans	1 semaine charge basse 1 semaine charge haute 1 semaine avec match sRPE Actigraphie + journal	↓ Durée sommeil ↓ Heure de lever
Costa et al. (2021)	34 femmes Soccer 20.6 ± 2.3	6 entraînements soir 6 jours repos 2 matchs Actigraphie TRIMP sRPE Moniteurs rythme cardiaque	sRPE ↓ Durée et efficacité sommeil TRIMP ↓ Durée et efficacité sommeil

Tableau 1. – Résumé des études sur l'effet de la charge d'entraînement sur le sommeil

3.3 Sommeil et compétition

3.3.1 Effets de la compétition sur le sommeil

Il convient également de noter que les saisons de compétition sont ponctuées de matchs et de compétitions. Ces événements diffèrent à bien des égards aux journées d'entraînement

habituelles et sont associés à leurs propres perturbations du sommeil. Par exemple, des études menées sur des athlètes ont montré à plusieurs reprises que les niveaux de stress et d'anxiété augmentent à l'approche des compétitions, ce qui est susceptible de nuire à la qualité et à la durée du sommeil (Watson, 2017). Un temps de sommeil suffisant et de qualité est souvent considéré comme nécessaire pour de nombreux facteurs contribuant à la performance en compétition, comme la réduction du risque de blessure, la prévention de la fatigue et des pertes de concentration pendant le match (Kirschen et al., 2018). Des études antérieures sur les sports d'équipe ont montré que le succès en compétition est lié à une augmentation de la durée et de la qualité du sommeil (Brandt et al., 2017; Fox et al., 2020; Juliff, Halson, et al., 2018).

Les matchs en soirée peuvent être particulièrement difficiles pour les athlètes avec l'heure de début tardive et les perturbations liées aux déplacements tard dans la soirée. Il a été signalé que les troubles du sommeil étaient plus fréquents après un match de soir (Roberts et al., 2019). Ainsi, les résultats d'une méta-analyse ont montré que la durée totale du sommeil était de 80 minutes plus courte et que l'efficacité du sommeil était réduite de 3 à 4 % la nuit d'une compétition en soirée par rapport aux nuits précédentes (Roberts, Teo, & Warmington, 2019). Le tableau 2 présente un résumé des études qui font le lien entre un match/compétition et le sommeil subséquent. À l'exception de deux études (Fowler et al., 2017; Whitworth-Turner et al., 2019), toutes montrent que la participation à un match ou une compétition a un effet préjudiciable sur le sommeil.

Auteurs	Participants	Méthodes	Résultats
Netzer et al. (2001)	13 hommes Cyclisme 23.9 ans	1 nuit post course 1 nuit contrôle Polysomnographie	↑ Latence apparition RME ↓ REM dans 1 ^{ère} moitié de nuit
Richmond et al. (2004)	10 hommes Football australien 23 ± 2 ans	1 match domicile jour 1 match extérieur jour 5 nuits contrôles Actigraphie + journal Qualité subjective	↓ Durée sommeil match domicile et extérieur ↓ Qualité subjective match domicile
Fowler et al. (2014)	6 hommes Football australien 23.4 ans	6 matchs à domicile 6 matchs à l'extérieur (avion) 2 jours avant/après match Actigraphie Qualité sommeil	↓ Durée et qualité sommeil match domicile et extérieur

		subjective	
Eagles et al. (2014)	10 hommes Rugby	12 nuits BodyMedia Sensewear Units	↓ Durée sommeil ↑ Heure coucher ↓ Efficacité
Lastella et al. (2015)	21 hommes Cyclisme endurance route 19.9 ± 1.7 ans	11 nuits : 6 baseline, 3 pré compé, 2 compé Actigraphie + journal	↓ Durée sommeil
Fowler et al. (2015)	16 hommes Football australien 25-29 ans	2 semaines 1 match soir Actigraphie + journal	↓ Durée sommeil
Shearer et al. (2015)	28 hommes Rugby 24.4 ± 2.9 ans	4 matchs domicile/soir 2 nuits avant match 3 nuits après match Actigraphie	↓ Durée sommeil
Fullagar et al. (2016)	16 hommes Soccer 25.9 ± 7.5 ans	21 jours : Entraînement 1 Match jour 2 Matches soir Questionnaire en ligne	↓ Durée sommeil quand match soir ↓ Sommeil réparateur
Sargent & Roach (2016)	22 hommes Football australien 22.1 ± 2.7 ans	Pré-saison 1 nuit post match jour 1 nuit post match soir Actigraphie + journal	Match soir vs jour ↓ Temps au lit ↓ Durée sommeil ↑ Heure du coucher
Staunton et al. (2017)	17 femmes Basketball	30 semaines: Pre-match Match Post-match Entraînement Actigraphie	↓ Durée sommeil quand « double header » Pas d'effet du lieu du match (domicile/extérieur)
Fowler et al. (2017)	20 hommes Soccer 16.2 ± 1.2 ans	3 matchs soir camp Actigraphie	Aucun effet
Lalor et al. (2018)	45 hommes Football australien 22.1 ± 3.3	4 matchs à domicile (3 jours, 1 soir) 10 jours pré-saison Actigraphie + journal	↑ Efficacité sommeil
O'Donnell et al. (2018)	10 femmes Netball 23 ± 6 ans	1 match soir 1 simulation match 1 contrôle Actigraphie	↓ Efficacité sommeil ↓ Durée sommeil ↑ Latence
Dunican et al. (2018)	20 hommes Rugby 26 ± 3 ans	3 nuits avant match Nuit du match (soir) 3 nuits après match Actigraphie + journal	↑ Heure du coucher ↓ Durée sommeil
Juliff, Peiffer, et al. (2018)	12 hommes Netball 19.2 ± 0.9 ans	1 match soir 1 jour contrôle Actigraphie + journal	↓ Durée sommeil ↓ Efficacité sommeil ↓ Heure lever ↓ Qualité subjective
Carriço et al. (2018)	25 hommes	95 entraînements	↓ Durée sommeil

	Soccer 26.3 ± 4.7 ans	75 matchs domicile 79 matchs extérieur 38 matchs jour 116 matchs soir Actigraphie	match soir vs jour ↑ Durée sommeil match extérieur vs domicile
Roberts, Teo, & Warmington (2019)	Multisports 18 études	Méta-analyse	↓ Durée et efficacité sommeil surtout quand match soir
Whitworth-Turner et al. (2019b)	10 hommes Soccer 18 ± 1 ans	14 jours (3 entraînements/semaine, 2 matchs) Zeo (bandeau EEG)	Aucun effet
Nédélec et al. (2019)	1 homme Soccer 31 ans	4 mois 12 matchs soir Actigraphie + journal Qualité subjective	↑ Latence sommeil ↓ Efficacité sommeil ↓ Qualité subjective
Nédélec et al. (2019)	20 hommes Soccer 26.0 ± 4.6	6.1 ± 3.2 entraînements 2 matchs domiciles soir, 3 matchs extérieurs soir Actigraphie Qualité subjective (1-10)	↓ Temps au lit ↓ Durée sommeil
Vitale et al. (2019)	12 hommes, 12 femmes Volleyball professionnel 26 ± 3.4 ans	2 nuits post match soir Actigraphie + journal	↓ Durée sommeil ↓ Efficacité sommeil
Fox et al. (2020)	7 hommes Basketball 23.0 ± 4.1 ans	3 matchs pré saison 8 matchs domicile 10 matchs extérieur Actigraphie + journal Accéléromètres HR monitors sRPE	Medium ou haute charge externe = ↑ heure du coucher ↓ Temps au lit et durée sommeil quand haut rpe ou charge externe (PL)
Fox, Scanlan, Stanton, & Sargent (2020b)	7 hommes Basketball 23.0 ± 4.1 ans	5 matchs domicile 9 matchs extérieur Actigraphie + journal	↑ Heure coucher quand match extérieur, défaite et partie non-équilibrée ↑ Heure lever quand défaite ↑ Fragmentation quand victoire ↑ Efficacité quand défaite
Conlan et al. (2021)	26 hommes Rugby 24.8 ± 3.6 ans	1 semaine charge basse 1 semaine charge haute 1 semaine avec match sRPE Actigraphie + journal	↓ Durée sommeil après un match ↑ Heure de coucher ↓ Efficacité sommeil
Sanz-Milone et al. (2021)	8 hommes Rugby chaise roulante 28 ± 4,2 ans	Pré-saison + saison : 3 jours entraînement 3 jours repos	↓ Durée sommeil ↓ Efficacité sommeil ↑ Éveil pendant la nuit

		4 jours compétition Actigraphie + journal	(WASO)
Thomas et al. (2021)	18 femmes Soccer 23.2 ± 4.5 ans	1 semaine avec 1 match Actigraphie sRPE	↓ Durée sommeil après match vs entraînement chez les joueurs partants, mais pas chez les substituts.
Miles et al. (2021)	41 femmes : 11 basketball 24.1 ± 4.9 ans 10 soccer 24.8 ± 6.4 ans 20 non-athlétique 24.2 ± 2.8 ans	Nombre match inconnu Actigraphie + journal sRPE	↑ Durée sommeil quand domicile vs extérieur

Tableau 2. – Résumé des études sur le sommeil suivant un match/compétition

3.3.2 Facteurs qui influencent le sommeil en compétition

Certains facteurs physiologiques pourraient expliquer les troubles du sommeil la nuit suivant un match ou une compétition. Ainsi, la modulation des variables neuroendocriniennes et physiologiques causée par l'activité physique semble être une explication fréquemment proposée pour expliquer la diminution du temps de sommeil. Plusieurs études ont montré une élévation du cortisol immédiatement après un match/compétition (Elloumi et al., 2003; Filaire et al., 1999, 2001; Juliff, Peiffer, et al., 2018; McKay et al., 1997). Cependant, certaines études ont montré que le niveau élevé de cortisol après un match/compétition chez des athlètes était revenu au niveau de base environ 3-4h après le match (Elloumi et al., 2003; Juliff, Peiffer, et al., 2018). Il est donc peu probable que celui-ci ait une incidence sur le sommeil. De plus, les niveaux élevés d'adrénaline et de noradrénaline n'ont pas été associés aux mesures du sommeil (Juliff et al., 2018). Une activation physiologique élevée pourrait expliquer en partie ces difficultés de sommeil, car il a été montré qu'une charge de travail élevée pendant un match réduisait le temps de sommeil total de 130 minutes chez les joueurs de basket-ball (Fox et al., 2020). D'un autre côté certains facteurs psychologiques ont aussi été avancés pour expliquer les troubles du sommeil après un match/compétition. Par exemple, des études menées sur des athlètes ont montré à plusieurs reprises que les niveaux de stress et d'anxiété augmentaient dans un contexte compétitif (Erlacher et al., 2011; Gupta et al., 2017; Juliff et al., 2015; Juliff, Peiffer, et al., 2018), des états incompatibles avec le sommeil.

Finalement, certains facteurs contextuels influent sur les exigences physiques, physiologiques et psychologiques rencontrées par les joueurs pendant les matchs/compétitions. Ainsi, le lieu et le moment du match peuvent avoir une incidence sur le sommeil. Par exemple, un match/compétition en soirée peut diminuer le temps de sommeil total parce que l'heure du coucher est retardée (Carrizo et al., 2018; Conlan et al., 2021; Dunican et al., 2018; Eagles et al., 2014; Fox, Scanlan, Stanton, & Sargent, 2020b; Fullagar et al., 2016; Roberts, Teo, & Warmington, 2019; Sargent & Roach, 2016). Le portrait est moins clair en ce qui a trait à l'effet du lieu du match, certains auteurs rapportent un sommeil restreint lors d'un match à l'extérieur (Miles et al., 2021) alors que d'autres rapportent un sommeil plus long (Carrizo et al., 2018) ou alors un sommeil restreint peu importe le lieu du match (Fowler et al., 2014; Richmond et al., 2004). Au-delà du lieu du match, les difficultés de sommeil peuvent être liées au fait de dormir dans un environnement inconnu (Lastella et al., 2015). Les déplacements en vue d'une compétition peuvent également interférer directement avec le sommeil en raison des modifications des horaires de sommeil et de la dissociation avec les rythmes circadiens (Watson, 2017). Outre l'anxiété et le stress liés au voyage lui-même, les voyages transméridiens et le décalage horaire qui en découle, sont associés à la fatigue, à la désorientation, à l'altération du sommeil et à un malaise général (Waterhouse et al., 2004). Enfin, l'issue du match (victoire/défaite), peut avoir une incidence sur le sommeil, mais les résultats sont plus incertains. Après une victoire les athlètes présenteraient moins d'anxiété cognitive (Filaire et al., 2009). D'un autre côté, certains chercheurs rapportent une diminution de l'efficacité du sommeil et une fragmentation du sommeil plus élevée après les matchs gagnés par rapport aux matchs perdus, ce qui suggère une qualité de sommeil moindre après les victoires (Fox, Scanlan, Stanton, & Sargent, 2020b).

Chapitre 4 – Sommeil et apprentissage du mouvement

4.1 Apprentissage et consolidation

L'apprentissage d'une habileté motrice nécessite la pratique répétée et se produit selon des phases distinctes qui permettent l'automatisation du mouvement. Tout d'abord, une phase rapide, qui permet l'amélioration considérable de la performance lors des premières séances de pratique ou même au sein d'une seule séance. Dans cette phase, l'implication du striatum, du cervelet, de l'hippocampe et des régions corticales préfrontales et prémotrices permettraient les gains de performance (Albouy et al., 2013; Doyon et al., 2018). Puis, s'ensuit une seconde phase, plus lente, pendant laquelle de légers gains supplémentaires peuvent être observés sur plusieurs sessions de pratique (Doyon, 2008; Doyon et al., 2009; Karni et al., 1995). Alors que les performances asymptotiques sont progressivement atteintes, la contribution des régions sensorimotrices du striatum (le putamen, en particulier) et des régions corticales motrices augmente progressivement, alors que l'activité du cervelet et de l'hippocampe diminue (Doyon et al., 2002, 2018; Lohse et al., 2014; Penhune & Steele, 2012). Des études récentes ont également montré que le processus d'apprentissage se prolonge au-delà des séances de pratique. Plus précisément, la formation de la mémoire à long terme semble impliquer des changements neurobiologiques, tels que la synthèse de nouvelles protéines et de synapses dans le cerveau, qui nécessitent du temps pour se déployer et ne peuvent donc être achevés qu'entre les sessions de pratique (Walker, 2005). Ces changements, regroupés sous le terme de "consolidation", sont essentiels pour transformer la nouvelle trace mnésique, qui est initialement labile et sensible aux interférences, en un état plus stable et permanent. L'apprentissage moteur est donc un processus qui demande du temps.

La mémoire qui sous-tend ce « comment faire » est nommée mémoire procédurale. C'est la mémoire de la perception et de la motricité qui est apprise par la pratique répétée. Elle reste relativement stable et peut être acquise de façon implicite ou explicite (Feld & Born, 2012). Pour étudier ce type de mémoire, les chercheurs ont utilisé une variété de paradigmes d'apprentissage de séquences motrices afin de tester le processus par lequel des actions

discrètes et indépendantes sont unifiées et exécutées sans effort (Boutin & Doyon, 2020). Typiquement, ce type de tâche consiste à reproduire, dans l'ordre, une séquence apprise sur un clavier ou en opposant le pouce aux autres doigts de la main (King et al., 2017). Essentiellement, les participants apprennent une séquence de 5 éléments avant de la pratiquer pendant 12 blocs de 30 secondes chacun. Cette séquence de mouvements peut être apprise explicitement avant l'entraînement ou de manière implicite pendant la pratique. Malgré ces différences méthodologiques, l'instruction donnée au participant est de reproduire la séquence le plus rapidement possible, sans toutefois en négliger la précision (i.e., le nombre d'erreurs). La pratique permet aux participants d'augmenter la vitesse d'exécution et de réduire le nombre d'erreurs. Ces mesures de vitesse et de précision d'exécution permettent la quantification de la performance. Il est alors possible de mesurer l'effet de la consolidation lors de tests subséquents. Ces tâches séquentielles sont utilisées puisqu'elles constituent des substituts valables pour étudier les divers mécanismes nécessaires à l'acquisition d'aptitudes motrices de la vie réelle (par exemple, jouer du piano, taper à la machine, etc.) et parce qu'elles sont faciles à mettre en œuvre dans les études expérimentales (Doyon et al., 2018).

4.2 Stabilisation de la performance

La consolidation peut permettre la stabilisation de la performance, un effet qui peut être observé par la réduction de la vulnérabilité à l'interférence. Précisément, l'interférence rétroactive peut être observée lorsque la rétention d'une nouvelle habileté est compromise par l'apprentissage d'un autre ensemble de compétences ou de faits subséquents. La résistance à cette interférence est exprimée par le maintien du niveau de performance après l'introduction d'un épisode interférent (Robertson, 2012). Ce processus prendrait place dans les heures suivant l'apprentissage, ce qui laisse présager qu'il serait dépendant du temps plutôt que du sommeil (Balas et al., 2007; Korman et al., 2003). D'un autre côté, certaines études ont montré qu'une période de sommeil diurne suivant immédiatement l'acquisition d'une nouvelle séquence motrice pouvait réduire la sensibilité à l'interférence lorsqu'une deuxième tâche était introduite, comparativement à une période d'éveil (Albouy et al., 2016; Korman et al., 2007)

La stabilisation de la performance prendrait place entre 10 minutes et 6 heures d'éveil après l'acquisition d'une séquence, la rendant résistante aux interférences causées par l'introduction d'une seconde tâche, mais ne produit aucune amélioration de vitesse ou de précision (Walker et al., 2003). La performance d'une séquence, même bien entraînée, est toujours susceptible à des interférences. Ainsi, il peut y avoir interférence lorsque l'apprentissage d'une nouvelle séquence B est insérée avant d'exécuter une compétence A, qui est pourtant bien entraînée. En revanche, une telle interférence n'a pas été observée si la séquence A est exécutée avant la séquence B (Yotsumoto et al., 2013).

4.3 Apprentissage hors-ligne

La consolidation d'une séquence motrice a été associée à une augmentation spontanée de la performance, même en l'absence de pratique supplémentaire entre la session d'acquisition et le test de rétention, c'est-à-dire un apprentissage hors-ligne (Stickgold & Walker, 2007). Ce processus de consolidation hors-ligne de la mémoire est principalement observé des heures ou des jours après la première session d'entraînement (Boutin & Doyon, 2020). Récemment, Bönstrup et al. (2019) sont venus remettre en doute cette idée puisqu'ils ont rapporté que les mêmes phénomènes hors-lignes peuvent également se produire rapidement, c'est-à-dire sur une échelle de temps de quelques secondes, entre les blocs de pratique de la session d'entraînement.

Un effet bénéfique du sommeil sur la performance motrice a été observé principalement pour des tâches d'apprentissage explicite de séquence des doigts, alors que cette dernière est instable et tend à diminuer pendant une période équivalente d'éveil (Brawn et al., 2010; Doyon et al., 2009; Landry et al., 2016). Par exemple, Walker et al. (2002) ont montré qu'une nuit de sommeil entraîne une augmentation de 20 % de la vitesse motrice sans perte de précision, alors qu'une période équivalente d'éveil n'apporte aucun avantage significatif lors d'une tâche de séquence des doigts. De façon similaire, Kuriyama et al. (2004), ont rapporté une amélioration de la vitesse d'environ 18 % suite à une nuit de sommeil avec une tâche de pianotage. Alors que la majorité des études sur l'apprentissage explicite de séquences montrent un effet positif du sommeil sur les processus de consolidation, il est important de noter que, quelques études ne

rapportent pas cet effet (Backhaus et al., 2016; Cai & Rickard, 2009; Landry et al., 2016), même que l'effet de consolidation hors-ligne est remis en doute par certains chercheurs (voir Pan & Rickard, 2015).

La consolidation hors-ligne a également été observée dans des variations de tâches plus complexes. Bien qu'il n'existe pas de définition pour caractériser une tâche de motricité globale, une tâche peut être définie comme globale dans la mesure où elle exige le contrôle d'un grand nombre de degrés de liberté, qu'elle possède une certaine pertinence écologique ou qu'elle implique de larges groupes musculaires. L'apprentissage hors-ligne a donc été observé dans une tâche d'atteinte des bras (Malangré et al., 2014), de séquences de coordination des bras (Kempler & Richmond, 2012), de jonglerie (Morita et al., 2012, 2016) et de danse (Genzel et al., 2012). D'un autre côté, l'apprentissage hors-ligne n'a pas été observé lors de certaines tâches de motricité globale. Ainsi, lors d'une tâche demandant aux participants de sauter à une hauteur correspondant à 60% de leur élévation verticale maximale, aucune amélioration hors-ligne n'a été observée (Blischke et al., 2008). L'effet de consolidation hors-ligne n'a pas non plus été observé lors de l'apprentissage du vélo avec un volant inversé; au contraire, la performance était diminuée suite à la consolidation (Hoedlmoser et al., 2015). Ces résultats laissent croire que l'apprentissage hors-ligne ne puisse pas se généraliser à toutes les compétences de motricité globale.

4.4 Sommeil et consolidation

Le sommeil est défini comme un état naturel et réversible de moindre réactivité aux stimuli externes et d'inactivité relative, accompagné d'une perte de conscience (Rasch & Born, 2013). Une nuit de sommeil est composée de cycles d'environ 90 minutes divisés en périodes de sommeil à mouvements oculaires rapides (REM) et de sommeil non-REM, ce dernier étant divisé en stades 1 à 3, tels que mesurés par l'électroencéphalographie (EEG). Le stade 1 est un stade transitoire entre l'éveil et le sommeil. Le stade 2 est déterminé par l'apparition des fuseaux de sommeil (activité croissante et décroissante de 10 à 15 Hz) et des complexes K (une déflexion négative brusque de forte amplitude suivie d'une onde positive plus lente). Le stade 3 est le plus profond et est désigné sous le nom de sommeil lent. Il se caractérise par de grandes activités à

ondes lentes (0.5-4 Hz) et une réactivité moindre aux stimuli extérieurs. Finalement, le sommeil REM, associé aux contenus oniriques, se caractérise par des mouvements oculaires rapides, une perte de tonus musculaire et une activité électrophysiologique de bas voltage similaire à celle observée durant le stade 1 (Feld & Diekelmann, 2015).

Malgré son apparente tranquillité, le sommeil est un état physiologique complexe lors duquel le cerveau est encore largement activé et donc capable d'un traitement robuste et élaboré de l'information (Hobson, 2005). Il existe désormais de nombreuses preuves que le sommeil joue un rôle actif dans la consolidation des souvenirs procéduraux (voir Diekelmann & Born, 2010; King et al., 2017, pour des revues). Ainsi, les périodes de sommeil post-entraînement permettraient des changements au niveau synaptique et cellulaire en réactivant et en réorganisant la nouvelle trace mnésique afin de l'intégrer dans des mémoires à long terme préexistantes (Klinzing et al., 2019).

4.4.1 Niveaux de consolidation

Après la phase d'acquisition initiale, les informations nouvellement apprises sont traitées et réactivées hors-ligne afin de se fixer dans la structure physique du cerveau par une cascade d'événements se produisant à la fois au niveau synaptique/cellulaire et au niveau des systèmes cérébraux (Boutin & Doyon, 2020). Au niveau cellulaire, le processus de consolidation implique la formation de nouvelles synapses ou la modification de celles déjà existantes par des mécanismes moléculaires. Ce processus est local, c'est-à-dire qu'il se produit dans les mêmes structures qui ont été activées pendant l'encodage et prendrait place dès les premières minutes suivant l'apprentissage (Dudai, 2004). En revanche, la consolidation au niveau systémique prendrait des semaines, voire des mois, pour s'accomplir. Ce processus permettrait la réorganisation des représentations mnésiques formées lors de l'encodage en les traitant de nouveau et en les intégrant dans des représentations existantes de la mémoire à long terme afin d'automatiser l'habileté motrice (Diekelmann & Born, 2010).

4.4.2 Réactivation

Un possible mécanisme qui sous-tend la consolidation de la mémoire pendant le sommeil est la réactivation spontanée des zones du cerveau recrutées pendant l'apprentissage,

un phénomène souvent lié à la réorganisation de l'information (Born et al., 2006). Cette idée de réactivation de la mémoire prend origine dans des études animales qui ont montré que, chez les rats, les séquences de décharges neuronales de l'hippocampe pendant l'apprentissage d'une tâche spatiale, sont rejouées pendant le sommeil ultérieur (Nadasdy et al., 1999; M. Wilson & McNaughton, 1994). Ce phénomène a aussi été observé chez l'humain. Notamment, en utilisant des mesures du débit sanguin cérébral régional, Peigneux et al. (2004), ont montré que les zones de l'hippocampe qui sont activées pendant l'apprentissage d'un itinéraire dans une ville virtuelle le sont également pendant le sommeil lent qui suit. Plus important encore, ils ont constaté que la quantité d'activité hippocampique exprimée pendant le sommeil lent est positivement corrélée à l'amélioration des performances dans la reconnaissance de l'itinéraire le jour suivant.

Plusieurs études en neuroimagerie ont montré la réactivation des régions du cerveau liées à l'apprentissage pendant le sommeil ou le repos éveillé post-entraînement (Deuker et al., 2013; Maquet, 2000; Rasch & Born, 2007; Staresina et al., 2013; Tambini & Davachi, 2013). Récemment, des chercheurs se sont penchés sur les processus physiologiques soutenant cette réactivation lors d'une séquence de mouvements des doigts nouvellement apprise. Les résultats combinés de l'EEG et de l'fMRI révèlent que les régions cérébrales du réseau striato-cérébelleux-cortical recrutées pendant l'entraînement à la tâche et en particulier le striatum, sont également activées pendant le sommeil, en synchronie avec les fuseaux de sommeil. Il est intéressant de noter que, tout comme les études précédentes, le degré de réactivation était corrélé à l'amélioration des performances au test de rétention (Fogel et al., 2017).

Des preuves soutenant la relation de cause à effet entre la réactivation de la mémoire pendant le sommeil et l'amélioration des performances de la mémoire ont été obtenues en utilisant des méthodes permettant d'initier la réactivation de la mémoire de façon externe (Hu et al., 2020). Ces paradigmes de réactivation ciblée de la mémoire consistent à représenter un stimulus associé à l'encodage d'une séquence motrice pendant le sommeil NREM (Hu et al., 2020). Par exemple, Laventure et al. (2016) ont exposé les participants à une odeur pendant l'entraînement initial d'une tâche d'apprentissage d'une séquence motrice et ont été réexposés à cette odeur pendant la nuit post-entraînement. Ils ont montré que, l'augmentation de

l'amplitude, de la durée et surtout de la fréquence des fuseaux observés pendant la phase de stimulation conduisent à un meilleur processus de consolidation et, finalement, à des performances motrices plus élevées le lendemain. Donc, pendant le sommeil NREM, caractérisé par des oscillations corticales lentes et des fuseaux thalamocorticaux, la réactivation implicite de la mémoire peut transformer l'apprentissage nouvellement acquis, dépendant de l'hippocampe, de sorte que les représentations néocorticales deviennent plus stables et résistantes aux interférences (Rasch & Born, 2013). Récemment, des chercheurs ont montré que la réactivation ciblée de la mémoire pouvait aussi s'appliquer à des tâches de motricité globale (Picard-Deland et al., 2021). Pour ce faire, les participants ont effectué une tâche de vol en réalité virtuelle avant et après une sieste matinale ou une période de repos au cours de laquelle des tonalités associées à la tâche ont été administrées en sommeil lent, en sommeil paradoxal, en veille ou pas du tout. Les résultats indiquent que l'apprentissage bénéficie le plus de la réactivation de la mémoire lorsqu'elle est appliquée en sommeil paradoxal par rapport à un groupe de sommeil témoin. Leurs résultats soutiennent l'idée, longtemps défendue mais toujours controversée, que la physiologie du sommeil paradoxal favoriserait la consolidation d'aptitudes procédurales complexes (Smith, 2001).

4.4.3 Réorganisation

La consolidation des traces mnésiques récemment acquises impliquerait également une réorganisation et une redistribution de la connectivité dans les ensembles cellulaires hébergeant la représentation (Klinzing et al., 2019). Chez l'humain, le modèle de réorganisation des systèmes a principalement été déduit indirectement en comparant l'effet de la pratique motrice sur les gains comportementaux hors-ligne de la performance et les changements dans l'activité neuronale entre les sessions initiales d'apprentissage et de rétention séparées par un sommeil diurne ou nocturne (Debas et al., 2010; Fischer et al., 2005; Takashima et al., 2009; Walker et al., 2002).

Afin de vérifier si une réorganisation de l'information pouvait expliquer les gains de performance suite à une période de sommeil, Vahdat et al. (2017) ont enregistré l'activité cérébrale de participants pendant une période de sommeil subséquente à l'apprentissage d'une

séquence de mouvement des doigts à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Ainsi, pendant le sommeil NREM l'activité post-apprentissage qui se situait d'abord au niveau cortical était diminuée et réorganisée dans des régions sous-corticales. Particulièrement, l'activité du putamen pouvait prédire le niveau de performance des participants le lendemain, ce qui souligne le rôle du striatum dans la consolidation et la réorganisation d'une séquence motrice pendant le sommeil NREM. Ces résultats s'accordent avec d'autres études qui ont signalé un déplacement de l'activité neurale des aires motrices corticales vers les structures sous-corticales, en particulier, au striatum pendant la consolidation (Debas et al., 2010; Doyon & Benali, 2005). Finalement, certains changements ont lieu localement. Par exemple, l'activité du striatum se modifie pendant la consolidation en sommeil passant de l'aire rostr dorsale (associative) vers l'aire caudoventrale (sensorimotrice) (Fogel et al., 2017).

4.4.4 Automatisation

Finalement, les processus prenant place pendant le sommeil permettraient l'automatisation d'une nouvelle séquence motrice (Walker & Stickgold, 2006). Ainsi, à l'aide d'une séquence de mouvement des doigts, Kuriyama, Stickgold, & Walker (2004), ont montré que les gains de vitesse après un intervalle de consolidation incluant du sommeil étaient plus importants pour les transitions entre les mouvements effectués lentement au cours de la période d'acquisition alors que les transitions rapides et faciles n'ont montré qu'une amélioration minimale. Ceci suggère que les participants apprenaient la séquence en regroupant certains segments de la séquence, un processus nommé « chunking » (Rosenbloom & Newell, 1987). Grâce à la consolidation, ces segments seraient ensuite incorporés dans un schéma global. Plus récemment, Blischke & Malangré (2016), ont aussi montré que cet effet constituait une part importante de l'amélioration de la vitesse d'exécution lors d'une tâche séquentielle impliquant un mouvement du bras. Le processus de consolidation impliquerait donc l'unification d'unités de mémoire motrices plus petites en un seul élément de mémoire en améliorant sélectivement les sections problématiques de la séquence. Ce processus qui prendrait place pendant le sommeil offrirait donc un meilleur degré d'automatisation des performances en optimisant la vitesse à travers le programme moteur (Kuriyama et al., 2004). Cette idée

d'unification de la séquence est soutenue par des études montrant qu'après un intervalle de consolidation, les éléments d'une séquence deviennent si étroitement liés que demander aux participants d'en modifier les derniers éléments ralentit la performance de la séquence au complet (Rozanov et al., 2010).

Certaines études en neuro-imagerie indiquent que la consolidation d'une habileté motrice dépendante du sommeil représente un processus actif qui façonne la représentation neuronale en l'absence de pratique vers une efficacité accrue. Cette amélioration serait liée à une activation cérébrale fortement réduite dans les zones corticales préfrontales, prémotrices et motrices primaires, ainsi qu'à une plus forte implication des régions corticales pariétales gauches. Cette réorganisation dépendante du sommeil permet une régulation comportementale plus efficace et automatisée, exprimée par une amélioration significative de la performance après le sommeil (Fischer et al., 2005).

4.4.5 Caractéristiques du sommeil qui sous-tendent la consolidation

Alors que les premières études utilisant des tâches motrices avaient identifié le sommeil REM comme favorisant la consolidation (Cajochen et al., 2004; Fischer et al., 2002; Plihal & Born, 1997) de plus en plus d'évidences identifient le sommeil non-REM comme le moment propice à la consolidation d'un apprentissage moteur séquentiel (Doyon et al., 2009; Genzel et al., 2014; Korman et al., 2007; Laventure et al., 2016; Rasch & Born, 2013; Walker, 2005; Walker et al., 2002). Les théories contemporaines sur la consolidation de la mémoire postulent que la synchronisation et l'interaction entre des rythmes cérébraux spécifiques pendant le sommeil peuvent être responsables du renforcement et de la transformation, induits par la réactivation, des représentations de la mémoire nouvellement formées (S. Fogel et al., 2017; Rasch & Born, 2013; Vahdat et al., 2017). À ce jour, il n'existe toujours pas de consensus quant au stade de sommeil sous-tendant la consolidation.

Principalement, les fuseaux (voir section 4.3) semblent être associés à l'efficacité à laquelle les souvenirs moteurs sont consolidés et même prédire des gains de performance hors-ligne suite à l'apprentissage d'une tâche procédurale (Barakat et al., 2013; S. M. Fogel & Smith, 2006; Laventure et al., 2016; Morin et al., 2008). Ils joueraient un rôle pivot dans le

renforcement et la transformation de la représentation neuronale créée lors de l'apprentissage initial en réactivant la trace mnésique lors du sommeil ultérieur (Doyon et al., 2018). Ces fuseaux seraient synchronisés à l'activité hippocampique une structure qui soutient, en partie, la consolidation. Ce dialogue permettrait aux représentations mnésiques d'être redistribuées dans la mémoire à long terme (Diekelmann & Born, 2010).

Objectifs et hypothèses

Puisqu'il n'y a toujours pas de consensus concernant les effets de la charge d'entraînement externe et interne sur le sommeil, le premier objectif était de décrire l'influence de ces charges sur le sommeil des athlètes. Il est attendu que :

- Une augmentation de la charge d'entraînement externe diminuera la quantité et la qualité du sommeil.
- Un niveau de bien-être élevé sera associé à une quantité et qualité de sommeil plus élevées.
- Des charges cognitives et d'entraînement plus élevées diminueront la quantité et la qualité du sommeil.

Ensuite, bien que plusieurs études rapportent des perturbations du sommeil lors des matchs, les mécanismes physiologiques et/ou contextuels potentiels pouvant expliquer ce phénomène sont méconnus. Le deuxième objectif est donc d'identifier les variables physiologiques, psychologiques et contextuelles qui affectent le sommeil lors des nuits suivants un match. Il est attendu que :

- Les athlètes présentant une activation cognitive et somatique plus élevées au coucher présenteront un sommeil plus court et de moindre qualité suivant un match.
- Les athlètes ayant des scores d'habiletés mentales fondamentales (fixation d'objectifs, confiance en soi, engagement), psychosomatiques (réaction au stress, contrôle de la peur, activation, relaxation) et cognitives (concentration, imagerie, entraînement mental, planification de la compétition, contrôle des distractions) plus élevés auront un sommeil de meilleure qualité suivant un match.
- La distance parcourue, le lieu du match, le résultat du match et une charge de travail totale ou une intensité élevée pendant le match auront un effet négatif sur la durée et la qualité du sommeil.

Finalement, il est maintenant bien établi que la consolidation est une étape essentielle à l'apprentissage moteur et que cette consolidation peut être facilitée par le sommeil. Le dernier

objectif de cette thèse est d'évaluer l'effet de la consolidation sur une tâche de motricité globale qui présente les mêmes sous-composantes qu'un mouvement sport. Il était attendu que :

- Les sujets bénéficiant d'une pause de 24 heures présenteront une meilleure performance lors du test de rétention que les sujets bénéficiant d'une pause de 10 minutes.

Chapitre 5 – Article 1 : Sommeil, bien-être et charge d'entraînement

Ce chapitre est présenté sous forme d'article. Il a été soumis dans le *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

Association between variations in training load, sleep, and well-being in professional hockey players

Amélie Apinis-Deshaies¹, Maxime Trempe² and Jonathan Tremblay¹

¹École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique, Faculté de Médecine, Université de Montréal

²Sport Studies Department, Bishop's University

Abstract

Purpose: To evaluate if sleep quantity and quality is affected by the external training load (TL) and well-being in professional hockey players. **Methods:** Fifty male athletes were monitored daily during the 28 weeks of the regular season using well-being and sleep surveys. On-ice external TL was monitored using portable inertial measurement units during practices and matches. Linear mixed-effects models were applied to evaluate if well-being perception (i.e., pain, nutrition, stress and rest) and external TL may affect sleep quality and quantity. **Results:** High levels of well-being positively affected sleep duration and quality ($p < 0.001$), whereas high-intensity TL had a detrimental impact on sleep duration ($p = 0.007$). Moreover, away and evening matches had a detrimental effect on sleep quantity and quality ($p < 0.001$). Finally, the match on-ice load ($\text{OIL} \cdot \text{min}^{-1}$) had a negative association with sleep quality ($p = 0.04$). **Conclusions:** Findings indicated that well-being and high-intensity trainings can impair sleep duration and quality. In addition, high-intensity match load, away matches, and evening matches can impair post-match sleep. Therefore, the monitoring of well-being in conjunction to TL is essential to understand sleep disturbances in athletes. Practitioners should also implement sleep hygiene strategies that facilitate longer time in bed following high-intensity, away and evening matches to help athletes recover.

Keywords: athlete monitoring, team sport, performance, competition

5.1 Introduction

Between the busy training schedule, the frequent matches, and the associated travels, recovery is necessary to cope with these high demands of a professional hockey season. Although sleep is recognized as an essential component of recovery, a study among 107 professional ice hockey players revealed that 46% of athletes reported sleeping problems during the competitive season (Tuomilehto et al., 2017). This phenomenon seems a common occurrence since the results of a meta-analysis suggest that athletes largely do not achieve the recommended total sleep time (7 h or more) or sleep efficiency (more than 85% of the time in bed spent asleep) (Roberts, Teo & Warmington., 2019).

In team sports, the obstacles to good sleep are numerous. Sleep can be impaired by evening matches (Carriço et al., 2018), morning training sessions (Heishman et al., 2017), congested schedules (Staunton et al., 2017), and a high training load (Thornton et al., 2017). Training load (TL), and more specifically, its external dimension, can be described as the load associated with the physical demands of training and match sessions (Impellizzeri et al., 2018). For example, it was shown that, during a two-week high-intensity training camp with high daily training volume and intensity, rugby league players had reduced sleep quantity (-85 minutes) and sleep efficiency (-8%) (Thornton et al., 2017).

In recent years, the use of player-worn sensors to track external load has grown in popularity (Impellizzeri et al., 2018). However, studies using these technologies to monitor the effect of training load on sleep have shown inconsistent results: some studies reported that external TL decreases total sleep time (Thornton et al., 2017), while others reported no difference (Fox et al., 2020) or a slight increase (Thornton et al., 2018; Whitworth-Turner et al., 2019). Discrepancies in findings may be related to different measures of training load. Discrepancies in findings may be related to different measures of training load. For example, high-speed running distance (running bouts of > 5.5 m/s) was suggested to underestimate the overall workload encountered by accounting for high-intensity episodes only (Fox, et al., 2020), while Player load captures the total session workload performed at varied intensities (Fox, et al., 2020). Another reason for the reported inconsistencies may be due to the training period during

which players were followed: some studies monitored TL during a training camp (Thornton et al., 2017), in-season (Whitworth-Turner et al., 2019), pre-season (Thornton et al., 2018), and both pre- and in-season (Fox et al., 2020). Each period typically has different goals and is associated with different levels of TL. For example, pre-season usually aims at developing fitness in preparation for the upcoming season and is generally associated with inferior TL compared to the regular season (Jeong et al., 2011).

In addition to monitoring external TL, well-being ratings may provide information about a player's physiological and psychological adaptation to the training processes (Saw et al., 2016). This is especially important considering that athletes can experience the same external TL differently due to contextual factors (e.g., early morning sessions, travel) or inherent factors (e.g., health, stress, nutrition) (Impellizzeri et al., 2018). Thus, well-being could provide information on the individual's adaptation to the TL not captured by the measurement of external TL and may explain why previous studies have found contrasting effects of TL on sleep.

More than 75 matches punctuate a professional hockey season and can represent a particular challenge for players as it was shown that post-match sleep could be impaired (Roberts, Teo & Warmington, 2019). In a study with football players, total sleep time was reduced by 65 minutes after an evening match compared to a training day (Carriço et al., 2018). Elevated physiological activation may be partly responsible for these sleep difficulties, as basketball players were shown to have their total sleep time reduced by 130 minutes with a high match load (Fox et al., 2020). Moreover, the frequent traveling associated with the competition schedule in professional sports could also disrupt sleep. For example, Lastella et al. (2019) found that, when traveling in long-haul flights with minimal change in time zone, soccer players initiated sleep 3.5 hours later and obtained approximately 3.6 hours less sleep than a night in their home location. Even though studies assessing post-competition sleep are increasing in number, the effect of contextual factors affecting sleep such as the traveling distance, the location (home vs. away), and the result (win vs. loss) are not well documented.

The first aim of this study was to determine the effects of well-being and external TL on sleep quantity and quality in professional hockey players during an entire competitive season.

To do so, on-ice load (OIL) and on-ice load per minute (OIL·min⁻¹) were monitored for training sessions and matches. The study's second aim was to understand better the contextual factors surrounding a match that could lead to sleep disturbances. This was done by correlating sleep quantity and quality with factors such as the external TL, the traveling distance, the location (home vs. away), and the match result (win vs. loss).

5.2 Methods

Subjects

Fifty male American Hockey League players participated in this study (mean \pm SD; age: 23.9 \pm 3.7 years; height: 184.2 \pm 5.3 cm; body mass: 89.5 \pm 6.8 kg). The sample was composed of 8 centers, 21 defensemen, and 21 wingers. All participants were deemed fit to play by the medical staff. Subjects were informed of all risks and procedures and gave written and informed consent before participating. All aspects of this study were reviewed and approved by the human health research ethics committee of the Université de Montréal.

Procedures

Data for this study was obtained from a larger project examining training and match load during the 2017-18 professional hockey season (Allard et al., 2020). External TL, daily sleep and well-being data were collected during the regular season starting on the first week of October and ending mid-April, for a total of 28 weeks. During this period, participants had to rate their subjective sleep quality on a Likert scale (ranging from 0 to 10) every morning (between 8:00 and 9:00 am) and their number of sleep hours for the previous night. Moreover, athletes provided subjective well-being ratings on a Likert scale (ranging from 0 to 10) for the following variables: stress, nutrition, rest sensation, and pain. The summation of the four ratings provides an overall rating of well-being (Hooper et al., 1995). This method for assessing sleep and well-being was chosen because it is simple and time effective, essential since athletes reported their score for 196 consecutive days (McLean et al., 2010). Daily sleep variables and well-being ratings were averaged for each player weekly when they complied four times or more during the week.

Player movements were assessed using an Inertial Measurement Unit (IMU) housing a triaxial accelerometer, gyroscope, and magnetometer (ClearSky T6; Catapult Sports, Melbourne, Australia). The devices were worn in a custom-design pocket, located between the shoulder blades, on a vest supplied by the device manufacturer. Data from the IMU were recorded at a sampling frequency of 100 Hz and downloaded from each device using the manufacturer's software (Catapult Openfield, version 1.15.3, Melbourne, Australia; firmware version 4.2.). The accuracy and reliability of the Catapult device and player load calculations have been reported under controlled laboratory conditions (Nicoletta et al., 2018). Match data, excluding the warm-up period, were collected during 76 matches. Of these matches, 38 were played home, and 60 were evening matches, with a start time of 7:00 pm or later. The on-ice training sessions data were collected during 63 regular team practices and 35 "morning skate," the latter being a practice occurring on the morning of a match. All training sessions were planned and implemented by the coaching staff.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using the R programming language (R Core Team, 2020). Weekly mean TL was calculated for each participant using the manufacturers' on-ice-load OIL and $\text{OIL}\cdot\text{min}^{-1}$, a specific metric designed by the manufacturer for ice hockey. Player load typically evaluates how much work a particular player has completed during a session using the sum of the accelerations across all axes of the internal tri-axial accelerometer during movement. It considers the instantaneous rate of change of acceleration and divides it by a scaling factor (divided by 100). OIL only considers load that includes accelerations above $0.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, thus removing rest periods or with lower accelerations common in hockey (e.g., coasting, standing, and resting on the bench). $\text{OIL}\cdot\text{min}^{-1}$ is an intensity metric that looks at the rate of OIL accumulation by calculating the OIL value and dividing it by the total duration of the activity.

A linear mixed model was chosen since it can handle unbalanced design, missing data points, and repeated measures (Krueger & Tian, 2004). We used the lme function of the nlme package (version 3.1-152). The dependent variables, i.e., total sleep time and sleep quality, were analyzed in separate models. Each model included a per-participant random effect and fixed

effects OIL, $OIL \cdot \text{min}^{-1}$, and well-being. An autoregressive correlation matrix was used to account for the correlation between weeks. This approach assumes that adjacent measures are correlated, and that the correlation exponentially decreases the farther away they are. The mixed models for the analysis of post-match sleep contained the same dependent variables as the models above (i.e., total sleep time and sleep quality) with a random effect for participants. The fixed effects included the $OIL \cdot \text{min}^{-1}$, distance, result, location, and time. Adding OIL as predictor variables did not significantly improve the model's fit, so it was not added to the post-match model. All variables were converted into a z-score beforehand. Visual inspection of residuals q-q plot and homoscedasticity (Breusch-Pagan test) were completed on all models.

5.3 Results

	Mean (SD)
Sleep hours (h)	8.2 (0.75)
Sleep quality (0-10)	7.3 (1.7)
OIL (AU)	127 (32.7)
$OIL \cdot \text{min}^{-1}$ (AU)	14.4 (2.6)

Tableau 3. – Overview of the weekly mean variables.

$OIL \cdot \text{min}^{-1}$ was negatively associated with total sleep time ($B = -0.12$; 95% CI [-0.21, -0.003], $p = 0.007$, $t = -2.71$). On the contrary, there was a positive association between well-being and total sleep time ($B = 0.38$; 95% CI [0.27, 0.49], $p < 0.001$, $t = 6.88$). Moreover, well-being was positively correlated to sleep quality ($B = 0.6$; 95% CI [0.51, 0.68], $p < 0.001$, $t = 13.91$). No other association was found between sleep, TL, and well-being was found ($p > 0.05$) (Table 4).

Fixed effects	Total sleep time			Sleep quality		
	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>
(Intercept)	-0.09	[-0.36, 0.17]	0.49	-0.09	[-0.27, 0.09]	0.32
OIL	-0.07	[-0.16, 0.03]	0.18	-0.06	[-0.14, 0.01]	0.1
OIL·min ⁻¹	-0.12	[-0.21, -0.03]	0.007*	-0.01	[-0.08, 0.06]	0.81
Well-being	0.38	[0.27, 0.49]	< 0.001*	0.6	[0.51, 0.68]	< 0.001*

Tableau 4. – Overview of the mixed-effects models testing the effect of TL on sleep.

Home matches were significantly associated with total sleep time ($B = 0.28$; 95% CI [0.11, 0.39], $p < 0.001$, $t = 4.22$) and sleep quality ($B = 0.25$; 95% CI [0.12, 0.37], $p < 0.001$, $t = 3.95$). Participants reported longer sleep duration and quality on home matches (7.78 ± 1.41 h; 7.03 ± 1.74) than in away matches (7.59 ± 1.38 h; 6.91 ± 1.73). Night matches were negatively associated with sleep quantity ($B = -0.6$; 95% CI [-0.11, -0.03], $p < 0.001$, $t = -8.76$) and sleep quality ($B = -0.3$; 95% CI [-0.45, -0.2], $p < 0.001$, $t = -5.1$). Participants reported better sleep quantity and quality following a day (8.02 ± 1.2 h; 7.18 ± 1.52) match than following an evening match (7.28 ± 1.44 h; 6.66 ± 1.79). OIL·min⁻¹ had a negative effect on sleep quality ($B = -0.1$; 95% CI [-0.2, -0.01], $p = 0.04$, $t = -2.07$). Finally, no association between the distance travelled or result of the match and sleep parameters was found ($p > 0.05$) (Table 5).

Fixed effects	Total sleep time			Sleep quality		
	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>
(Intercept)	0.31	[-0.28, 0.09]	0.003	0.09	[-0.14, 0.32]	0.46
Location	0.28	[0.11, 0.39]	0.000*	0.25	[0.12, 0.37]	0.0001*
Distance	-0.02	[-0.03, 0.1]	0.47	0.03	[-0.03, 0.09]	0.29
Results	0.04	[-0.2, 0.03]	0.5	-0.01	[-0.12, 0.09]	0.79
Time	-0.6	[-0.11, 0.03]	< 0.001*	-0.03	[-0.45, -0.2]	< 0.001*
OIL·min ⁻¹	-0.08	[-0.2, 0.01]	0.12	-0.1	[-0.2, -0.01]	0.04*

Tableau 5. – Overview of the mixed-effects models testing the effect of TL and contextual factors on post-match sleep quantity and quality.

5.4 Discussion

The first aim of this study was to determine the effects of well-being and external TL on sleep quantity and quality in professional hockey players during a competitive season using hockey-specific metrics of on-ice load (OIL) and on-ice load per minute (OIL·min⁻¹). The second aim was to understand better the contextual and physiological factors surrounding a match that could lead to sleep disturbances. This was done by correlating sleep quantity and quality with the match load intensity, the traveling distance, the location, and the outcome of the match. Our results showed that high levels of well-being positively affected sleep duration and quality, whereas high-intensity TL had a detrimental impact on sleep. As for the matches, our results showed that away and evening matches had a detrimental effect on sleep. Moreover, a high match OIL·min⁻¹ had a negative association with sleep quality.

Our study brings novel evidence of the impact of well-being on sleep in an athletic population. Indeed, even when TL is accounted for, well-being positively correlates with sleep quality and quantity. Our results show that monitoring well-being is essential to understanding sleep in athletes. Even though increases in TL are necessary to optimize athletes' performance, monitoring well-being could ensure that the athletes' adaptation to the prescribed TL is adequate. For example, significant differences can be detected between the intensity of external TL planned by the coach and the intensity of the internal TL experienced by athletes (Impellizzeri et al., 2018). Therefore, monitoring well-being could provide information on the athletes' adaptation to the TL and the athletes' sleep, which is a crucial recovery strategy due to its physiological and restorative effects (Halson, 2008). This monitoring is critical, especially in periods of intensified training, where an alteration in subjective sleep quality has been shown to result in overreaching or overtraining (Halson, 2008).

Previous studies showed that an increase in acute TL negatively influenced sleep in athletes (see Roberts, Teo & Warmington., 2019). This is in line with our results as we observed that an increase in TL intensity had a negative impact on sleep quantity. A likely explanation is that higher OIL density in a given period of time could represent increased movement demands

imposed on players. Therefore, during training, there may be less rest periods to allow for partial recovery between work periods. A high-intensity TL could also produce greater pain and muscle soreness, a precursor to reductions in sleep duration (Fox et al., 2020). Consequently, our data suggest that monitoring TL in conjunction with well-being appears helpful in identifying possible sleep disturbances. Practitioners can then consider implementing sleep hygiene strategies to optimize sleep and recovery and better cope with the high TL periods inherent to professional sports.

There is still no consensus on whether post-match sleep can be disrupted by playing at home or away. Our results show that an away game is associated with a decrease in total sleep time and sleep quality, thus supporting the idea that playing away can have a detrimental effect on sleep (Miles et al., 2021). Specific characteristics of professional sports participation may explain these results. First, this difference could be due to the travel schedule imposed by the high density of the match calendar. When away, players are often required to make long-distance trips directly after a match to travel to another city or back home. This may decrease time in bed and thus total sleep time. Moreover, sleeping in an unfamiliar environment can disrupt sleep as the body adjusts to the new environment, a well-known travel phenomenon called the “first-night effect” (Agnew et al., 1966). The distance traveled had no effect on sleep in the current study, leading us to believe that the trip’s timing had a greater impact.

Our results also show that an evening match has a negative effect on sleep quantity and quality. It was reported that evening match participation could potentially delay time to bed and, in turn, total sleep time (Conlan et al., 2021; Fox, Scanlan, Stanton, & Sargent, 2020; Roberts, Teo & Warmington al., 2019). Another possible explanation is that evening matches could influence the athlete’s circadian rhythm with bright arena lighting and late start time (Fullagar et al., 2016). Thus, coaches should optimize sleep by avoiding early morning practices after an evening game, especially if the game is followed by travel time.

There is still little evidence of the external work encountered by athletes during a match and its effect on sleep. Our data suggest that, in addition to the match schedule and time spent traveling, the match load intensity may further reduce sleep quality. More specifically, we

observed that a high OIL·min⁻¹ was associated with a lower sleep quality. Prior studies have shown that high-intensity exercise late in the evening can disrupt sleep by increasing the psychophysiological stress (Bonato et al., 2017, 2020), shifting the circadian phase (Youngstedt et al., 2019), increasing arousal (Hauri, 1969) and perceived muscle soreness (Aloulou et al., 2020).

Altogether, our results showed that low levels of well-being and high TL intensity could have a detrimental effect on sleep. More importantly, the current study showed that well-being is even more strongly associated with sleep disturbances than external TL. Thus, the use of a well-being questionnaire with external TL monitoring is essential to understand sleep in athletes. Moreover, our results provide a greater understanding of the factors affecting post-match sleep. High-intensity match load, away matches, and evening matches can impair post-match sleep. Thus, high match intensity recovery strategies should be implemented to improve sleep quality. Following away and evening matches, athletes could benefit from improved sleep hygiene strategies to enhance sleep quality and duration.

References

- Agnew Jr., H. W., Webb, W. B., & Williams, R. L. (1966). The First Night Effect: An Eeg Study of Sleep. *Psychophysiology*, 2(3), 263–266. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1966.tb02650.x>
- Allard, P., Martinez, R., Deguire, S., & Tremblay, J. (2020). In-Season Session Training Load Relative to Match Load in Professional Ice Hockey. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003490>
- Aloulou, A., Duforez, F., Bieuzen, F., & Nedelec, M. (2020). The effect of night-time exercise on sleep architecture among well-trained male endurance runners. *Journal of Sleep Research*, 29(6), e12964. <https://doi.org/10.1111/jsr.12964>
- Bonato, M., La Torre, A., Saresella, M., Marventano, I., Merati, G., & Vitale, J. A. (2017). Salivary cortisol concentration after high-intensity interval exercise: Time of day and chronotype effect. *Chronobiology International*, 34(6), 698–707. <https://doi.org/10.1080/07420528.2017.1311336>
- Bonato, M., Torre, A. L., Saresella, M., Marventano, I., Merati, G., Banfi, G., & Vitale, J. A. (2020). Effect of High-Intensity Interval Training Versus Small-Sided Games Training on Sleep and Salivary Cortisol Level. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(9), 1237–1244. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0498>
- Carrico, S., Skorski, S., Duffield, R., Mendes, B., Calvete, F., & Meyer, T. (2018). Post-match sleeping behavior based on match scheduling over a season in elite football players. *Science and Medicine in Football*, 2(1), 9–15. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1403036>
- Conlan, G., McLean, B., Kemp, J., & Duffield, R. (2021). Effect of Training/Competition Load and Scheduling on Sleep Characteristics in Professional Rugby League Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004111>
- Fox, J. L., Scanlan, A. T., Stanton, R., O'Grady, C. J., & Sargent, C. (2020). Losing Sleep Over It: Sleep in Basketball Players Affected by Game but Not Training Workloads. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–8. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0676>

- Fox, J. L., Scanlan, A. T., Stanton, R., & Sargent, C. (2020). The Effect of Game-Related Contextual Factors on Sleep in Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research, Publish Ahead of Print*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003943>
- Fullagar, H. H. K., Skorski, S., Duffield, R., Julian, R., Bartlett, J., & Meyer, T. (2016). Impaired sleep and recovery after night matches in elite football players. *Journal of Sports Sciences, 34*(14), 1333–1339. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1135249>
- Halson, S. L. (2008). Nutrition, sleep and recovery. *European Journal of Sport Science, 8*(2), 119–126. <https://doi.org/10.1080/17461390801954794>
- Hauri, P. (1969). The Influence of Evening Activity on the Onset of Sleep. *Psychophysiology, 5*(4), 426–430. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1969.tb02842.x>
- Heishman, A. D., Curtis, M. A., Saliba, E. N., Hornett, R. J., Malin, S. K., & Weltman, A. L. (2017). Comparing Performance During Morning vs. Afternoon Training Sessions in Intercollegiate Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 31*(6), 1557–1562. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001882>
- Hooper, S. L., Mackinnon, L. T., Howard, A., Gordon, R. D., & Bachmann, A. W. (1995). Markers for monitoring overtraining and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 27*(1), 106–112.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2018). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 14*(2), 270–273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
- Jeong, T.-S., Reilly, T., Morton, J., Bae, S.-W., & Drust, B. (2011). Quantification of the physiological loading of one week of “pre-season” and one week of “in-season” training in professional soccer players. *Journal of Sports Sciences, 29*(11), 1161–1166. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.583671>
- Krueger, C., & Tian, L. (2004). A Comparison of the General Linear Mixed Model and Repeated Measures ANOVA Using a Dataset with Multiple Missing Data Points. *Biological Research For Nursing, 6*(2), 151–157. <https://doi.org/10.1177/1099800404267682>

- Lastella, M., Roach, G. D., & Sargent, C. (2019). Travel fatigue and sleep/wake behaviors of professional soccer players during international competition. *Sleep Health, 5*(2), 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2018.10.013>
- McLean, B. D., Coutts, A. J., Kelly, V., McGuigan, M. R., & Cormack, S. J. (2010). Neuromuscular, Endocrine, and Perceptual Fatigue Responses During Different Length Between-Match Microcycles in Professional Rugby League Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 5*(3), 367–383. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.3.367>
- Miles, K. H., Clark, B., Mara, J. K., Fowler, P. M., Miller, J., & Pumpa, K. L. (2021). How Do the Habitual Sleep Patterns of Elite Female Basketball and Soccer Athletes Compare With the General Population? *International Journal of Sports Physiology and Performance, 1*(aop), 1–7. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0189>
- Nicolella, D. P., Torres-Ronda, L., Saylor, K. J., & Schelling, X. (2018). Validity and reliability of an accelerometer-based player tracking device. *PloS One, 13*(2), e0191823. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191823>
- Roberts, S. S. H., Teo, W.-P., & Warmington, S. A. (2019). Effects of training and competition on the sleep of elite athletes: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine, 53*(8), 513–522. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099322>
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: Subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine, 50*(5), 281–291. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>
- Sawczuk, T., Jones, B., Scantlebury, S., & Till, K. (2018). Relationships Between Training Load, Sleep Duration, and Daily Well-Being and Recovery Measures in Youth Athletes. *Pediatric Exercise Science, 30*(3), 345–352. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0190>
- Staunton, C., Gordon, B., Custovic, E., Stanger, J., & Kingsley, M. (2017). Sleep patterns and match performance in elite Australian basketball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport, 20*(8), 786–789. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.016>
- Thornton, H. R., Delaney, J. A., Duthie, G. M., & Dascombe, B. J. (2018). Effects of Preseason Training on the Sleep Characteristics of Professional Rugby League Players. *International*

Journal of Sports Physiology and Performance, 13(2), 176–182.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0119>

Thornton, H. R., Duthie, G. M., Pitchford, N. W., Delaney, J. A., Benton, D. T., & Dascombe, B. J. (2017). Effects of a 2-Week High-Intensity Training Camp on Sleep Activity of Professional Rugby League Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(7), 928–933. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0414>

Tuomilehto, H., Vuorinen, V.-P., Penttilä, E., Kivimäki, M., Vuorenmaa, M., Venojärvi, M., Airaksinen, O., & Pihlajamäki, J. (2017). Sleep of professional athletes: Underexploited potential to improve health and performance. *Journal of Sports Sciences*, 35(7), 704–710. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1184300>

Whitworth-Turner, C. M., Di Michele, R., Muir, I., Gregson, W., & Drust, B. (2019). Training load and schedule are important determinants of sleep behaviours in youth-soccer players. *European Journal of Sport Science*, 19(5), 576–584. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1536171>

Youngstedt, S. D., Elliott, J. A., & Kripke, D. F. (2019). Human circadian phase–response curves for exercise. *The Journal of Physiology*, 597(8), 2253–2268. <https://doi.org/10.1113/JP276943>

Chapitre 6 – Article 2: Sommeil, charge cognitive, charge d'entraînement

Ce chapitre est présenté sous forme d'article. Il a été soumis dans le *European Journal of Sport Science*.

Relationships between training load, perceived cognitive load and sleep in student-athletes

Amélie Apinis-Deshaies¹, Maxime Trempe² and Jonathan Tremblay¹

¹École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique, Faculté de Médecine,
Université de Montréal

²Sport Studies Department, Bishop's University

Abstract

Sleep is particularly important for student-athletes in the pursuit of both academic success and athletic performance. The primary aim of this study was to investigate the relationship between training load (TL), perceived cognitive workload, and sleep. The secondary aim was to understand the physiological and cognitive mechanisms leading to sleep disturbances following a match. Twelve varsity players on a men's university volleyball team (age: 21.4 ± 1.8) were examined for 12 weeks of the competitive season. Sleep, internal TL and cognitive load were assessed using daily online surveys. External TL was assessed using wearable jump monitors during training and matches. Eight matches of the calendar were selected after which participants filled the Pre-Sleep Arousal Scale. Participants also filled the Ottawa Mental Skills Assessment Tool to assess mental skills. Our results show that the perceived cognitive load had a negative impact on total sleep time ($p = 0.003$) and sleep quality ($p = 0.048$). Moreover, internal TL had detrimental effects on sleep quality ($p = 0.04$). We also observed a negative association between cognitive pre-sleep arousal and sleep efficiency ($p = 0.004$), and sleep onset latency ($p = 0.03$). Finally, no effect was found between mental skills and post-match sleep. Assessing perceived cognitive workload is essential when monitoring student-athletes. Coaches should modulate the TL during exams when student-athletes are more sensitive to sleep disturbances. Higher sleep onset latency and lower sleep efficiency were associated with elevated levels of cognitive arousal supporting the idea that post-match sleep difficulties are due to cognitive arousal rather than physiological arousal.

Keywords: Performance, workload, recovery, education

6.1 Introduction

Sleep is an integral part of the recovery process for athletes. While this information is common knowledge, athletes are often unable to achieve more than 7 hours of sleep per night while training or competing (Roberts, Teo & Warmington, 2019). Sleep loss is not without consequences as it leads to reductions in cognitive and motor performance, including increased reaction times, disturbances in mood and emotional stability (Walters, 2002), and an increased risk of injury (Hayes et al., 2019; Milewski et al., 2014; Rosen et al., 2017). On the contrary, increased sleep duration and better sleep quality (i.e., decreased sleep latency and wake after sleep onset) are generally associated with improved performance (Watson, 2017). Thus, obtaining adequate sleep duration and quality is essential for an athlete's performance and well-being.

Meeting the sleep recommendation can be particularly difficult for student-athletes (i.e., participating in varsity sports while completing an academic program). In addition to the demands of training and the stress of performance, they must deal with the stress of study and the demands of classes. For example, when comparing student-athletes to non-athlete students, Leduc & al. (2020) found that student-athletes had greater variability in their sleep schedules, possibly due to the time constraint imposed by the combination of sport and academic schedules. Similarly, de Blasiis et al. (2021) found that student-athletes had reduced total sleep time when compared to non-student athletes ($6:50 \pm 1:13$ vs. $7:06 \pm 0:53$, respectively) and increased sleepiness upon awakening. Interviews conducted with these student-athletes revealed difficulties in conciliating training and academic demands. In a recent study of 628 American college athletes, 42% reported poor sleep quality, and 51% had high levels of daytime sleepiness (Mah et al., 2018). This finding is concerning, given that adequate sleep is linked to academic success (Gaultney, 2016; Phillips et al., 2017; Singleton & Wolfson, 2009). In addition, some studies have shown that a higher academic workload could be

associated with lower sleep quality (Jansen et al., 2020; Oluwole, 2010; Preišegolavičiūtė et al., 2010). More specifically, Jansen et al. (2020) found that a higher perceived mental intensity during schoolwork is associated with lower sleep quality. It is now common to monitor physical load in athletes to improve practice planning. Still, the perceived academic load is not usually part of this monitoring process, even though it is a significant part of a student-athletes' workload.

In addition to the demands of their academic program, numerous physiological and psychological demands associated with training and competing could also explain the sleep deficiencies often reported by athletes. Among them, current data shows an association between the variations in training load (TL) and sleep. TL encompasses an external dimension, i.e., the absolute physical work performed, and an internal dimension, i.e., the perceived effort (Vanrenterghem et al., 2017). Both dimensions have been found to influence sleep. For example, in a simulated cycling grand tour, the sleeping time of cyclists decreased by 20 minutes per week, on average, as the external load increased (Lastella et al., 2015). Similarly, sleep quantity and quality have been shown to decrease with high internal loads (Aloulou et al., 2021; Dumortier et al., 2018; Schaal et al., 2015). This was suggested to be related, in part, to an increase in cortisol (Balsalobre-Fernández et al., 2014) and sympathetic activity (Iellamo et al., 2002) caused by intensive training. An increase in training load could also disrupt sleep by causing muscle pain and frequent urination at night associated with post-match rehydration (Roberts, Teo & Warmington, 2019).

While the many causes affecting the sleep of student-athletes have received recent research interest (Brauer et al., 2019), few studies have looked at the interaction between TL, academic workload, and sleep in student-athletes. Therefore, the first aim of this study was to gain information on the association between these variables using daily surveys and wearable jump monitors.

It is also noteworthy that competitive seasons are punctuated with matches against opponents. These events differ from the regular training days and are associated

with their sleep disturbances. For example, matches can potentially increase the physiological load (Fox et al., 2020) and somatic and cognitive anxiety (Filaire et al., 2001). Evening games can be particularly challenging for athletes with the delayed start time and the disturbances associated with late-night traveling. As an evidence, sleep disturbances were reported more commonly following a nighttime match (Roberts et al., 2019). A meta-analysis showed that total sleep time was 80 minutes shorter, and sleep efficiency reduced by 3-4 % on the night following an evening competition compared to previous nights (Roberts, Teo & Warmington, 2019). Similarly, it has been shown that the sleep of football players during the night following a match was shorter than following training sessions, this being due, among other things, to a later bedtime and an early morning awakening (Carriço et al., 2018; Fullagar et al., 2016). These results are also supported by data obtained by actigraphy from volleyball players indicating lower total sleep time and sleep efficacy on a night following a match (Vitale et al., 2019).

Although several studies reported sleep disturbances during competitions (Fullagar et al., 2016; Gupta et al., 2017; Roberts, Teo & Warmington, 2019), the underlying mechanisms remain poorly understood (Juliff et al., 2018). While modulation of neuroendocrine and physiological variables caused by physical activity seems to be the most frequently proposed explanation for the decrease in sleep, Juliff & al. (2018) have shown that elevated cortisol level post-match in netball players had returned to baseline at bedtime. These results were corroborated in a study with rugby players, with cortisol levels returning to baseline 4 hours post-competition (Elloumi et al., 2003). Moreover, elevated levels of adrenaline and noradrenaline were not associated with sleep measures (Juliff et al., 2018). Together, these results cast doubts on the hypothesis that post-competition sleep disturbance has a hormonal cause. On the other hand, it is noteworthy that athletes with a high trait of cognitive activation had decreased sleep efficiency ($r_s = -.611$) following an evening match (Juliff et al., 2018), thus pointing towards a psychological explanation for the sleep disturbance. Therefore, the study's second aim was to understand better the mechanisms leading to sleep

disturbances following a match by assessing the athletes' somatic and cognitive activation at bedtime and their mental skills.

6.2 Methods

Participants

Twelve varsity players on a men's university volleyball team (age: 21.4 ± 1.8 , height: 187 ± 6 cm, body mass: 84.0 ± 7.4 kg; five attackers, three blockers, two setters, and two liberos) took part in the experiment. Participants were full-time university students and were expected to participate in four evening team training sessions and one morning skill training session every week. The study was approved by the Health Sciences Research Ethics Committee of the Université de Montréal. Written informed consent was obtained from all participants before the experiment.

Procedures

General measures

Two weeks before the study, participants filled the Pittsburgh Sleep Quality Index (Buysse et al., 1989) to assess sleep patterns and sleep quality over the last month. A global score of ≥ 5 indicates poor sleep quality (Samuels, 2008).

Daily monitoring

Participants completed an online survey every evening for 12 weeks during the competitive season (November to February) to assess sleep-wake patterns, physical and cognitive workload. The custom-designed questionnaire, sent via SMS at 8 pm every evening, included questions about the previous night's bedtime, wakeup time, number of awakenings during the night, and perceived time to fall asleep (sleep onset latency). Participants were also asked to report their subjective sleep quality on a scale of 0 (very bad) to 10 (very good). Information about nap duration, caffeine, and alcohol consumption during the day was also collected. To assess the perceived cognitive load associated with school activities (i.e., studying, class participation, homework),

participants had to indicate the approximate time allocated to these activities and rate the effort they invested in them using the Paas Subjective Rating Scale (Paas, 1992). Noteworthy, the sensitivity of this scale is reported to allow for the detection of small changes in task complexity (Paas et al., 1994; Van Gerven et al., 2004). The rating was then multiplied by the time allocated to these activities to provide what will be referred to hereafter as the daily cognitive load. Finally, the internal TL was assessed using questions about the perceived exertion during training, using the Borg ratio-10 scale (Borg, 1998), where participant rated their perception of effort on a Likert-type scale ranging from 0 (not at all) to 10 (very, very difficult). Each session's rating of perceived exertion was then multiplied by the session duration (in minutes) to provide the s-RPE (Foster et al., 2001). Since the participants could take part in multiple training sessions during a single day (i.e., strength and conditioning and volleyball practice/game), the intensity and time allocated to each session were multiplied, and the sum of all sessions provided the daily internal TL.

Monitoring of External training load

To monitor the external TL, participants were required to wear a *Vert* sensor device. This small sensor (4.98 cm in length, 0.79 cm in depth, and 2.18 cm in height) was worn on an elastic belt at waist-level beneath the clothing and throughout volleyball training sessions. It provided information on the vertical displacements of each athlete during the training sessions and games. The *Vert* sensor was reported to have a mean bias of 3.57-4.28 cm compared to gold-standard methods, such as video analysis or force platforms (Charlton et al., 2017). The external TL for each session was assessed using the load index proposed by Charlton et al., (2017). It is calculated as the product of the jump count and the average kinetic energy (KE), allowing for jumps of greater heights to be weighted more heavily. KE was computed using the athlete's final velocity (v_{fin}) before landing, considering the known relationship between gravity (g) and vertical displacement (vd). Subsequently, the KE, in kilojoules, was computed from the athlete's mass (m) and v_{fin} .

$$v_{fin} = \sqrt{2g \times vd}$$

$$KE = \frac{1}{2} m \times v_{fin}^2$$

All training sessions were planned and supervised by the team's coaching staff.

Match days

A secondary objective was to identify the variables affecting sleep during the night following a game. For this purpose, eight games of the regular schedule were selected: two evening home-based games, two evening games away, two daytime home-based games, and two daytime games away. Evening games started at 6:00 p.m. or later. The morning following the game, participants completed the Pre-Sleep Arousal Scale (PSAS; Nicassio et al., 1985) to assess their subjective pre-sleep arousal at bedtime. The PSAS consists of 16 items divided into two subscales, one for evaluating cognitive activation and the other for somatic activation at bedtime. Each item was rated on a Likert scale of 1 (not at all) to 5 (extremely). Before the study, participants also filled the Ottawa Mental Skills Assessment Tool (Durand-Bush et al., 2001). This 48-question questionnaire assesses 12 mental skills classified into three main categories: fundamental skills (goal setting, self-confidence, commitment), psychosomatic skills (stress reaction, fear control, activation, relaxation), and cognitive skills (concentration, imagery, mental practice, competition planning, distraction control).

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using R (R Core Team, 2020). A linear mixed model was chosen since it can handle unbalanced design, missing data points, and repeated measures (Krueger & Tian, 2004). We used the lme function of the nlme package (version 3.1-152). For the analysis, the weekly mean of each participant was calculated for every variable when the daily survey was completed three or more times during the week. One athlete was withdrawn from all analyses because he did not complete the survey frequently enough. The dependent variables: total sleep time, sleep onset latency, sleep efficiency, and sleep quality, were analyzed in separate

models. Each model included a per-participant random effect and fixed effects for internal TL, external TL, and cognitive load. A First-Order autoregressive AR-1 correlation structure was applied to the models to represent the chronological relationship between weeks. All variables were scaled beforehand. Alcohol, caffeine consumption, and nap duration were collected but not used in the models because participants did not report often enough (less than 10%).

The mixed models for the analysis of post-match sleep contained the same dependent variables as the models mentioned above (i.e., total sleep time, sleep onset latency, sleep efficiency, and sleep quality) with a random effect for participants. The fixed effects included the PSAS cognitive scale, the PSAS somatic scale, and the external load. Both subscale scores of the PSAS were split into two, representing either low (score < 9) or high arousal (score > 9). Different models were fit using the same sleep parameters and the OMSAT subscales of fundamental skill, psychosomatic skills, cognitive skills, and external load as fixed effects. The scores on the three OMSAT subscales were also categorized as low or high (low being < 17, < 20, and < 30 for the three subscales, respectively). Assumptions for the normality of residuals (visual inspection of Q-Q plots) and homoscedasticity (Breusch-Pagan test) were verified beforehand for all models. The significance level was set at $p < 0.05$.

6.3 Results

Descriptive statistics

Table 6 provides an overview of the descriptive statistics of the participants' daily monitored sleep variables and the training and cognitive loads measured over the 12-week period.

PSQI	5.33 ± 1.92
Bedtime (hh:mm)	00:48 ± 1.22
Wake up time (hh:mm)	09:05 ± 1:24
Total sleep time (h:mm)	7.79 ± 1.49

Sleep onset latency (min)	15.7 ± 19.7
Sleep efficiency (%)	94.1 ± 6.04
Sleep quality (1-10)	6.1 ± 1.73
Internal TL (AU)	375.32 ± 485.22
Cognitive Load (AU)	950.89 ± 1092.64
External TL (AU)	3.9 x 10 ⁴ ± 1.7 x 10 ⁴
PSAS cognitive	11.08 ± 2.94
PSAS somatic	10.71 ± 3.94
Fundamental skills	17.21 ± 1.52
Psychosomatic skills	19.58 ± 2.92
Cognitive skills	28.27 ± 2.85

Tableau 6. – Overview of the daily sleep variables, training, and academic workload, PSAS scores, and OMSAT scores. Values are mean ± standard deviation (SD).

Models

For all models, statistical outcomes (i.e., small point estimates [*B*], 95% confidence intervals [*CI*], and *p*-values) are reported. All models met the homoscedasticity assumption.

Table 7 shows the results of the mixed-effects model analysis that tested the associations between cognitive and physical loads on sleep characteristics during the competitive season. Internal TL (*B* = -0.28; 95% *CI* [-0.53, -0.02], *p* = 0.04, *t* = -2.2) and perceived cognitive loads (*B* = -0.36; 95% *CI* [-0.72, -0.003], *p* = 0.048, *t* = -2.07) were negatively associated with sleep quality. Perceived cognitive load was significantly associated with total sleep time (*B* = -0.42; 95% *CI* [-0.68, -0.15], *p* = 0.003, *t* = -3.24). Conversely, no association was observed between external TL and any of the sleep parameters (*p* > 0.05).

Table 8 shows the results of the mixed-effects model analysis that tested the match characteristics and pre-sleep arousal on sleep parameters. Low cognitive arousal

was significantly associated with sleep efficiency ($B = 1.3$; 95% CI [0.48, -2.11], $p = 0.004$, $t = 3.42$) and negatively associated with sleep onset latency ($B = -1.01$; 95% CI [-1.93, -0.09], $p = 0.03$, $t = -2.36$). No association between the external load, somatic activity and sleep parameters was found ($p > 0.05$).

Table 9 shows the results of the mixed models that tested the association between mental skills and match characteristics on sleep. Mental skills and external load were not significantly associated with sleep parameters ($p > 0.05$).

Fixed effects	Total sleep time			Sleep onset latency			Sleep efficiency			Sleep quality		
	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>
(Intercept)	0.004	[-0.40, 0.5]	0.99	-0.09	[-0.49, 0.3]	0.00	0.08	[-0.38, 0.53]	0.73	0.18	[-0.34, 0.7]	0.48
Internal TL	0.06	[-0.14, 0.27]	0.53	0.01	[-0.25, 0.27]	0.22	-0.07	[-0.15, 0.29]	0.52	-0.28	[-0.53, -0.02]	0.04*
External TL	0.06	[-0.21, 0.33]	0.65	-0.19	[-0.49, 0.11]	0.95	0.23	[-0.03, 0.48]	0.08	0.13	[-0.17, 0.43]	0.38
Cognitive load	-0.42	[-0.68, 0.15]	0.003*	-0.2	[-0.53, 0.13]	0.21	0.07	[-0.38, 0.24]	0.65	-0.36	[-0.72, -0.003]	0.048*

Tableau 7. – Overview of the mixed-effects models testing the effect of training and academic load on sleep.

Fixed effects	Total sleep time			Sleep onset latency			Sleep efficiency			Sleep quality		
	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>
(Intercept)	0.12	[-0.58, 0.82]	0.72	0.39	[-0.24, 1.03]	0.21	-0.52	[-1.07, 0.04]	0.78	-0.11	[-0.94, 0.73]	0.79
External load	0.16	[-0.44, 0.75]	0.58	-0.16	[-0.68, 0.36]	0.36	-0.12	[-0.59, 0.35]	0.6	0.02	[-0.58, 0.62]	0.94
PSAS Somatic	-0.16	[-1.27, 0.95]	0.76	0.39	[-0.56, 1.33]	0.39	-0.19	[-1.08, 0.69]	0.64	0.31	[-0.7, 1.32]	0.52
PSAS cognitive	-0.27	[-1.28, 0.75]	0.59	-1.01	[-1.93, 0.09]	0.03*	1.3	[0.48, -2.11]	0.004*	-0.08	[-1.2, 1.03]	0.87

Tableau 8. – Overview of the mixed models testing the effect of somatic and cognitive arousal at bedtime and match external load.

Fixed effects	Total sleep time			Sleep latency			Sleep efficiency			Sleep quality		
	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>	<i>B</i>	CI	<i>p</i>
(Intercept)	0.34	[-0.63, 1.31]	0.46	-0.6	[-1.47, 0.26]	0.16	0.38	[-0.45, 1.21]	0.34	0.55	[-0.92, 2.03]	0.44
External load	0.1	[-0.48, 0.69]	0.72	-0.18	[-0.7, 0.35]	0.48	-0.05	[-0.55, 0.45]	0.83	-0.1	[-0.67, 0.46]	0.7
Fundamental	-0.28	[-2.6, -2.03]	0.65	0.09	[-1.98, 2.16]	0.87	0.03	[-1.95, 2]	0.96	0.48	[-2.64, 3.61]	0.58
Cognitive	-0.22	[-2.52, 2.08]	0.72	0.56	[-1.41, 2.54]	0.34	-0.02	[-1.98, 1.94]	0.97	-1.25	[-4.33, 1.83]	0.22
Psychosomatic	-0.31	[-2.53, 1.9]	0.6	0.002	[-1.12, 1.12]	0.99	-1.21	[-3.1, 0.68]	0.11	-0.03	[-3.32, 2.72]	0.71

Tableau 9. – Overview of the mixed models testing the effect of mental skills (OMSAT) and external load on sleep.

6.4 Discussion

The present study's first aim was to investigate the relationship between internal TL, external TL, perceived cognitive load, and sleep in student-athletes during a competitive volleyball season. The second aim was to understand better the mechanisms leading to post-match sleep disturbances. Our results showed that, during the competitive season, the perceived cognitive load had a negative impact on both total sleep time and subjective sleep quality. In addition, internal TL had deleterious effects on subjective sleep quality. With regards to post-match sleep disturbance, we observed a negative association between cognitive pre-sleep arousal and both sleep efficiency and sleep onset latency.

Our results showed that a high perceived cognitive load had the most detrimental effect on total sleep time and sleep quality, despite the inclusion of the two common training load variables in the models. This finding is important given that many of the studies investigating load monitoring in athletes have focused on the physiological construct of load while neglecting its cognitive construct (Coyne et al., 2018). Our results, therefore, suggest that interventions seeking to improve the student-athletes sleep should make the monitoring of the cognitive load a priority. A plausible explanation for the importance of cognitive workload in our models is the fact that student-athletes dedicated a lot of time to academic activities: the average weekly time allocated to schoolwork was two times higher than the time allocated to training (17.92 ± 18.78 and 8.75 ± 8.87 hours, respectively). This is consistent with studies of college students which revealed that spending many hours on schoolwork during the day hampers sleep (Jansen et al., 2020; Oluwole, 2010; Preišegolavičiūtė et al., 2010; Yeo et al., 2020). Thus, despite being varsity-level athletes, participants in our study were first and foremost students, which could explain why the perceived cognitive workload resulted in greater stress and sleep deficiency than TL. Recently, Davis et al. (2019) reported in a cohort of student-athletes that academic requirements were strongly correlated with perceived stress ($r = 0.47$), a state not compatible with sleep. Another non-exclusive explanation is that the increase in the number of hours allocated to academic activities (which led to high levels of cognitive load) was obtained by decreasing sleep time. Because the time requirement of many activities during the day cannot be compressed (e.g., practice time, class time), reducing sleeping time may represent the

easiest solution to accommodate an increase in academic activities. Although the scope of the current study did not consider the timing of the daily cognitive workload, it is not rare for student-athletes to complete school projects during the evening. Heavy cognitive workload before bedtime has been associated with unrefreshing sleep (Oluwole, 2010). Electronic devices in the evening can prolong the time it takes to fall asleep and delay the circadian clock (Chang et al., 2015). Engaging in blue light-emitting activities in the evening seems a common occurrence since youth athletes (15-32 years old) reported to engage in such activities within the last hour before bedtime on 70% of the weekly monitored nights.

Subjective sleep quality was also negatively associated with internal TL, an observation frequently reported by others (Aloulou et al., 2021; Dumortier et al., 2018; Lastella et al., 2015; Schaal et al., 2015). In contrast, our results did not show any association between external TL and sleep variables. One explanation for this discrepancy is the possibility that the Vert sensor used in the current study may underestimate the actual physiological demands of volleyball, with the frequent lateral displacements with large accelerations and decelerations performed by the players being not accounted for by the Vert sensor. It is also possible that internal TL has more influence on sleep than external TL since it encompasses a subjective evaluation based on physiological and cognitive constructs and may thus better depict the psychophysiological stress imposed on the athlete (Lovell et al., 2013). More specifically, a specific external load may be experienced differently depending on contextual factors, either between or within athletes (Impellizzeri et al., 2018). For example, a single workout could be objectively (external TL) easy. Still, it could be perceived as difficult if it occurs in a high-workload period with little rest (internal TL). Our results support the idea that there is a dissociation between internal and external TL as we observed no correlation between the two variables ($r = 0.15$, $p = 0.08$). Thus, it appears that internal TL is a better indicator of the physiological demand imposed on the athlete.

Regarding the second objective of the study, it is noteworthy that the few studies which have examined the possible mechanisms responsible for post-match sleep disruptions have not identified whether the cause was physiological or psychological. Our results revealed that cognitive arousal had a detrimental effect on sleep efficiency and sleep onset latency, thus

supporting the hypothesis that psychological rather than physiological factors cause post-match sleep disturbances. Supporting this idea, Juliff & al. (2018) refuted the common view that neuroendocrine and physiological variables are responsible for the sleep disturbances following a match. Even though post-match noradrenaline and adrenaline levels were elevated, they found no association between these hormone levels and sleep characteristics. They also reported that cortisol levels had returned to baseline before bedtime. However, they found that athletes with high arousal reported more sleep complaints after a match. It has also been shown that increases in mental strain of athletes are associated with decreased total sleep time and sleep efficiency (Hrozanova et al., 2020). This could be explained, in part, by a phenomenon called “sleep reactivity” (Drake et al., 2014). When athletes experience a situation perceived as a stressor in their recent past (e.g., a match), they may worry and ruminate at bedtime, leading to the overactivation of the psychological and neurobiological systems, which, in turn, may cause sleep disturbances (Drake et al., 2014). Therefore, after a game, athletes would benefit from short and easily implemented strategies at bedtime like progressive muscles relaxation and mindfulness, known to improve sleep (Li et al., 2018; McCloughan et al., 2016). On the other hand, we did not find an association between mental skills and post-match sleep. This could be due, in part, to the fact that athletes in our study were considered to have overall high levels of mental skills, which did not allow us to discriminate the effect of having low mental skills on sleep.

Certain additional elements should be considered when interpreting the results of this study. First, the athletes always slept home after a match, except on one occasion. So, they did not have to sleep in an unfamiliar environment. Moreover, reliable transportation was always available to the athletes following a match, thus reducing travel time and the associated stress. Secondly, the team won all their matches during the season. Since it has been shown that athletes report lower sleep quality after a loss than after a victory (Fessi & Moalla, 2018), sleep quality may have been higher in our dataset than what is usually reported during a more balanced season. Additionally, it cannot be ruled out that these circumstances may have modulated the activation level at bedtime by reducing the stress associated with a match.

Finally, the relatively low sample size used in this study could limit the generalizability of the results.

In conclusion, student-athletes face unique stressors like the double burden of performing in academic and sport settings. The current study showed that perceived cognitive workload and internal TL have detrimental effects on subjective sleep quality. We thus provide novel insight that assessing perceived cognitive workload is essential and should be considered when monitoring student-athletes. There is therefore reason to believe that student-athletes could be more sensitive to sleep disturbance over certain periods of the year (e.g., during exams) and that coaches should consider the academic workload of athletes in their planning. In addition, higher sleep onset latency and lower sleep efficiency were associated with elevated levels of cognitive arousal at bedtime following a match. These results allow us to support the idea that post-match sleep difficulties are due to cognitive arousal rather than physiological arousal.

References

- Aloulou, A., Duforez, F., Léger, D., De Larochelambert, Q., & Nedelec, M. (2021). The Relationships Between Training Load, Type of Sport, and Sleep Among High-Level Adolescent Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(6), 890-899. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0463>
- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., & del Campo-Vecino, J. (2014). Relationships between training load, salivary cortisol responses and performance during season training in middle and long distance runners. *PloS One*, *9*(8), e106066. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106066>
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human Kinetics.
- Borges, T. O., Moreira, A., Bacchi, R., Finotti, R. L., Ramos, M., Lopes, C. R., & Aoki, M. S. (2017). Validation of the VERT wearable jump monitor device in elite youth volleyball players. *Biology of Sport*, *34*(3), 239-242. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2017.66000>
- Brauer, A. A., Athey, A. B., Ross, M. J., & Grandner, M. A. (2019). Sleep and Health Among Collegiate Student Athletes. *Chest*, *156*(6), 1234-1245. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.08.1921>
- Brooks, E. R., Benson, A. C., & Bruce, L. M. (2018). Novel Technologies Found to be Valid and Reliable for the Measurement of Vertical Jump Height with Jump-and-Reach Testing. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *32*(10), 2838-2845. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002790>
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., 3rd, Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res*, *28*(2), 193-213.
- Carriço, S., Skorski, S., Duffield, R., Mendes, B., Calvete, F., & Meyer, T. (2018). Post-match sleeping behavior based on match scheduling over a season in elite football players. *Science and Medicine in Football*, *2*(1), 9-15. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1403036>

- Chang, A.-M., Aeschbach, D., Duffy, J. F., & Czeisler, C. A. (2015). Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *112*(4), 1232-1237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1418490112>
- Charlton, P. C., Kenneally-Dabrowski, C., Sheppard, J., & Spratford, W. (2017). A simple method for quantifying jump loads in volleyball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *20*(3), 241-245. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.07.007>
- Coyne, J. O. C., Gregory Haff, G., Coutts, A. J., Newton, R. U., & Nimphius, S. (2018). The Current State of Subjective Training Load Monitoring—A Practical Perspective and Call to Action. *Sports Medicine - Open*, *4*(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0172-x>
- Davis, P., Halvarsson, A., Lundström, W., & Lundqvist, C. (2019). Alpine Ski Coaches' and Athletes' Perceptions of Factors Influencing Adaptation to Stress in the Classroom and on the Slopes. *Frontiers in Psychology*, *10*, 1641. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01641>
- de Blasiis, K., Joncheray, H., Eleftheriou, J., Lesenne, C., & Nedelec, M. (2021). Sleep-Wake Behavior in Elite Athletes: A Mixed-Method Approach. *Frontiers in Psychology*, *12*, 3337. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.658427>
- Drake, C. L., Pillai, V., & Roth, T. (2014). Stress and sleep reactivity: A prospective investigation of the stress-diathesis model of insomnia. *Sleep*, *37*(8), 1295-1304. <https://doi.org/10.5665/sleep.3916>
- Dumortier, J., Mariman, A., Boone, J., Delesie, L., Tobbacq, E., Vogelaers, D., & Bourgois, J. G. (2018). Sleep, training load and performance in elite female gymnasts. *European Journal of Sport Science*, *18*(2), 151-161. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1389992>
- Durand-Bush, N., Salmela, J. H., & Green-Demers, I. (2001). The Ottawa Mental Skills Assessment Tool (OMSAT-3*). *The Sport Psychologist*, *15*(1), 1-19. <https://doi.org/10.1123/tsp.15.1.1>
- Elloumi, M., Maso, F., Michaux, O., Robert, A., & Lac, G. (2003). Behaviour of saliva cortisol [C], testosterone [T] and the T/C ratio during a rugby match and during the post-competition

- recovery days. *European Journal of Applied Physiology*, 90(1-2), 23-28. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0868-5>
- Fessi, M. S., & Moalla, W. (2018). Postmatch Perceived Exertion, Feeling, and Wellness in Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 631-637. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0725>
- Filaire, E., Sagnol, M., Ferrand, C., Maso, F., & Lac, G. (2001). Psychophysiological stress in judo athletes during competition. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 41, 263-268.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109-115.
- Fox, J. L., Scanlan, A. T., Stanton, R., O'Grady, C. J., & Sargent, C. (2020). Losing Sleep Over It : Sleep in Basketball Players Affected by Game But Not Training Workloads. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-8. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0676>
- Fullagar, H. H. K., Skorski, S., Duffield, R., Julian, R., Bartlett, J., & Meyer, T. (2016). Impaired sleep and recovery after night matches in elite football players. *Journal of Sports Sciences*, 34(14), 1333-1339. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1135249>
- Gaultney, J. F. (2016). Risk for Sleep Disorder Measured During Students' First College Semester May Predict Institutional Retention and Grade Point Average Over a 3-Year Period, With Indirect Effects Through Self-Efficacy. *Journal of College Student Retention: Research, Theory & Practice*, 18(3), 333-359. <https://doi.org/10.1177/1521025115622784>
- Gupta, L., Morgan, K., & Gilchrist, S. (2017). Does Elite Sport Degrade Sleep Quality? A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(7), 1317-1333. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0650-6>
- Hauswirth, C., Louis, J., Aubry, A., Bonnet, G., Duffield, R., & LE Meur, Y. (2014). Evidence of disturbed sleep and increased illness in overreached endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(5), 1036-1045. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000177>

- Hayes, L. E., Boulos, A., & Cruz, A. I. (2019). Risk factors for in-season injury in varsity collegiate cross-country athletes: An analysis of one season in 97 athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *59*(9), 1536-1543. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09221-1>
- Hrozanova, M., Klöckner, C. A., Sandbakk, Ø., Pallesen, S., & Moen, F. (2020). Reciprocal Associations Between Sleep, Mental Strain, and Training Load in Junior Endurance Athletes and the Role of Poor Subjective Sleep Quality. *Frontiers in Psychology*, *11*, 2498. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.545581>
- Iellamo, F., Legramante, J. M., Pigozzi, F., Spataro, A., Norbiato, G., Lucini, D., & Pagani, M. (2002). Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. *Circulation*, *105*(23), 2719-2724. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000018124.01299.ae>
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2018). Internal and External Training Load : 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(2), 270-273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
- Jansen, E. C., Peterson, K. E., O'Brien, L., Hershner, S., & Boolani, A. (2020a). Associations between Mental Workload and Sleep Quality in a Sample of Young Adults Recruited from a US College Town. *Behavioral Sleep Medicine*, *18*(4), 513-522. <https://doi.org/10.1080/15402002.2019.1626728>
- Jansen, E. C., Peterson, K. E., O'Brien, L., Hershner, S., & Boolani, A. (2020b). G. *Behavioral Sleep Medicine*, *18*(4), 513-522. <https://doi.org/10.1080/15402002.2019.1626728>
- Juliff, L. E., Peiffer, J. J., & Halson, S. L. (2018). Night Games and Sleep : Physiological, Neuroendocrine, and Psychometric Mechanisms. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(7), 867-873. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0809>
- Krueger, C., & Tian, L. (2004). A Comparison of the General Linear Mixed Model and Repeated Measures ANOVA Using a Dataset with Multiple Missing Data Points. *Biological Research For Nursing*, *6*(2), 151-157. <https://doi.org/10.1177/1099800404267682>

- Lastella, M., Roach, G. D., Halson, S. L., Martin, D. T., West, N. P., & Sargent, C. (2015). The impact of a simulated grand tour on sleep, mood, and well-being of competitive cyclists. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *55*(12), 1555-1564.
- Li, C., Kee, Y. H., & Lam, L. S. (2018). Effect of Brief Mindfulness Induction on University Athletes' Sleep Quality Following Night Training. *Frontiers in Psychology*, *9*, 508. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00508>
- Lovell, T. W. J., Sirotic, A. C., Impellizzeri, F. M., & Coutts, A. J. (2013). Factors Affecting Perception of Effort (Session Rating of Perceived Exertion) During Rugby League Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *8*(1), 62-69. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.1.62>
- McCloughan, L. J., Hanrahan, S. J., Anderson, R., & Halson, S. R. (2016). Psychological recovery : Progressive muscle relaxation (PMR), anxiety, and sleep in dancers. *Performance Enhancement & Health*, *4*(1), 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.peh.2015.11.002>
- Milewski, M. D., Skaggs, D. L., Bishop, G. A., Pace, J. L., Ibrahim, D. A., Wren, T. A. L., & Barzdukas, A. (2014). Chronic Lack of Sleep is Associated With Increased Sports Injuries in Adolescent Athletes. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, *34*(2), 129-133. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000151>
- Nicassio, P. M., Mendlowitz, D. R., Fussell, J. J., & Petras, L. (1985). The phenomenology of the pre-sleep state : The development of the pre-sleep arousal scale. *Behaviour Research and Therapy*, *23*(3), 263-271. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(85\)90004-X](https://doi.org/10.1016/0005-7967(85)90004-X)
- Oluwole, O. S. A. (2010). Sleep habits in Nigerian undergraduates. *Acta Neurologica Scandinavica*, *121*(1), 1-6. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2009.01171.x>
- Paas, F. (1992). Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics : A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, *84*, 429-434. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429>
- Phillips, A. J. K., Clerx, W. M., O'Brien, C. S., Sano, A., Barger, L. K., Picard, R. W., Lockley, S. W., Klerman, E. B., & Czeisler, C. A. (2017). Irregular sleep/wake patterns are associated with poorer academic performance and delayed circadian and sleep/wake timing. *Scientific Reports*, *7*(1), 3216. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03171-4>

- Preišegolavičiūtė, E., Leskauskas, D., & Adomaitienė, V. (2010). Associations of quality of sleep with lifestyle factors and profile of studies among Lithuanian students. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 46(7), 482-489.
- Roberts, S. S. H., Teo, W.-P., & Warmington, S. A. (2019). Effects of training and competition on the sleep of elite athletes : A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 53(8), 513-522. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099322>
- Rosen, P. von, Frohm, A., Kottorp, A., Fridén, C., & Heijne, A. (2017). Too little sleep and an unhealthy diet could increase the risk of sustaining a new injury in adolescent elite athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(11), 1364-1371. <https://doi.org/10.1111/sms.12735>
- Samuels, C. (2008). Sleep, Recovery, and Performance : The New Frontier in High-Performance Athletics. *Neurologic Clinics*, 26(1), 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2007.11.012>
- Schaal, K., LE Meur, Y., Louis, J., Filliard, J.-R., Hellard, P., Casazza, G., & Hauswirth, C. (2015). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(7), 1416-1425. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000546>
- Singleton, R. A., & Wolfson, A. R. (2009). Alcohol Consumption, Sleep, and Academic Performance Among College Students. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs*, 70(3), 355-363. <https://doi.org/10.15288/jsad.2009.70.355>
- Thornton, H. R., Duthie, G. M., Pitchford, N. W., Delaney, J. A., Benton, D. T., & Dascombe, B. J. (2017). Effects of a 2-Week High-Intensity Training Camp on Sleep Activity of Professional Rugby League Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(7), 928-933. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0414>
- Van Gerven, P. W. M., Paas, F., Van Merriënboer, J. J. G., & Schmidt, H. G. (2004). Memory load and the cognitive pupillary response in aging. *Psychophysiology*, 41(2), 167-174. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2003.00148.x>
- van Merriënboer, J. J. G., & Adam, J. J. (1994). Measurement of Cognitive Load in Instructional Research. *Perceptual and Motor Skills*, 79(1), 419-430. <https://doi.org/10.2466/pms.1994.79.1.419>

- Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A., & Drust, B. (2017). Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sports Medicine*, 47(11), 2135-2142. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0714-2>
- Vitale, J. A., Banfi, G., Galbiati, A., Ferini-Strambi, L., & La Torre, A. (2019). Effect of a Night Game on Actigraphy-Based Sleep Quality and Perceived Recovery in Top-Level Volleyball Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 265-269. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0194>
- Walters, P. H. (2002). Sleep, the Athlete, and Performance. *Strength & Conditioning Journal*, 24(2), 17-24.
- Watson, A. M. (2017). Sleep and Athletic Performance. *Current Sports Medicine Reports*, 16(6), 413-418. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000418>
- Yeo, S. C., Tan, J., Lo, J. C., Chee, M. W. L., & Gooley, J. J. (2020). Associations of time spent on homework or studying with nocturnal sleep behavior and depression symptoms in adolescents from Singapore. *Sleep Health*, 6(6), 758-766. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2020.04.011>

Chapitre 7 – Article 3: Consolidation d'une habileté motrice globale

Ce chapitre est présenté sous forme d'article. Il a été soumis dans le *Journal of Motor Learning and Development*.

Temporal and spatial accuracy of reaching movements do not improve off-line

Amélie Apinis-Deshaies¹, Jonathan Tremblay¹ and Maxime Trempe²

¹École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique, Faculté de Médecine, Université de Montréal

²Sport Studies Department, Bishop's University

Abstract

Consolidation allows a newly acquired motor skill to be stored in long-term memory. In sequence production tasks, consolidation has been associated with performance gains without additional practice (i.e., off-line learning). However, the movement characteristics improving off-line and causing the performance gains remain poorly understood. To investigate this question, participants ($n = 36$) were trained to produce a sequence of planar reaching movements toward four different visual targets. The task required that they learn the relative time of the movements (i.e., the duration of each movement in proportion to the other movements), the total movement time (i.e., the speed at which the whole sequence should be executed) and aim accurately at each target. Participants performed a training session during which they received spatial and temporal feedback and retention test without feedback was performed either 10-min or 24-hour after the practice session. Our results show that a 24-hour consolidation interval did not result in better temporal or spatial accuracy. This absence of off-line gains, also observed in other paradigms using gross motor tasks, suggests that off-line learning may be restricted to sequence production tasks in which the different sub-movements must be regrouped (“chunked”) together to accelerate their execution.

Keywords: Learning, consolidation, motor skills

7.1 Introduction

Physical practice has long been recognized as the single most important factor leading to motor skill learning. When combined with feedback, physical practice usually allows the learner to progress from an initial phase during which rapid and substantial performance improvement is observed within the first few practice sessions to a second, slower phase, during which additional gains are observed over the course of several practice sessions (Doyon, 2008a; Doyon et al., 2009b; Karni et al., 1995). Recent studies have also shown that the learning process extends beyond practice sessions. More specifically, long-term memory formation appears to involve neurobiological changes, such as the synthesis of new proteins and synapses in the brain, which require time to unfold and thus can only be completed between practice sessions (Walker, 2005). These changes, regrouped under the term “consolidation”, are essential to transform the new memory trace, which is initially labile and sensitive to interference, to a more stable and permanent state. Consolidation has been associated with spontaneous performance increase even in the absence of additional practice between the acquisition session and the retention test, i.e., off-line learning (Stickgold & Walker, 2007b).

So far, off-line learning effects have mainly been observed in tasks requiring participants to learn a sequence of movements. A popular example, the finger-tapping task (FTT), requires the rapid and accurate typing of a known sequence of five elements on a keyboard with the fingers of the non-dominant hand (Walker et al., 2003) or opposing the fingers to the thumb (Fischer et al., 2005; Karni et al., 1998). After practice, participants who were afforded a period of sleep were spontaneously faster and made fewer errors during the retention test even without any additional practice (Doyon et al., 2009b; King et al., 2017; Korman et al., 2003; Walker & Stickgold, 2005). Off-line learning has also been observed in more complex variations of sequential tasks with unrestrained full-arm movements. For example, when participants had to learn a reaching sequence by fitting a peg into target holes on a pegboard, Blischke & Malangré (2016) found that the sequence execution time significantly decreased following consolidation. Similarly, Kempler & Richmond (2012) found that participants were faster following consolidation when they had to reproduce a sequence with both arms simultaneously.

Consolidation is believed to promote a more efficient planning and/or execution of a sequence of movements (Kuriyama et al., 2004a), thus explaining why performance can increase without practice. According to this hypothesis, the sequence subcomponents (i.e., individual key presses), which are initially learned independently from one another, gradually become grouped into larger motor subunits, a phenomenon called “chunking” (Rosenbloom & Newell, 1987). Motor chunks help circumvent the limitations of information processing because several subcomponents can be selected, prepared and executed as if they were a single response (Verwey, 1999). Convincing evidence for this hypothesis has been reported by Rozanov et al., 2010 who showed that following consolidation, the subcomponents of a sequence became so closely related that asking the participants to modify the last subcomponent of the sequence slowed the performance of the entire sequence. Noteworthy, the effect of consolidation and off-line learning seems to be the highest for “problem points” in the sequence, that is for transitions between two subcomponents (or larger subunits) that were initially slower (Kuriyama et al., 2004a). Taken together, these results suggest that the consolidation process support the unitization of the memory subunits in a global motor program, at least in sequence production tasks (Walker & Stickgold, 2010).

Although our understanding of consolidation has improved in recent years, off-line learning improvements have mainly been observed in sequence production tasks (Fischer et al., 2002; Korman et al., 2003; Kuriyama et al., 2004a; Walker, Brakefield, Hobson, et al., 2003b). This type of paradigm, performed mostly in a laboratory setting, does not reflect the complexity of the multi-limb movements required in a real-life setting where, for example, athletes must coordinate several body segments together to execute a maneuver. When gross motor tasks like submaximal vertical jumping (Blischke et al., 2008) or learning to ride a bike with a reversed steering wheel (Hoedlmoser et al., 2015) were used, no off-line improvement was observed, raising concern that off-line learning may not generalize to all gross motor skill.

Gross motor skills require the coordination between large body segments and the coordination of complex synergies to achieve an objective defined in time and space. At the behavioral level, this implies that the duration of each movement of the sequence in proportion to the other movements (relative time), the speed at which the movements should be executed

(total movement time) and spatial accuracy must be learned to successfully complete a maneuver. This complex movement parameterization, which has been shown to improve with practice (Andrieux & Proteau, 2013; Rohbanfard & Proteau, 2011; Trempe & Proteau, 2010), contrasts with the FTT for which a successful performance only requires an increase in movement speed. Moreover, there is no real spatial accuracy demand when learning the FTT since the fingers remain at all times on the keys which must be activated during the task. Thus, the FTT that has been mainly used to characterize consolidation fails to capture all the complexity of real-life movements. At the moment, we do not know whether the temporal and spatial components of a movement can benefit from consolidation. The utilization of a more complex task is thus essential to gain a comprehensive understanding of the processes underlying motor skill consolidation.

The aim of this study was therefore to investigate whether the learning of a complex motor task can benefit from the consolidation process. To do this, participants were trained on a sequential reaching task that required both spatial and temporal accuracy. We hypothesized that participants benefiting from a 24-hour break between the acquisition session and the retention test would be temporally and spatially more accurate in retention than the group benefiting from a 10-min break.

7.2 Methods

Participants

Thirty-six participants (mean age = 23.8, *SD* = 3.5, 22 women) took part in the experiment. All subjects were self-reported right-handed with normal or corrected-to-normal vision. None of them self-reported any neurological disorders or sleep complaints. Subjective sleep quality and disturbance was measured before the experimentation using the Pittsburgh Sleep Quality Index and participants had to have a score of 5 or less to be included in the study (Buysse et al., 1989). All participants were naive to the purpose of the study and had no prior experience with the task. The study was approved by the Health Sciences Research Ethic Committee of the Université de Montréal. Written informed consent was obtained from all participants prior to the experiment.

Task and apparatus

Participants had to perform a sequence of planar reaching movements toward four virtual targets while respecting a temporal constraint. The experimental apparatus is illustrated in Figure 1a. It was composed of a computer screen, a table and a two-degree of freedom manipulandum. Participants sat in front of the table. The computer screen (Mitsubishi, Color Pro Diamond 37 inches; 60 Hz refresh rate) was mounted on a ceiling-support and positioned directly over the table; the computer screen was oriented parallel to the surface of the table. Its image was reflected by a mirror placed directly beneath it and parallel to the tabletop. The distance between the computer screen and the mirror was 20 cm, while the distance between the mirror and the tabletop was 20 cm, which permitted free displacement of the manipulandum. Participants sat on a chair with their forehead resting on the leading-edge of the screen so that they could always see what was displayed on the computer screen by looking down at the mirror. Participants could not see the actual displacement of their arm, but the cursor (white, 5 mm in diameter) displayed on the screen and reflected by the mirror provided them with online visual feedback about their movement.

The tabletop was covered by a piece of Plexiglas over which the manipulandum was affixed. The manipulandum consisted of two pieces of rigid Plexiglass (43 cm) joined by an axle. One free end of the manipulandum was fitted with a second axle encased in a stationary base. The other free end was fitted with a vertical shaft (length: 3 cm, radius: 1 cm), i.e., the stylus, which could easily be gripped by the participants. Each axle of the manipulandum was fitted with a 13-bit optical shaft encoder (U.S. Digital, model S2-2048, sampled at 500 Hz, angular accuracy of 0.0439°), which enabled us to track the displacement of the stylus online and to illustrate it with a 1:1 ratio on the computer screen. The bottom of the stylus and the bottom of the optical encoder located at the junction of the two arms of the manipulandum were covered with a thin piece of Plexiglas. By lubricating the working surface at the beginning of each experimental session, displacement of the stylus was near frictionless.

Procedures

The task was to reach four virtual targets (filled circles, 5 mm in diameter) successively with the left hand. The task required that participants 1) learn to complete the entire sequence in a prescribed total movement time (TMT), 2) learn the relative timing of the sequence, that is, to perform each segment in the prescribed intermediate time, and 3) reach the targets as accurately as possible. Specifically, participants had to complete the sequence in a TMT of 1800 ms and each one of the four segments had to be completed in 500, 400, 500 and 400 ms, respectively (see Figure 1b). This imposed relative pattern differed markedly from the pattern which emerged naturally when pilot participants performed this task without any temporal constraint (363, 501, 376, 537 ms for segments 1 to 4, respectively), thus making our task rather difficult. In addition to the temporal constraints, the reversal point of the first three movements as well as the stabilization point of the fourth (final) movement had to be in the center of the targets (spatial constraint).

A trial began when participants placed the cursor over the starting base for a duration of 2000 ms. They then heard a sound generated by the computer which served as a go-signal prompting them to initiate their movement when ready. Vision of the cursor was always permitted during the movements. A trial ended when the cursor did not move for 1000 ms after reaching the fourth target. Following each trial, participants received feedback indicating the spatial and temporal accuracy of their movements. The feedback, displayed on the monitor for seven seconds, consisted of a plot showing the trajectory of the hand/cursor accompanied by the time taken to complete the entire sequence and each of the four segments (see Figure 1c). The experimental task was explained before the start of data collection and the movement pattern, the prescribed TMT and the prescribed time to complete each segment were illustrated on a poster located directly behind the apparatus so participants could always see it.

All participants performed an acquisition session consisting of 150 practice trials with feedback, followed by a retention test performed either 10 minutes (10-min group, $n = 18$) or 24 hours (24-h group, $n = 18$) after. During the retention test, participants had to reproduce the

sequence learned during the acquisition. The retention test consisted of 30 trials performed without vision nor feedback.

Testing sessions were scheduled between 8 a.m. and 5 p.m. and the distribution of testing hours was homogenized between the groups. Participants of the 24-h group were instructed to continue with their usual activities between the sessions and to maintain their normal sleep schedule. They were asked to avoid consuming alcoholic beverages or recreational drugs. Compliance with the instructions was confirmed verbally by the participants at the beginning of the retention session. Participants filled out a written questionnaire to report hours of sleep and sleep disruptions during the night between the acquisition session and the retention test. On average, participants of the 24-h group slept 8.9 hours ($SD = 0.93$).

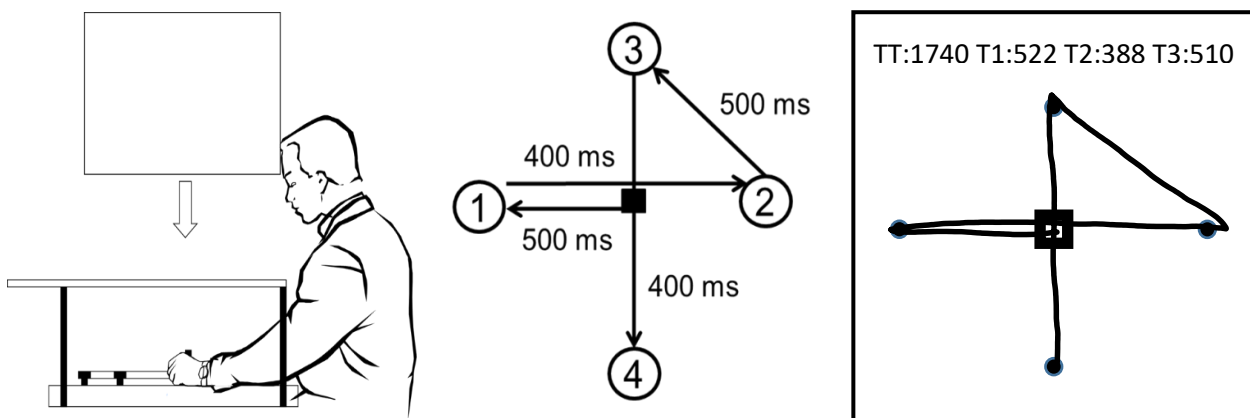


Figure 1. – a. View of the apparatus. b. Description of the experimental task: Starting from the center location (black square), participants had to reach all four targets sequentially in the time illustrated on the figure, for a total movement time of 1800 ms. c. Example of the feedback screen presented at the end of each trial during acquisition. TT indicates total movement time, whereas T1, T2, T3 and T4 indicate the relative time of the four movements.

Data analysis

To assess the effect of consolidation, data from the 30 last trials of acquisition and the 30 trials of the retention test were used, separately, to compute the following variables. To assess the accuracy and the consistency of the participant's responses for TMT (i.e., the time elapsed

from movement initiation to movement end), we computed the absolute error (AE)¹ and the variable error (VE)² for each participant. Then, for the relative time (i.e., the production of the four segments in the prescribed time), we computed the root mean square error (RMSE)³ and its variability (VE). Finally, we computed the spatial accuracy (i.e., distance between the reversal points or stabilization point and the center of the target) using the mean absolute error (Euclidean distance) and its variability (VE). Trials deviating more than 2.5 standard deviations from each participant's mean were excluded from all analyses. Less than 5% of the trials were removed.

Data were submitted to 2 Groups (10-min vs 24-h) X 2 Sessions (end of acquisition vs retention) ANOVAs with repeated measure on the last factor. Subsequent post hoc comparisons were corrected using Bonferroni's technique. To ensure no inflation of type 1 error, we assessed the normality of the distribution by calculating the z score of the skewness and kurtosis value (Tabachnick & Fidell, 2007). All significant effects are reported at $p < 0.05$.

7.3 Results

Acquisition

The amount of practice afforded during acquisition was sufficient to allow the participants to improve their performance. As illustrated in Figure 2, both groups improved their absolute and relative time (panels A and B, respectively). With regards to spatial accuracy, most participants however struggled early in acquisition before partially recovering by the end of the session.

¹ $AE = \sum \frac{|x_i - 1800|}{n}$ where x_i is the total movement time on trial i and n is the total number of sequences executed.

² $VE = \sqrt{\sum \frac{(x_i - M)^2}{n}}$ where x_i is the total movement time on trial i , M is the mean total movement time, and n is the total number of sequences executed.

³ $RMSE = \sqrt{\frac{\sum (PT_i - y_i)^2}{4}}$ where PT_i is the prescribed time of the segment i and y_i is the actual movement time of the segment i .

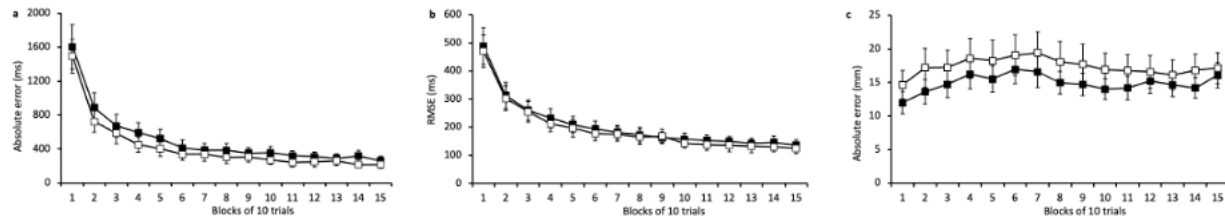


Figure 2. – Acquisition data of the 10-min (opened) and 24-h (filled) groups for the temporal (a and b) and spatial components of the task (c). Data are averaged in blocks of 10 trials. The error bars illustrate the standard error of the mean.

Off-line learning

We first looked for evidence of off-line learning by assessing the between-session improvement in temporal accuracy. The 2 Groups (10-min vs 24-h) x 2 Sessions (end of acquisition vs retention) ANOVA using the AE of TMT as the dependant variable did not reveal a significant difference between sessions, $F(1, 34) = 1.3, p = 0.26, \eta^2 = 0.04$ or the groups, $F(1, 34) = 0.34, p = 0.56, \eta^2 = 0.01$. The Group x Session interaction also did not reach significance, $F(1, 34) = 0.00, p = 0.98, \eta^2 = 0.00$ (see Figure 3a). Moreover, the ANOVA using the VE of TMT did not reveal a significant main effect of Session, $F(1, 34) = 0.78, p = 0.38, \eta^2 = 0.02$ nor of Group, $F(1, 34) = 0.89, p = 0.35, \eta^2 = 0.003$. Also, the Group x Session interaction was not significant, $F(1, 34) = 0.02, p = 0.89, \eta^2 = 0.001$ (see Figure 3b).

To assess potential between-session improvement in relative time, we computed the same ANOVA using the RMSE as the dependant variable. Our results revealed no significant main effects of Session, $F(1, 34) = 0.36, p = 0.55, \eta^2 = 0.01$ (see Figure 3c), of Group, $F(1, 34) = 0.02, p = 0.89, \eta^2 = 0.001$, and no significant interaction between the two factors, $F(1, 34) = 0.39, p = 0.54, \eta^2 = 0.01$. The analysis using the VE of RMSE revealed similar results: no main effect of Session, $F(1, 34) = 0.001, p = 0.98, \eta^2 = 0.001$ (see Figure 3d), of Group, $F(1, 34) = 3.8, p = 0.06, \eta^2 = 0.1$, and no significant Group x Session interaction, $F(1, 34) = 0.05, p = 0.83, \eta^2 = 0.001$.

With regards to spatial accuracy, the ANOVA comparing the mean AE revealed a significant main effect of Session, $F(1, 34) = 81.22, p < 0.001, \eta^2 = 0.71$. Participants of both

groups were more accurate at the end of acquisition than in the retention. There was however no significant difference between the groups, $F(1, 34) = 0.01$, $p = 0.9$, $\eta^2 = 0.00$, and no significant Group x Session interaction, $F(1, 34) = 0.89$, $p < 0.35$, $\eta^2 = 0.03$. Similar results emerged from the ANOVA comparing the spatial VE: there was a significant main effect of Session, $F(1, 34) = 50.68$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.6$, indicating that participants of both groups were more variable in retention compared to acquisition. There was however no significant main effect of Group, $F(1, 34) = 0.03$, $p = 0.9$, $\eta^2 = 0.001$, nor a significant Session x Group interaction, $F(1, 34) = 0.004$, $p = 0.95$, $\eta^2 = 0.00$.

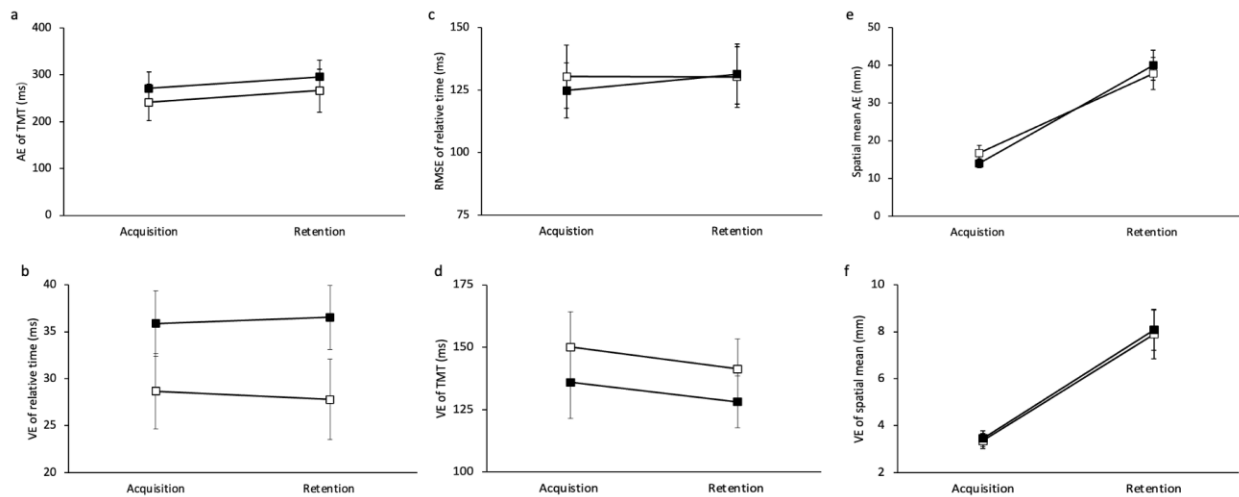


Figure 3. – Performance of the 10-min (opened) and 24-h (filled) groups at the end of acquisition and during retention. The error bars illustrate the standard error of the mean.

Supplementary analyses

Our results revealing no off-line learning gains contrast with the recent literature showing that a 24-hour rest interval (including sleep) can lead to performance enhancement without additional practice. In an effort to reconcile this discrepancy, we conducted several additional analyses.

Problem points

Prior reports have shown that off-line learning gains are more pronounced for “problem points”, that is the transitions between two elements in the sequence that are initially the most difficult (Kuriyama et al., 2004a) . Thus, because we averaged data from all four segments, it is possible our main analyses may have missed an improvement occurring only for the problem points. To assess this possibility, we identified, for each participant, the least successful segment of the last 30 trials of the acquisition session using the AE and the VE of the temporal and spatial components separately. We then repeated the main analyses presented above using only the data from these four individually defined “problem points”. Results from these supplementary analyses did not markedly differ from the main analyses. The main effect of Session was significant for both the AE and VE of spatial accuracy ($F(1, 34) = 19.86, p < 0.001, \eta^2 = 0.37$ and $F(1, 34) = 13.16, p < 0.001, \eta^2 = 0.28$, respectively), indicating that participants of both groups were less accurate and more variable in retention compared to the end of acquisition. With regards to the temporal component of the task, the ANOVA comparing the VE of TMT revealed a significant main effect of Session, $F(1, 34) = 4.52, p = 0.04, \eta^2 = 0.12$, indicating that participants were less variable in retention ($M = 56.44, SEM = 4.47$) than in acquisition ($M = 67.32, SEM = 5.79$). There was however no significant difference between the groups for this variable, $F(1, 34) = 0.33, p = 0.57, \eta^2 = 0.02$, and no significant Group x Session interaction, $F(1, 34) = 0.56, p = 0.46, \eta^2 = 0.001$. All other main effects of Group and Group X Session interactions were not significant ($p > 0.25$). Thus, performance for the problem points did not change following the 24-hour break.

Chunking

As mentioned in the introduction, consolidation often allows participants to accelerate the production of a sequence of movements. One mechanism by which this is thought to occur is through the development of motor “chunks”. By “chunking” the different subcomponents together, the need to build a representation for every movement of the sequence is eliminated since the movement parameters (i.e., speed, force, etc.) are already integrated in the motor chunks (Verwey et al., 2015). In our task, participants were asked to meet a prescribed total

movement time well within the capacity of a beginner; thus, accelerating the sequence was not a determining factor of performance. It is nevertheless possible that consolidation resulted in the development of a motor chunk. If that is the case, one could expect a decrease in the variability between all the submovements. To assess this possibility, we characterized the spatial dispersion of the reversal points of the movements (stabilization point for the final movement) around each target with a 95% confidence ellipse calculated using x and y coordinates of the movement endpoints (Messier & Kalaska, 1997). We then computed the area of the ellipse of each endpoint and submitted it to a 2 Groups x 2 Sessions x 4 Targets ANOVA with a repeated measure on the last factor and used the Greenhouse-Geisser correction when needed.

The ANOVA revealed a significant main effect of Session, $F(1, 34) = 74.26, p < 0.001, \eta^2 = 0.69$, of Target, $F(2.44, 82.95) = 23.26, p < 0.001, \eta^2 = 0.41$, and a significant Condition X Target interaction, $F(2.3, 78.37) = 20.79, p < 0.001, \eta^2 = 0.38$. All of them were however superseded by a significant Group X Session X Target interaction, $F(2.3, 78.37) = 3.1, p = 0.045, \eta^2 = 0.08$. To break this three-way interaction, we carried, for each group, a 2 Sessions X 4 Targets ANOVA with repeated measures on the last factor. For the 10-min group, the ANOVA revealed a significant main effect of Session, $F(1, 34) = 23.63, p < 0.001, \eta^2 = 0.41$, of Target, $F(3, 72.97) = 17.67, p < 0.001, \eta^2 = 0.34$, and a significant Session X Target interaction, $F(3, 72.97) = 13.57, p < 0.001, \eta^2 = 0.29$. Post hoc comparisons revealed that, for each target, spatial dispersion (i.e., area of the ellipses) was larger in retention compared to acquisition (all $p \leq 0.001$). Similar results emerged for the 24-hr group: there was a significant main effect of Session: $F(1, 34) = 42.97, p < 0.001, \eta^2 = 0.56$, of Target: $F(3, 68) = 10.54, p < 0.001, \eta^2 = 0.24$, and a significant Session X Target interaction: $F(3, 68) = 4.3, p = 0.02, \eta^2 = 0.11$. Spatial dispersion was also more important in the retention than in the acquisition for all four targets (all $p \leq 0.001$). Thus, we observed no evidence of chunking.

Performance asymptote

According to Hauptmann et al. (2005), the triggering of delayed (i.e., off-line) consolidation gains can only take place when practice reaches the point at which an individuals'

performance level off (saturate) during the practice session. On the contrary, no delayed gains are found when training is stopped before this point. One could therefore hypothesize that our main analyses revealed no off-line performance gains because either our participants did not reach a saturation point at the end of acquisition, or that too few of them did and thus the off-line improvement was hidden by the majority of none-improvers. To investigate this possibility, we first assessed in our data set whether some participants had reached a performance asymptote for the RMSE and the AE of TMT. Performance was considered asymptotic when the mean variation in performance was less than 10% between the last 3 blocks of 10 trials of the acquisition session. As a result, 18 participants (10 from the 24-h group) were identified as having reached an asymptotic performance at the end of acquisition for the RMSE and 18 participants (9 from the 24-h group) for the AE. We submitted the RMSE and the AE of these participants to 2 Groups (10-min vs 24-h) x 2 Sessions (acquisition vs retention) ANOVAs with repeated measures on the last factor.

Our results showed that, for the RMSE, there was no difference between the main effect of Session, $F(1, 16) = 0.95, p = 0.34, \eta^2 = 0.06$, or Group, $F(1, 16) = 1.2, p = 0.29, \eta^2 = 0.07$. There was also no interaction effect, $F(1, 16) = 0.49, p = 0.49, \eta^2 = 0.03$.

We also did not find significant difference in the AE between Sessions, $F(1, 16) = 0.49, p = 0.49, \eta^2 = 0.03$, and Groups, $F(1, 16) = 1.9, p = 0.19, \eta^2 = 0.11$. Finally, The Group x condition interaction did not reach significance either, $F(1, 16) = 0.01, p = 0.92, \eta^2 = 0.001$. Not enough participants achieved a performance asymptote on the spatial component for the same analyses to be carried out.

7.4 Discussion

Despite the recent interest on off-line learning, the aspects of movement that are improved off-line and which lead to between-session performance gains remain ambiguous. Thus, the present experiment sought to better identify them by using a gross motor task which had both spatial and temporal precision requirements. More specifically, participants were trained to learn the total movement time, the relative time and the spatial accuracy of a sequence of reaching movements. The results of our experiment showed that participants who

benefited from a 24-hour break did not exhibit spontaneous performance gain when retested during retention and their performance did not differ from that of participants who benefited only from a 10-minute break. Both the 10-min and the 24-h groups maintained the same temporal accuracy and consistency in the retention test as compared to the last trials of acquisition, and both groups demonstrated the same decrease in spatial accuracy in retention. In addition, none of our supplemental analyses revealed any evidence of between-session improvement. Our results therefore suggest that, as appealing as the idea of learning without practice (i.e., off-line learning) may be, this consolidation outcome may apply only to a small subset of motor tasks.

Off-line learning improvement has mainly been observed in tasks where participants had to learn a sequence of finger movements (Fischer et al., 2002; Korman et al., 2003; Kuriyama et al., 2004a; Walker, Brakefield, Hobson, et al., 2003b) as well as in grosser variations of sequence tasks involving full-arm movements such as learning a sequence of arm-signs or of unrestrained reaching movements (Kempner & Richmond, 2012; Malangré et al., 2014). In these sequential tasks, participants are instructed to perform the movements as quickly and with as few errors as possible. Since the correct sequence is usually acquired within the first few trials, learners must develop strategies to accelerate the movements. Thus, off-line learning often results in an increase in the speed at which the sequence is executed and a decrease in the number of erroneous movements (often referred to as an increase in accuracy). This contrasts with our task in which participants did not have to accelerate the movements but rather had to execute accurately a sequence of movements having a prescribed temporal structure. Noteworthy, Blischke & al. (2008) also failed to find off-line learning in a task requiring the production of a precise relative time pattern in a diamond tapping task. In their experiment, four numbered keys had to be hit one after the other with the index of the non-dominant hand. Participants were asked to produce the sequence in 2400 ms (TMT) and to follow a relative temporal pattern of key stroke intervals of 10%, 30% and 60% of TMT. To explain this lack of off-line learning, they hypothesized that the processes controlling task features other than the successive activation of different muscle groups (as in the FTT) are possibly connected to memory systems where off-line learning might be absent or independent from sleep. In support of this

supposition, Lewis and Miall proposed that the temporal aspect of a procedural skill is supported by two separate neural timing systems (Lewis & Miall, 2003, 2006). The “automatic” system relies primarily on motor and pre-motor circuits, a system that can measure time without attentional modulation. It is involved in the continuous measurement of predictable sub-second intervals defined by movement. The other system, the “cognitively controlled” system, relies heavily on both prefrontal and parietal regions, areas associated with attention and working memory. This system is involved in the measurement of supra-second intervals not defined by movement and occurring as discrete epochs. Previous studies have shown that, in a rhythm production task, participants who learned a sequence governed by the cognitive timing system did exhibit off-line learning while participants who practiced a sequence governed by the automatic system did not (Blischke et al., 2008; Wright et al., 2012). Given that our sequence was composed of predictable and brief intervals defined by movement, it is plausible that our task relied primarily on the automatic timing system. This would explain why no off-line learning occurred. Thus, it seems not all facets of a procedural task can consolidate off-line.

As mentioned above, a typical manifestation of off-line learning is the acceleration of performance. This improvement in speed is thought to occur through the chunking of the sequence subcomponents into the same motor unit during the consolidation interval. This allows the sequence to be prepared by a single motor program and executed as a unified action (Verwey, 1996). In a study, Blischke & Malangré (2016) identified the concatenation points (i.e., transition points between successive chunks) of their participants in a multi-joint arm movement sequence and found that significant improvement in speed occurred at these transition points when a period of sleep was afforded, reinforcing the idea that off-line learning is the results of a chunking process. In our sequence task, while accelerating the sequence was not the objective, one could have nevertheless expected chunking to occur, leading to a decrease in the variability of the participants of the 24-h group during retention. We did not observe this outcome. This result is in line with others who also have failed to report off-line learning gains when the experimental task did not require participants to accelerate their movements. For example, no off-line learning was observed when participants had to produce a submaximal vertical jump at precisely 60% of each individual’s maximum height (Blischke et al.,

2008) or when participants had to learn to ride a bicycle with a reversed steering wheel during straight-line riding and slalom riding (Hoedlmoser et al., 2015). Thus, it is possible that off-line learning may be restricted to sequence production tasks where accelerating the sequence is the goal.

At first sight, our failure to observe off-line accuracy gains seems to contradict the many prior reports (Kuriyama et al., 2004a; Malangré et al., 2014; Walker, Brakefield, Hobson, et al., 2003b; Walker, Brakefield, Seidman, et al., 2003). Yet, it is important to note that in most sequence production tasks, the term accuracy refers to the number of sequencing errors. In contrast, in our task, accuracy refers to spatial accuracy (i.e., how accurately participants reached the targets), a movement parameter that is of low demand in traditional sequence tasks. Indeed, in a typical FTT task, the participants' fingers rest on the designated keys of a keyboard for the entire duration of the experiment. Thus, pressing the keys hardly requires any spatial precision. Even in more complex variations of this task, like when participants produced a sequence of signs with different body postures (Kempner & Richmond, 2012), the spatial accuracy requirements were minimal since the order and speed of the sequence prevailed over the precision of the movements. There were also no quantitative criteria to qualify the precision of the arms' position, therefore making it impossible to determine whether there was an improvement in the spatial component of the task. Thus, it is possible that spatial accuracy does not consolidate off-line. In support of this suggestion, using a task which required participants to insert grooved pegs in an electronic pegboard following a prescribed sequence, Blischke & Malangré (2017) modulated the complexity of the task by modifying the length (i.e., number of elements) or the structure (i.e., how easy the sequence was to be remembered) of the sequence while maintaining the spatial requirement (size of the holes in which the pegs had to be inserted). They observed off-line learning in the high complexity conditions (long and/or irregular sequences) but not in the low complexity ones (short and/or regular sequences). These results provided evidence that the consolidation effects were not due to an improvement in spatial accuracy (this would have resulted in off-line learning gains regardless of the sequence complexity) but to the learning of the sequence elements. Together, these results suggest that spatial accuracy may not improve off-line.

Sleep has been shown to play an important role in the consolidation of certain motor memories (see Diekelmann & Born, 2010; King et al., 2017). Although our study did not aim to directly assess the effect of sleep on off-line learning, the participants of the 24-h group were afforded a night of sleep between the acquisition and retention sessions to insure they were given the opportunity to consolidate. Thus, the absence of consolidation effects in our experiment cannot be explained by a lack of sleep. In addition, it has been shown that for consolidation to take place, participants must have learned and / or achieved a performance asymptote and that if practice is stopped before this point there would be no consolidation effect (Hauptmann et al., 2005). Our results showed that the lack of off-line learning is not caused by the failure to achieve a performance asymptote.

In conclusion, the current study showed that no off-line learning effects were observable on the temporal and spatial accuracy of a sequence of reaching movements. Taken together with previous reports, our results support the idea that off-line learning of a sequence might only occur in a small subset of tasks in which participants must increase their execution speed. Thus, it seems probable that consolidation favors the chunking of a sequence of gross motor skills and therefore the acceleration of the performance. Further research using complex skills in order to gain insight into the consolidation process will be needed.

References

- Andrieux, M., & Proteau, L. (2013). Observation learning of a motor task: Who and when? *Experimental Brain Research*, 229(1), 125–137. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3598-x>
- Blischke, K., Erlacher, D., Kresin, H., Brueckner, S., & Malangré, A. (2008). Benefits of Sleep in Motor Learning – Prospects and Limitations. *Journal of Human Kinetics*, 20(1), 23–35. <https://doi.org/10.2478/v10078-008-0015-9>
- Blischke, K., & Malangré, A. (2016). Chunk concatenation evolves with practice and sleep-related enhancement consolidation in a complex arm movement sequence. *Journal of Human Kinetics*, 51, 5–17. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0163>
- Blischke, K., & Malangré, A. (2017). Task Complexity Modulates Sleep-Related Offline Learning in Sequential Motor Skills. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00374>
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., 3rd, Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res*, 28(2), 193–213.
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010). Diekelmann S, Born J. The memory function of sleep. *Nat Rev Neurosci* 11: 114-126. *Nature Reviews. Neuroscience*, 11, 114–126. <https://doi.org/10.1038/nrn2762>
- Doyon, J. (2008). Motor sequence learning and movement disorders. *Current Opinion in Neurology*, 21(4), 478–483. <https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e328304b6a3>
- Doyon, J., Korman, M., Morin, A., Dostie, V., Tahar, A. H., Benali, H., Karni, A., Ungerleider, L. G., & Carrier, J. (2009). Contribution of night and day sleep vs. Simple passage of time to the consolidation of motor sequence and visuomotor adaptation learning. *Experimental Brain Research*, 195(1), 15–26. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1748-y>
- Fischer, S., Hallschmid, M., Elsner, A. L., & Born, J. (2002). Sleep forms memory for finger skills. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 99(18), 11987–11991. <https://doi.org/10.1073/pnas.182178199>

- Fischer, S., Nitschke, M. F., Melchert, U. H., Erdmann, C., & Born, J. (2005). Motor memory consolidation in sleep shapes more effective neuronal representations. *Journal of Neuroscience*, *25*(49), 11248–11255. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1743-05.2005>
- Hauptmann, B., Reinhart, E., Brandt, S. A., & Karni, A. (2005). The predictive value of the leveling off of within session performance for procedural memory consolidation. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, *24*(2), 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.012>
- Hoedlmoser, K., Birklbauer, J., Schabus, M., Eibenberger, P., Rigler, S., & Mueller, E. (2015). The impact of diurnal sleep on the consolidation of a complex gross motor adaptation task. *Journal of Sleep Research*, *24*(1), 100–109. <https://doi.org/10.1111/jsr.12207>
- Hoedlmoser, K., Birklbauer, J., Schabus, M., Eibenberger, P., Rigler, S., & Müller, E. (2015). The impact of diurnal sleep on the consolidation of a complex gross motor adaptation task. *Journal of Sleep Research*. <https://doi.org/10.1111/jsr.12207>
- Karni, A., Meyer, G., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*, *377*(6545), 155–158. <https://doi.org/10.1038/377155a0>
- Karni, A., Meyer, G., Rey-Hipolito, C., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1998). The acquisition of skilled motor performance: Fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *95*(3), 861–868.
- Kempler, L., & Richmond, J. L. (2012). Effect of sleep on gross motor memory. *Memory*, *20*(8), 907–914. <https://doi.org/10.1080/09658211.2012.711837>
- King, B. R., Hoedlmoser, K., Hirschauer, F., Dolfen, N., & Albouy, G. (2017). Sleeping on the motor engram: The multifaceted nature of sleep-related motor memory consolidation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *80*, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.026>
- Korman, M., Raz, N., Flash, T., & Karni, A. (2003). Multiple shifts in the representation of a motor sequence during the acquisition of skilled performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *100*(21), 12492–12497. <https://doi.org/10.1073/pnas.2035019100>

- Kuriyama, K., Stickgold, R., & Walker, M. P. (2004). Sleep-dependent learning and motor-skill complexity. *Learning & Memory, 11*(6), 705–713. <https://doi.org/10.1101/lm.76304>
- Lewis, P., & Miall, R. C. (2003). Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: Evidence from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology, 13*, 250–255. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(03\)00036-9](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(03)00036-9)
- Lewis, P., & Miall, R. C. (2006). Remembering the time: A continuous clock. *Trends in Cognitive Sciences, 10*, 401–406. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.07.006>
- Malangré, A., Leinen, P., & Blischke, K. (2014). Sleep-Related Offline Learning in a Complex Arm Movement Sequence. *Journal of Human Kinetics, 40*(1), 7–20. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0002>
- Messier, J., & Kalaska, J. F. (1997). Differential effect of task conditions on errors of direction and extent of reaching movements. *Experimental Brain Research, 115*(3), 469–478. <https://doi.org/10.1007/pl00005716>
- Rohbanfard, H., & Proteau, L. (2011). Learning through observation: A combination of expert and novice models favors learning. *Experimental Brain Research, 215*(3–4), 183–197. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2882-x>
- Rosenbloom, P., & Newell, A. (1987). An Integrated Computational Model of Stimulus-Response Compatibility and Practice. *Psychology of Learning and Motivation-Advances in Research and Theory, 21*, 1–52.
- Rozañov, S., Keren, O., & Karni, A. (2010). The specificity of memory for a highly trained finger movement sequence: Change the ending, change all. *Brain Research, 1331*, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.019>
- Stickgold, R., & Walker, M. P. (2007). Sleep-Dependent Memory Consolidation and Reconsolidation. *Sleep Medicine, 8*(4), 331. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2007.03.011>
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using multivariate statistics, 5th ed.* Allyn & Bacon/Pearson Education.
- Trempe, M., & Proteau, L. (2010). Distinct consolidation outcomes in a visuomotor adaptation task: Off-line learning and persistent after-effect. *Brain Cogn, 73*(2), 135–145.

- Verwey, W. B. (1996). Buffer loading and chunking in sequential keypressing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(3), 544. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.22.3.544>
- Verwey, W. B., & Dronkert, Y. (1996). Practicing a Structured Continuous Key-Pressing Task: Motor Chunking or Rhythm Consolidation? *Journal of Motor Behavior*, 28(1), 71–79. <https://doi.org/10.1080/00222895.1996.9941735>
- Verwey, W. B., Shea, C. H., & Wright, D. L. (2015). A cognitive framework for explaining serial processing and sequence execution strategies. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(1), 54–77. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0773-4>
- Walker, M. P., Brakefield, T., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2003). Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. *Nature*, 425(6958), 616. <https://doi.org/10.1038/nature01930>
- Walker, M. P., Brakefield, T., Seidman, J., Morgan, A., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2003). Sleep and the Time Course of Motor Skill Learning. *Learning & Memory*, 10(4), 275–284. <https://doi.org/10.1101/lm.58503>
- Walker, M. P., & Stickgold, R. (2010). Overnight Alchemy: Sleep-dependent Memory Evolution. *Nature Reviews. Neuroscience*, 11(3), 218. <https://doi.org/10.1038/nrn2762-c1>
- Walker, & Stickgold, R. (2005). It's practice, with sleep, that makes perfect: Implications of sleep-dependent learning and plasticity for skill performance. *Clinics in Sports Medicine*, 24(2), 301–317. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2004.11.002>
- Wright, D. L., Rhee, J., Blischke, K., Erlacher, D., & Brueckner, S. (2012). Offline improvement occurs for temporal stability but not accuracy following practice of integer and non-integer rhythms. *Acta Psychologica*, 140(3), 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2012.05.010>

Chapitre 8 – Discussion générale

Le sommeil est essentiel pour la performance académique et sportive. Cette thèse avait donc comme objectif principal de mieux définir le lien entre le sommeil et la performance. Afin d'y parvenir, nous avons fixé trois sous-objectifs. Le premier objectif était de définir le lien entre la charge d'entraînement et le sommeil des athlètes et d'étayer la compréhension, somme toute limitée, du lien entre la charge d'entraînement et la charge cognitive des étudiants-athlètes. Le second objectif était de d'investiguer les facteurs contextuels, physiologiques et psychologiques qui peuvent affecter le sommeil suivant un match. Finalement, le dernier objectif était d'évaluer l'effet de la consolidation sur une tâche de motricité globale qui présente les mêmes sous-composantes qu'un mouvement sportif.

Le sommeil est essentiel pour la performance sportive. La première étude avait pour objectif de préciser le lien entre la charge d'entraînement, le bien-être et le sommeil chez des athlètes professionnels. Nous avons donc équipé des joueurs de hockey professionnels de capteurs inertiels afin de mesurer la charge de travail physique sur glace pendant les entraînements et les matchs. De façon quotidienne, ceux-ci devaient remplir des questionnaires sur la quantité et la qualité du sommeil et leur bien-être (nutrition, repos, stress, douleur). Nous nous sommes aussi intéressés aux facteurs contextuels et physiologiques d'un match qui pourraient avoir un effet sur le sommeil. Nos résultats montrent que le bien-être est grandement associé au sommeil chez une population athlétique. En effet, un niveau de bien-être élevé est associé à un sommeil plus long et de meilleure qualité. D'un autre côté, une intensité élevée de charge d'entraînement externe a un impact négatif sur la qualité du sommeil. Concernant les matchs, nos résultats montrent que les matchs joués à l'extérieur de la ville et ceux joués en soirée diminuent la quantité et la qualité du sommeil. De plus, une intensité physique élevée pendant le match diminue aussi la qualité du sommeil.

Dans l'étude suivante, nous nous sommes intéressés au cas des étudiants-athlètes, puisque plusieurs jeunes adultes athlètes poursuivent aussi un cheminement académique. Pour ce faire, des joueurs de volleyball universitaires étaient équipés, lors des entraînements et des

matches, de capteurs pour mesurer la charge d'entraînement externe. Cette mesure était accompagnée de questionnaires quotidiens sur la perception de la charge cognitive et de la charge d'entraînement. Puis, pour évaluer les facteurs intrinsèques de l'athlète qui pourraient perturber le sommeil après un match, nous avons mesuré l'activation cognitive et somatique au coucher ainsi que les habiletés mentales. Le suivi quotidien des athlètes nous a permis de montrer qu'une charge cognitive élevée diminue la quantité et la qualité du sommeil et qu'une élévation de la charge de travail interne est associée à une diminution de la qualité du sommeil. De plus, nos résultats montrent qu'une activation cognitive élevée à la suite d'un match peut augmenter la latence au sommeil et diminuer l'efficacité du sommeil.

Finalement, le rôle du sommeil dans l'apprentissage et la mémoire a été identifié précédemment comme particulièrement important pour l'apprentissage des habiletés motrices ou de la technique sportive. Suite à une séance de pratique physique, la consolidation permet la mise en mémoire à long terme de l'habileté pratiquée et le sommeil serait un moment opportun pour qu'elle prenne place (Walker, 2005). La nature exacte de ce qui est consolidé lors d'une tâche séquentielle n'est pas encore compris. De plus, il n'est toujours pas connu si le même phénomène d'apprentissage hors-ligne peut se produire lors de tâches de motricité globale composées de sous-composantes qui s'apparentent à un geste technique sportif. À cet égard, dans la dernière étude, nous avons entraîné des participants à produire une séquence de mouvements du bras vers quatre cibles visuelles différentes. La tâche exigeait qu'ils apprennent le temps relatif des mouvements (i.e., la durée de chaque mouvement par rapport aux autres mouvements), le temps total du mouvement (i.e., la vitesse à laquelle toute la séquence doit être exécutée) et qu'ils visent précisément chaque cible. Nos résultats suggèrent qu'une tâche de motricité globale pour laquelle des contraintes temporelles et spatiales sont mises en place ne bénéficie pas de la consolidation hors-ligne.

En guise de conclusion, le présent chapitre tentera de faire des liens entre les résultats des différentes études présentées dans cette thèse et la littérature actuelle, d'identifier les limites possibles des études et d'offrir des avenues de recherche futures.

8.1 Charge d'entraînement interne et externe

Au cours de la dernière décennie, le développement et l'adoption de dispositifs de suivi des joueurs équipés de GPS et d'unités de mesure inertielle ont facilité la quantification de la charge d'entraînement externe. Cependant, la charge externe ne tient pas compte des caractéristiques individuelles, telles que les facteurs génétiques et l'expérience d'entraînement des athlètes (Wiig et al., 2020). Par conséquent, nous avons utilisé une approche combinant la mesure de la charge interne et externe dans nos études. Afin de quantifier la charge d'entraînement interne, nous avons utilisé deux mesures différentes, mais communément utilisées, soit le sRPE et un score composite évaluant le bien-être de l'athlète (douleur, stress, nutrition et sensation de repos). Dans le contexte sportif, le bien-être nous renseigne sur l'adaptation de l'individu à la charge de travail externe tandis que le score final obtenu par le sRPE peut fournir des informations pour estimer les corollaires de réponse interne de la charge d'entraînement perçue par l'athlète (Fernandes et al., 2021). Conjointement à la mesure de charge interne, nous avons mesuré la charge externe chez les joueurs de volleyball à l'aide de capteurs qui mesurent le nombre et la hauteur des sauts verticaux et d'accéléromètres mesurant la somme des accélérations effectuées dans les trois axes de mouvement chez les joueurs de hockey.

Une récente méta-analyse incluant 295 athlètes et 10 418 sessions d'observation suggère une relation complexe entre les charges internes et externes (McLaren et al., 2018). Il a été montré que les mesures de la charge interne dérivées de la perception de l'effort présentent des associations positives avec les charges externes dérivées de la course à pied (distance totale et distance parcourue à haute vitesse) et de l'accéléromètre. Cependant, l'ampleur et l'incertitude de ces relations dépendent de la variable mesurée et du mode d'entraînement. Par exemple, les résultats révèlent que la distance totale parcourue à la course montre les associations les plus fortes avec les mesures de charge interne, plus que la myriade d'autres mesures de charge externe (i.e., vitesse, impacts) (McLaren et al., 2018). Conséquemment, bien que des chercheurs aient trouvé des relations significatives entre la charge d'entraînement interne et externe, l'ampleur et l'incertitude ($r = 0.17-0.79$) des corrélations suggèrent que la charge d'entraînement interne mesure des construits différents du processus d'entraînement

que la charge d'entraînement externe, telle que mesurée par l'accéléromètre (Scanlan et al., 2014). Nos résultats supportent l'idée que les mesures internes et externes mesurent des construits différents. Ainsi, nous avons observé de faibles corrélations ($r < 0.15$) entre les charges d'entraînement internes et externes dans les deux études avec un suivi longitudinal, ce qui corrobore les observations des autres études. Le suivi de ces deux dimensions de la charge, qui fournissent des informations distinctes, est donc d'un intérêt certain. Ainsi, la charge externe est définie comme le travail effectué par l'athlète, mesuré indépendamment de ses caractéristiques internes (Wallace et al., 2009). Si la charge externe est importante pour comprendre le travail effectué et les capacités et aptitudes de l'athlète, la charge interne, ou le stress physiologique et psychologique relatif imposé, est également essentiel pour déterminer la charge d'entraînement et l'adaptation ultérieure (Halson, 2014) .

De ce fait, les professionnels de l'entraînement et du conditionnement ne devraient pas supposer une dose-réponse linéaire entre les dispositifs de suivi externes et la charge interne de travail pendant l'entraînement. Il est généralement recommandé de combiner les approches internes et externes lors du suivi de la charge d'entraînement des joueurs (Scanlan et al., 2014; Wiig et al., 2020). Le suivi de la charge externe est important pour comprendre le travail effectué et les capacités et aptitudes de l'athlète (Halson, 2014). D'un autre côté, il est difficile de faire des comparaisons interindividuelles précises sur la façon dont les athlètes réagissent ou font face à l'entraînement. En effet, à chaque extrémité d'une gamme de réponses individuelles se trouvent des individus qui montrent des réponses très grandes (grands répondants) et des individus qui montrent des réponses très petites (petits répondants) à une même charge de travail prescrite (Mann et al., 2014). En outre, d'un point de vue conceptuel, il existe des avantages supplémentaires à l'intégration des mesures de la charge interne et externe pour le suivi de l'entraînement. Par exemple, le découplage entre la charge interne et la charge externe peut être utilisé pour identifier comment un athlète réagit face à son programme d'entraînement. Plus précisément, les athlètes qui présentent une charge interne plus faible par rapport à une charge externe standardisée effectuée dans des conditions similaires, seraient supposés refléter une meilleure condition physique ou un meilleur état de forme. En revanche, lorsque la charge interne est augmentée dans cette même situation, l'athlète peut être en train

de perdre sa condition physique ou de souffrir de fatigue (Impellizzeri et al., 2018). Ces différences d'adaptation individuelles à la charge d'entraînement externe pourraient expliquer l'effet plus important de la charge de travail interne sur le sommeil que la charge de travail externe dans nos études. Ainsi, nos résultats montrent qu'une augmentation du sRPE est associée à une diminution de la qualité du sommeil ($p = 0,04$) et une diminution du bien-être est associée à la diminution de la quantité et la qualité du sommeil ($p < 0,001$).

Certains auteurs vont même jusqu'à proposer d'utiliser la charge interne comme mesure primaire de la charge de travail, lorsque possible, puisque la charge interne ressentie à partir d'une charge externe spécifique peut varier en fonction des individus ou même au sein du même individu. Ainsi, la forme physique, la nutrition, la santé, l'état psychologique et la génétique peuvent faire en sorte que chaque athlète subisse une charge interne différente (Impellizzeri et al., 2018). De même, des chercheurs ont montré que l'intensité ressentie par les athlètes, par exemple, pouvait être supérieure à l'intensité prévue par les entraîneurs lors des séances d'un camp d'entraînement (Viveiros et al., 2011). Nos résultats sont donc sans équivoques à cet égard, la charge d'entraînement interne est un prédicteur important des perturbations du sommeil.

8.1.3 Charge externe d'entraînement et sommeil

Les sports d'équipe sont des activités exigeantes et, lorsque les joueurs sont mis au défi à un niveau approprié, cela peut entraîner des adaptations physiologiques des systèmes aérobie, cardiovasculaires et musculaires. Cependant, une quantité excessive d'entraînement peut entraîner une surcharge de la capacité des systèmes et un risque accru de blessures et de maladies. D'un autre côté, un entraînement insuffisant peut diminuer les bénéfices de performance (Vanrenterghem et al., 2017). À cet égard, l'utilisation d'un indicateur de charge externe est cruciale pour quantifier la charge de travail effectuée par un athlète. Dans cette thèse, nous avons montré que l'augmentation de la charge d'entraînement externe est associée à une diminution du temps total de sommeil. Conformément à nos résultats, des études antérieures ont montré qu'une augmentation aiguë de la charge d'entraînement exerce une influence négative sur le sommeil des athlètes (Gupta et al., 2017; Kölling et al., 2016; Schaal et

al., 2015). Cependant, les études précédentes ne s'accordent pas sur l'effet de la charge externe sur le sommeil, alors que l'utilisation des capteurs inertiels pour mesurer la charge de travail en lien avec le sommeil en est toujours à ses balbutiements. Par exemple, Fox et al. (2020) n'ont trouvé aucun effet de la charge d'entraînement externe sur le sommeil, peu importe les paramètres utilisés, tandis que Thornton et al. (2018) ont montré que la distance totale parcourue et la distance parcourue à haute vitesse sont associées à une plus faible durée et efficacité du sommeil. Au contraire, Whitworth-Turner et al. (2019) ont montré que des jeunes athlètes de soccer pouvaient avoir une quantité de sommeil plus élevée à la suite d'une grande distance parcourue à vitesse élevée pendant l'entraînement. Les divergences entre ces résultats peuvent être liées aux différentes mesures de la charge d'entraînement utilisées. Par exemple, il a été suggéré que la distance de course à grande vitesse (épisodes de course de > 5,5 m/s) sous-estime la charge de travail globale d'une session en ne tenant compte que des épisodes de haute intensité, tandis que des mesures d'accélérométrie, telles que le PlayerLoad™ (mesure de volume), saisissent la charge de travail totale de la séance effectuée à des intensités variées (Fox et al., 2020). Il est donc possible que le volume d'entraînement affecte le sommeil différemment de l'intensité de l'entraînement puisque les joueurs peuvent, par exemple, avoir des périodes de récupération différentes entre les efforts de haute intensité, ce qui modifie les exigences globales de la session (Fox et al., 2020). Ces différences peuvent aussi être dues à la période de la planification annuelle dans laquelle sont effectuées les séances d'entraînement. En effet, certaines études ont fait un suivi de la charge d'entraînement externe pendant un camp d'entraînement (Thornton et al., 2017), en cours de saison (Whitworth-Turner et al., 2019), avant la saison (Thornton et al., 2018), et même à la fois avant et pendant la saison (Fox et al., 2020). Chaque période a généralement des objectifs différents; la présaison vise à développer la condition physique en vue de la saison à venir et s'accompagne généralement d'une charge externe d'entraînement accrue (Jeong et al., 2011) sans nécessairement atteindre la charge associée aux matchs.

Ainsi, en utilisant des mesures de charge externes différenciant l'intensité et le volume de l'entraînement chez un même groupe d'athlètes (étude effectuée chez les joueurs de hockey), nous avons montré qu'une augmentation de l'intensité de l'exercice ($OIL \cdot \text{min}^{-1}$) est

associée à une diminution de la durée du sommeil alors que le volume de l'exercice (OIL) n'a pas d'effet sur le sommeil. Ainsi, puisqu'il n'existe toujours pas de consensus sur l'effet du volume et de l'intensité de l'entraînement sur le sommeil, nos résultats viennent étayer la littérature sur le sujet. Une explication probable est qu'une intensité plus élevée dans une période donnée pourrait représenter des exigences de mouvement accrues imposées aux joueurs. Par conséquent, lors d'un entraînement intense, il pourrait y avoir moins de périodes de repos pour permettre une récupération partielle entre les périodes de travail. Une charge de travail de haute intensité pourrait également causer plus de douleur et des courbatures musculaires, des précurseurs de la réduction de la durée du sommeil (Fox et al., 2020). Il est important de noter que, bien que nous ayons montré qu'une élévation de la charge entraînement perturbe le sommeil, le sommeil précédent l'entraînement influence aussi les charges d'entraînements subséquentes (Lalor et al., 2020). Il est bien établi que, pour s'adapter à un stimulus d'entraînement, un équilibre optimal entre le stress de l'entraînement et la récupération est nécessaire (Rowbottom, 2000), il serait intéressant pour des recherches futures d'investiguer l'effet cyclique entre la charge d'entraînement et le sommeil.

Cependant, l'effet de la charge d'entraînement externe sur le sommeil n'est pas le même dans nos deux études. Alors que chez les joueurs de hockey l'augmentation de la charge d'entraînement externe est associée à une diminution du temps total de sommeil, aucun effet n'est remarqué chez les joueurs de volleyball. Plusieurs constats peuvent expliquer ces différences de résultats. Tout d'abord, les exigences de l'horaire varient entre les sports étudiés et la moyenne hebdomadaire utilisée pour mesurer la charge de travail inclut la participation aux matchs. Par exemple, les joueurs de hockey participent à environ deux fois plus de matchs que les joueurs de volleyball, ce qui peut augmenter la charge de travail externe des joueurs. Cette distinction entre les sports sera discutée de façon plus approfondie dans la section 8.2.3.

Ensuite, considérant les différentes exigences physiques entre les deux sports, le type de mesure d'entraînement externe est aussi spécifique à chaque sport. Chez les joueurs de volleyball les déplacements verticaux sont une composante essentielle de la demande physique induite sur l'athlète. Nous avons donc opté pour une méthode plus robuste de quantification de la charge de saut de l'athlète qui va au-delà d'une simple mesure de comptage des sauts et qui

inclut l'influence de la hauteur du saut et de la masse de l'athlète, en calculant l'énergie cinétique pour chaque saut. Cette mesure était nécessaire puisque, au volleyball, le nombre et la hauteur des sauts varient grandement, non seulement selon la position occupée par l'athlète, mais aussi entre les athlètes (Skazalski et al., 2018). D'un autre côté, les mesures de OIL et $\text{OIL}\cdot\text{min}^{-1}$ sont des mesures spécifiques au hockey qui évaluent la quantité de travail effectuée par un joueur pendant une session en utilisant la somme des accélérations dans les trois axes de mouvement. Ces différentes mesures s'appuient donc sur des construits différents de l'exercice. De plus, la mesure de la charge d'entraînement externe au volleyball est limitée par les capteurs utilisés qui ne permettent pas de mesurer les accélérations et les déplacements horizontaux des joueurs. Cette mesure pourrait donc être moins complète que celle captée l'accélérométrie et pourrait sous-estimer la demande physique réelle imposée sur l'athlète. Des recherches futures utilisant des capteurs mesurant tous les déplacements et les accélérations dans ce contexte sportif pourraient permettre de vérifier si d'autres paramètres de la charge d'entraînement externe ont un effet sur le sommeil chez les joueurs de volleyball.

La charge d'entraînement des athlètes est aussi parfois associée à un coût métabolique. Cette charge métabolique est conventionnellement exprimée de deux manières différentes : l'énergie métabolique consommée par unité de temps (puissance métabolique) ou l'énergie métabolique consommée par unité de distance (coût du transport) (Faraji et al., 2018). Elle varie donc d'un sport à l'autre. Par exemple, le hockey est un sport d'une intensité élevée et soutenue comprenant des collisions fréquentes avec les adversaires et/ou les bandes. D'un autre côté, le volleyball implique de courtes périodes d'effort de haute intensité comprenant aussi des impacts fréquents, mais avec le sol. Ces deux sports imposent donc des stress mécaniques et neuromusculaires différents à l'athlète et peuvent possiblement affecter le sommeil de façon différente. Par exemple, dans une étude auprès de joueurs de rugby, un nombre accru de collisions pendant un match a entraîné un réveil plus tardif le lendemain (Leduc et al., 2022). Cela pourrait indiquer une augmentation de la pression homéostatique du sommeil en raison du niveau plus élevé de fatigue résiduelle induite par les collisions (Naughton et al., 2018). En effet, il a été montré que les collisions augmentent l'ampleur des dommages musculaires causés, entre autres, par les contractions excentriques et augmentent également

la dépense énergétique totale (Costello et al., 2018). Par exemple, chez des joueurs de rugby, le taux de créatine kinase, un indicateur de dommage musculaire, est plus élevé après un match et cette augmentation est associée au nombre de collisions pendant le match (Jones et al., 2014; Smart et al., 2008). De plus, un entraînement de rugby avec impacts augmente la dépense énergétique totale, telle que mesurée à l'aide d'eau doublement marquée, en comparaison à des entraînements appariés sans contacts et cause également une augmentation de la sRPE et une diminution du bien-être (Costello et al., 2018). Par conséquent, il est proposé que l'extension du sommeil illustre un besoin accru de sommeil et, indirectement, une stratégie utilisée par le joueur pour améliorer sa récupération. De plus, dans une étude visant à évaluer l'effet de différents sports sur le sommeil, il a été montré que les nageurs présentaient des niveaux de fragmentation du sommeil plus élevés que les archers, les escrimeurs, les joueurs de badminton, les footballeurs, les handballeurs et les volleyeurs (Aloulou et al., 2021). Il est donc possible que la structure du sommeil soit modifiée par la charge métabolique imposée par différents types de sports. Cependant, des études isolant l'effet de la charge métabolique du sport sur le sommeil sont nécessaires pour confirmer cette hypothèse.

Finalement, la différente densité de l'horaire entre nos deux échantillons pourrait aussi expliquer les effets distincts de la charge externe sur le sommeil. Par exemple, les joueurs de hockey participaient à environ $2,7 \pm 0,6$ matchs par semaine, soit environ deux fois plus que les joueurs de volleyball, c'est-à-dire $1,25 \pm 1,2$ matchs par semaine. En outre, cette densité de l'horaire chez les joueurs de hockey implique que ceux-ci doivent souvent jouer des matchs lors de journées consécutives. Il a été montré que, lorsque les athlètes sont soumis à un programme double (i.e., deux matchs en deux jours), le temps de sommeil total est diminué de 11% (Staunton et al., 2017) et que l'accumulation de plusieurs matchs pendant une semaine perturbe le bien-être des athlètes pendant plusieurs jours (Clemente et al., 2017; Mendes et al., 2018). Ainsi, des charges d'exercice excessives provoquées par de nombreux matchs pourraient perturber l'équilibre stress-récupération des athlètes. S'ajoute aussi le stress associé aux déplacements, le sommeil à l'extérieur de la maison et un niveau de compétition élevé (professionnel).

8.1.2 Charge cognitive

Alors que les études impliquant des étudiants-athlètes se multiplient et que des recommandations concernant leur sommeil et leur bien-être sont émises (Kroshus et al., 2019), la recherche sur les liens entre le sommeil et les performances scolaires et sportives en est encore à ses débuts (Brauer et al., 2019). Pourtant, les étudiants-athlètes doivent gérer des calendriers académiques serrés et le stress mental qui y est associé, parallèlement à un programme exigeant d'entraînement et de compétition.

L'un des apports principaux de cette thèse est donc de montrer l'importance du suivi de la charge cognitive chez une population d'étudiants-athlètes. Ainsi, nous avons montré que la charge cognitive perçue affecte le temps de sommeil total et la qualité du sommeil des étudiants-athlètes universitaires de façon plus importante que la charge d'entraînement interne et externe. Nos résultats obtenus auprès des étudiants-athlètes sont supportés par une étude visant à évaluer les variations des caractéristiques du sommeil des étudiants-athlètes sur une période de 12 mois de stress athlétique et scolaire variables, afin d'identifier les facteurs de stress possibles qui contribuent à la mauvaise qualité du sommeil. Les principaux résultats montrent que les routines quotidiennes des étudiants-athlètes sont dictées par les horaires scolaires et d'entraînement et que le stress académique semble être fortement associé aux changements de sommeil (Astridge et al., 2021). Plus précisément, les auteurs ont montré que la variance de la qualité du sommeil était prédite par un modèle comprenant les heures d'entraînement ($SE = 0.014, p = 0.015$), et le nombre d'évaluations académiques ($SE = 0.051, p < 0.001$) comme variables prédictives, cette dernière prédisant une plus grande proportion de la variance des données (Astridge et al., 2021). Cependant, contrairement à notre étude qui mesure l'effet aigu de la charge cognitive sur le sommeil, ceux-ci utilisent une mesure de charge chronique puisque les variables sont obtenues de façon mensuelle. Hrozanova et al. (2020) ont aussi obtenu des résultats similaires en utilisant une mesure de perception de stress mental chez des étudiants-athlètes. Ces auteurs ont mesuré la tension mentale à l'aide d'un score hybride constitué à la fois d'une composante cognitive (inquiétude/rumination) et d'une composante affective (humeur). Leurs résultats montrent qu'une élévation de la tension mentale était associée à une diminution de la durée et de l'efficacité du sommeil. Tandis que la

première étude mentionnée quantifie la charge cognitive selon le nombre de travaux scolaires et que la deuxième utilise une mesure composite de charge cognitive et affective, cette thèse apporte une nouvelle façon simple et efficace de mesurer la charge cognitive. Notre mesure de charge cognitive est à la croisée de ces deux études qui impliquent une composante temps et une composante de perception de l'effort.

Il est primordial de considérer l'importance de la charge cognitive dans nos modèles qui établissent un lien entre celle-ci et les différents paramètres du sommeil chez les étudiants-athlètes. D'abord, notre étude montre que les étudiants-athlètes allouent environ deux fois plus de temps aux activités académiques que sportives. Il est donc possible que cette population soit, avant tout, étudiante et donc que la charge cognitive soit associée de façon plus importante que la charge d'entraînement au sommeil. De plus, Davis et al. (2019) ont rapporté que les exigences académiques étaient la source de stress la plus importante chez des étudiants-athlètes et qu'elles étaient le plus fortement corrélées avec le stress ressenti. Par exemple, Hamlin et al. (2019) ont étudié les niveaux de stress perçu et la charge d'entraînement chez des athlètes collégiaux pendant une année complète. Ils ont remarqué que les niveaux de stress les plus élevés surviennent pendant les semaines d'examens ayant lieu au courant de la saison de compétition. Particulièrement, nos résultats montrent qu'il est essentiel de faire le suivi de la charge interne chez les étudiants-athlètes. Ainsi, nous avons observé que le sRPE et, de façon encore plus importante, la charge cognitive ont un effet sur le sommeil des étudiants-athlètes. Comme les équipes sportives scolaires ont souvent des ressources insuffisantes, plutôt que d'équiper les athlètes de capteurs souvent coûteux, l'administration de simples questionnaires serait suffisante pour suivre la charge d'entraînement et son effet potentiel sur le sommeil. Ce type de suivi est abordable et facile à implémenter auprès de grandes cohortes d'étudiants-athlètes.

8.2 Sommeil post match

Alors que la littérature montre amplement que le sommeil est perturbé suivant un match (voir Roberts et al., 2019 pour une revue) les raisons qui expliquent ce phénomène ne sont pas bien connues. Nos études apportent donc des éléments clés pour enrichir ces

connaissances. Ainsi, dans la première étude menée auprès de joueurs de hockey, nos résultats montrent que l'intensité de la charge de travail pendant un match, le lieu et l'heure du match ont un effet sur le sommeil. Puis, dans la deuxième étude, menée auprès des joueurs de volleyball, nos résultats montrent que l'augmentation de l'activation cognitive avant l'endormissement diminue la quantité et la qualité du sommeil qui suit un match. Nos résultats suggèrent donc que certains facteurs contextuels et d'autres facteurs inhérents à l'athlète peuvent altérer le sommeil après un match.

8.2.1 Facteurs contextuels

Tel que mentionné précédemment, il n'y a toujours pas de consensus à savoir si le sommeil après un match peut être perturbé par le fait de participer à une compétition à domicile ou à l'extérieur. Les quelques études qui se sont penchées sur le sujet rapportent un sommeil restreint lors d'un match à l'extérieur (Miles et al., 2021) alors que d'autres rapportent un sommeil plus long (Carriço et al., 2018) ou alors un sommeil restreint peu importe le lieu du match (Fowler et al., 2014; Richmond et al., 2004). Nos résultats viennent supporter l'hypothèse que les matchs à l'extérieur diminuent la quantité de sommeil. Ceci pourrait être dû au fait que, en général, les joueurs effectuent les déplacements pour le retour vers le domicile ou vers la destination suivante directement après le match. Ceci pourrait avoir pour effet de retarder l'heure du coucher. Précédemment, les études qui ont regardé l'effet des déplacements entourant un match se sont surtout intéressées aux voyages en avion (Forbes-Robertson et al., 2012; Fowler et al., 2017; Leatherwood & Dragoo, 2013; Thornton et al., 2018). Ce n'est pas tous les athlètes qui sont exposés à des voyages fréquents, mais ces voyages peuvent impliquer des désagréments (e.g., le décalage horaire) et des conditions de sommeil dans la cabine des avions de ligne qui ne sont pas optimales. Dans nos études, malgré des échantillons différents, c'est-à-dire un sport de niveau professionnel et un sport de niveau universitaire, les joueurs en saison régulière ne sont pas soumis au décalage horaire ni aux désagréments d'un vol puisqu'ils voyagent majoritairement en autobus. En effet, les parties jouées au niveau universitaire ont généralement lieu dans la même province. En revanche, les joueurs de hockey professionnel dans la ligue américaine, quoiqu'ils ne soient pas fréquemment soumis au décalage horaire, doivent parcourir de longues distances sur la côte est américaine. Cette particularité nous a

donc amené à vérifier si la distance parcourue dans la journée pouvait aussi affecter le sommeil. Nos résultats ne supportent pas notre hypothèse de départ qui stipulait que la distance parcourue pendant la journée pouvait affecter le sommeil. Ceci laisse supposer que c'est le moment du voyageur qui a le plus d'impact sur le sommeil des athlètes et non la distance parcourue. C'est-à-dire que le voyageur tard en soirée après un match pourrait perturber le sommeil en retardant l'heure du coucher, par exemple. Toutefois, comme notre étude ne prenait pas en considération le moment du déplacement dans la journée, des études supplémentaires seront nécessaires pour supporter cette idée.

Nos résultats ont aussi montré que la participation à un match en soirée est associée à une diminution de la quantité et de la qualité du sommeil. Nos résultats sont donc conformes aux études ayant déjà constaté ce phénomène (Roberts, Teo, & Warmington, 2019). Malheureusement, nos données ne nous permettent pas de déterminer si l'heure de coucher des athlètes dans notre échantillon était plus tardive après un match en soirée, un effet remarqué dans de multiples études (Carriço et al., 2018; Conlan et al., 2021; Dunican et al., 2018; Eagles et al., 2014; Fox, Scanlan, Stanton, & Sargent, 2020b; Fullagar et al., 2016; Roberts, Teo, & Warmington, 2019; Sargent & Roach, 2016). Puisque les joueurs de hockey professionnels voyagent souvent dès la fin du match, nous pouvons supposer que ce phénomène s'applique aussi dans notre échantillon. Dans tous les cas, il est préférable d'éviter les déplacements tard en soirée afin d'optimiser le sommeil des athlètes. Une autre explication possible est que les matchs en soirée pourraient influencer le rythme circadien de l'athlète à cause de l'éclairage intense de l'aréna et une heure de début tardive (Fullagar et al., 2016). Finalement, des études antérieures ont montré que l'exercice de haute intensité tard dans la soirée peut perturber le sommeil en augmentant le stress psychophysologique (Bonato et al., 2017, 2020), en décalant la phase circadienne (Youngstedt et al., 2019), en augmentant l'éveil (Hauri, 1969) et la douleur musculaire perçue (Aloulou et al., 2020).

Enfin, nous avons vérifié si l'issue du match (victoire/défaite) pouvait avoir une incidence sur le sommeil. Contrairement à notre hypothèse de départ, nous n'avons pas observé d'effet de l'issue du match sur la qualité et la quantité du sommeil des athlètes de hockey. Cette distinction n'a pas pu être observée avec les joueurs de volleyball puisqu'ils ont gagné tous les

matchs de la saison régulière. Pour le moment, il existe toujours une incertitude concernant l'effet de l'issue du match sur le sommeil. D'un côté il semblerait que les athlètes présentent moins d'anxiété cognitive après une victoire (Filaire et al., 2009). Cette idée est supportée par d'autres chercheurs qui ont révélé des heures d'endormissement plus tardives après une défaite qu'une victoire (Fox, Scanlan, Stanton, & Sargent, 2020b). Cette heure d'endormissement plus tardive après une défaite pourrait être sous-tendue par des raisons psychologiques telles qu'une rumination accrue ou des niveaux d'excitation plus élevés, entraînant des difficultés à s'endormir (Juliff et al., 2015). D'un autre côté, certains chercheurs rapportent une diminution de la qualité du sommeil caractérisée par une diminution de l'efficacité du sommeil (durée du sommeil par rapport au temps passé au lit [%]) et une fragmentation du sommeil (nombre de transitions entre mobilité et immobilité) plus élevée après les matchs gagnés par rapport aux matchs perdus (Fox, Scanlan, Stanton, & Sargent, 2020b). Bref, il est difficile de dégager un consensus de l'effet de l'issue du match au vu du peu d'études avec des résultats contradictoires sur le sujet. Néanmoins, certains facteurs pourraient expliquer cette diversité de résultats. D'abord, certaines équipes sportives bénéficient d'une équipe de soutien composée de préparateurs mentaux ou de psychologues sportifs. Dans ce cas, il est possible que les athlètes soient mieux outillés pour faire face à l'adversité que ceux qui n'ont pas accès à un tel support. De plus, le nombre de parties jouées pendant la saison varie grandement d'un sport à l'autre. Par exemple, il est possible que les joueurs n'accordent pas la même importance à une défaite au hockey dans une saison qui contient 76 matchs que lors d'une saison de basketball qui en comporte 18. Finalement, des différences méthodologiques pourraient expliquer cette diversité de résultats. Ainsi, bien que Filaire et al. (2009) aient observé une anxiété somatique et cognitive élevées après une défaite, ces résultats ont été obtenus auprès de joueurs de tennis, un sport individuel. Il a été rapporté que les athlètes de sport individuel peuvent présenter une anxiété accrue, non seulement en raison de la façon dont ils intériorisent l'échec, mais aussi en raison de leur tendance à se fixer des objectifs personnels élevés (Nixdorf et al., 2013). De plus, les résultats étaient obtenus lors du premier match d'un tournoi, un moment où l'enjeu peut être élevé et donc propice à une élévation du niveau d'anxiété. Ainsi, le fait que le hockey soit un sport d'équipe, que les joueurs

disputent un nombre élevé de matchs pendant la saison et qu'ils aient accès à un soutien psychologique pourrait expliquer qu'il n'y ait pas d'effet de l'issue du match sur le sommeil.

8.2.2 Facteurs psychologiques

Notre étude menée auprès des joueurs de hockey nous renseigne principalement sur les facteurs contextuels qui perturbent le sommeil en situation de compétition sportive. Seule une poignée d'études explore les effets psychologiques de la compétition sportive sur le sommeil. Notre objectif dans la deuxième étude était donc de pallier cette lacune en explorant les effets de l'activation cognitive et somatique au moment du coucher, ainsi que les habiletés mentales des athlètes sur le sommeil post match. Des études ont révélé que, la nuit précédant une compétition, les athlètes rapportent un niveau élevé de nervosité et de pensées à propos de la compétition (Ehrlenspiel et al., 2018; Erlacher et al., 2011; Gupta et al., 2017; Juliff et al., 2015). Des chercheurs se sont donc basés, de façon anecdotique, sur ces résultats pour expliquer que les difficultés de sommeil après un match pouvaient aussi être causées par l'anxiété post-compétition (Nédélec et al., 2019; Sargent & Roach, 2016). À notre connaissance, une seule étude a observé que les athlètes qui présentent des traits d'hyperactivation avaient une moins bonne efficacité de sommeil après un match (Juliff et al., 2018). Nos résultats montrent qu'une élévation de l'activation cognitive au moment du coucher après un match augmente la latence à l'endormissement et diminue l'efficacité du sommeil. Au contraire, nous n'avons pas trouvé d'effet concernant le niveau d'habiletés mentales sur le sommeil suivant un match. Dans notre échantillon, les athlètes étaient considérés comme possédant un niveau élevé d'habiletés mentales ce qui pourrait expliquer pourquoi nous n'avons pas trouvé d'effets significatifs. Tout de même, à notre connaissance, aucune étude n'avait investigué l'effet des habiletés mentales sur le sommeil chez les athlètes. D'autres recherches seront donc nécessaires afin de comprendre la dynamique entre le sommeil et les habiletés mentales chez les athlètes.

8.2.3 Facteurs physiologiques

Finalement, peu d'études ont utilisé des capteurs inertiels pour mesurer la charge de travail externe pendant un match. Tout d'abord, il convient de noter les différences qui subsistent entre la charge d'entraînement pendant un match et celle pendant un entraînement.

D'abord, dans notre étude auprès des joueurs de hockey, la charge de travail externe pendant un match est supérieure à celle d'un entraînement. Ainsi, le OIL moyen pendant un match est de $148,41 \pm 37,4$ AU, alors que celui de l'entraînement est de $95,99 \pm 31,1$ AU. L'intensité moyenne d'un match ($\text{OIL} \cdot \text{min}^{-1}$) est aussi plus élevée lors d'un match ($12,89 \pm 1,38$ AU), que lors d'un entraînement ($11,51 \pm 1,31$ AU). Au contraire, au volleyball, la charge moyenne de travail externe est de $3,7 \times 10^4 \pm 1,8 \times 10^4$ AU en match et $4,0 \times 10^4 \pm 1,7 \times 10^4$ AU à l'entraînement. Ceci peut être dû au fait que les athlètes effectuent, en moyenne, un plus grand nombre de sauts à l'entraînement ($101,81 \pm 47,6$) que lors d'un match ($87,67 \pm 37,2$). Cette variabilité de résultats se trouve aussi dans la littérature. Par exemple, au basketball, des chercheurs ont montré que les demandes externes étaient plus élevées pendant l'entraînement par rapport à la compétition (Fox et al., 2018). D'un autre côté, Montgomery et al. (2010) ont signalé des demandes externes significativement plus élevées pendant la compétition par rapport à l'entraînement. Cette divergence entre les sports étudiés dans cette thèse pourrait être causée par la densité du calendrier de compétition. Ainsi, les joueurs de hockey jouent un nombre très élevé de matchs soit environ $2,7 \pm 0,6$ matchs par semaine. Tel que rapporté précédemment, afin d'obtenir des performances de pointe dans le sport, les programmes d'entraînement doivent être soigneusement élaborés pour produire les adaptations physiologiques souhaitées (Ungureanu et al., 2021). Cependant, ces nombreux facteurs de stress pendant les entraînements intensifs et les compétitions peuvent entraîner une fatigue physiologique, psychologique et neuromusculaire; il est donc essentiel pour l'athlète d'avoir des moments de récupération (Nédélec et al., 2013). En conséquence, il est possible que les entraînements au hockey soient modulés en fonction de la charge élevée de travail pendant les matchs et le peu de périodes de repos allouées entre les matchs. Au contraire, les joueurs de volleyball jouaient presque deux fois moins de match par semaine ($1,25 \pm 1,2$ matchs), ce qui laisse la possibilité d'augmenter la charge d'entraînement des athlètes entre les matchs. Ainsi, les approches de suivi de la charge d'entraînement doivent être déterminées pour chaque sport et doivent répondre aux exigences spécifiques rencontrées par les joueurs. Lorsque les exigences physiques sont plus élevées pendant un match, certaines conséquences peuvent en découler, telles que les douleurs musculaires ou l'inconfort. De même, l'entraînement ne

comporte pas les mêmes exigences psychologiques pour les joueurs que les matchs (Fox, Scanlan, Stanton, O'Grady, et al., 2020). Par exemple, les athlètes présentent des niveaux de stress significativement plus élevés les jours de matchs (Clemente et al., 2014) et le niveau de l'opposition de l'équipe adverse (Moreno et al., 2013) n'est pas présent pendant l'entraînement.

Nous avons montré que le sommeil post match peut être affecté par la charge de travail effectuée pendant le match. Plus particulièrement, l'intensité de l'activation est associée à une diminution de la qualité du sommeil chez les joueurs de hockey. Ces résultats sont appuyés par Fox et al. (2020) qui ont mesuré une quantité de sommeil réduite après un match avec une intensité élevée en comparaison avec une nuit contrôle. Cependant, une limite notable de leur étude est d'avoir classé les données de la charge de travail en trois catégories : faible, moyenne et élevée. Cette façon de procéder fournit un aperçu moins précis que de considérer la charge d'entraînement comme une variable continue tel que nous l'avons fait. Contrairement à ces résultats, nous n'avons pas trouvé d'association entre la charge de travail externe, telle que mesurée avec les capteurs Vert©, et les difficultés de sommeil après un match chez les joueurs de volleyball. Tel que mentionné précédemment, chez les joueurs de volleyball, la charge de travail est moins élevée pendant les matchs que les entraînements. Compte tenu que les athlètes sont familiers avec la gestion du niveau de travail plus élevé requis par les entraînements, ceci pourrait expliquer pourquoi la charge de travail en match n'a pas d'effet sur le sommeil. De plus, ces différences peuvent être dues par les différentes modalités de mesures de la charge de travail entre les deux études. Par exemple, nous avons montré que chez les joueurs de hockey, l'intensité de la charge de travail pendant le match (OIL/min) perturbe le sommeil subséquent alors que cet effet n'était pas constaté en considérant le volume de travail (OIL) durant le match. Notre mesure auprès des joueurs de volleyball représente possiblement une mesure du volume du travail plutôt que de l'intensité de la charge de travail.

8.3 Consolidation

Les deux études présentées et discutées précédemment nous ont permis de mieux comprendre les facteurs qui peuvent perturber le sommeil chez une population athlétique. Le

rôle du sommeil dans l'apprentissage et la mémoire a été identifié précédemment, ce qui est particulièrement important pour les étudiants-athlètes dans la poursuite à la fois de la réussite scolaire et du développement des compétences motrices ou de la technique dans leur sport (Brauer et al., 2019). À l'heure actuelle, ce qui est consolidé par le cerveau de l'apprenant et la raison pour laquelle les apprenants s'améliorent (i.e., sont plus rapides et plus précis) après la consolidation restent mal compris. Pour étudier cette question, nous avons donc cherché à définir le ou les aspects du mouvement qui pourraient être améliorés par la consolidation avec une tâche innovante et reflétant mieux les exigences du sport que les tâches habituellement employées en laboratoire.

En général, les études rapportant un effet d'apprentissage hors-ligne sont des tâches séquentielles de pianotage des doigts (King et al., 2017) ou leurs variantes avec des mouvements des bras (Kempler & Richmond, 2012; Malangré et al., 2014). Dans tous les cas, le participant doit exécuter la tâche le plus rapidement et précisément possible. Elles possèdent donc une pertinence écologique pour des tâches bien précises (piano, dactylographie). Les séquences de mouvements sont contrôlées par des commandes motrices générées par le cerveau qui spécifient trois aspects principaux : le temps relatif des mouvements de la séquence (c'est-à-dire la durée de chaque mouvement de la séquence par rapport aux autres mouvements), le temps absolu des mouvements (c'est-à-dire la vitesse à laquelle les mouvements doivent être exécutés) et la direction des mouvements (c'est-à-dire la précision spatiale des mouvements). Tel que mentionné dans le Chapitre 4, il persiste toujours une certaine ambiguïté concernant la consolidation des tâches de motricité globale, surtout lorsqu'elles n'ont pas nécessairement pour objectif d'améliorer la vitesse de la tâche. Contrairement à notre hypothèse de départ, nos résultats montrent que l'apprentissage d'une séquence de motricité globale dans laquelle une structure temporelle est imposée ne bénéficie pas de la consolidation pour exprimer des gains hors-ligne.

8.3.1 Tâches de motricité globale

Il convient de noter que Blischke et al. (2008) n'ont également pas observé un effet d'apprentissage hors-ligne dans une tâche qui s'apparente à la nôtre et exigeant la production

d'un schéma temporel précis. Dans cette tâche, quatre touches numérotées devaient être frappées l'une après l'autre avec l'index de la main non dominante. Les participants devaient produire la séquence en 2400 ms (TMT) et suivre un schéma temporel relatif d'intervalles entre les frappes de touches de 10%, 30% et 60% du TMT. De plus, d'autres chercheurs qui ont utilisé des tâches de motricité globale n'ont pas trouvé d'effet d'apprentissage hors-ligne. Par exemple, lors d'une tâche demandant aux participants de sauter à une hauteur correspondant à 60% de leur élévation verticale maximale (Blischke et al., 2008) ou lors de l'apprentissage du vélo avec un volant inversé (Hoedlmoser et al., 2015), aucun apprentissage hors-ligne n'a été observé. Nous pouvons donc supposer que la consolidation hors-ligne ne s'applique pas à toutes les tâches de motricité globale.

8.3.2 « Chunking »

La consolidation est censée favoriser une planification et/ou une exécution plus efficace d'une séquence de mouvements (Kuriyama et al., 2004), expliquant ainsi pourquoi la performance peut augmenter sans pratique. Selon cette hypothèse, les sous-composantes de la séquence (c'est-à-dire les pressions individuelles sur les touches), qui sont initialement apprises indépendamment les unes des autres, sont progressivement regroupées en sous-unités motrices plus importantes, un phénomène appelé « chunking » (Rosenbloom & Newell, 1987). Ce phénomène est présenté plus en détail au chapitre 4 de la thèse. Les « chunks » moteurs permettent de contourner les limites du traitement de l'information, car plusieurs sous-composantes d'une séquence peuvent être sélectionnées, préparées et exécutées comme s'il s'agissait d'une seule réponse (Verwey, 1999). Des preuves convaincantes de cette hypothèse ont été rapportées par Rozanov et al. (2010), qui ont montré qu'après la consolidation, les sous-composantes d'une séquence deviennent si étroitement liées que le fait de demander aux participants de modifier la dernière sous-composante de la séquence ralentit la performance de la séquence entière. Si la consolidation hors-ligne est effectivement causée par ce phénomène, il est possible que l'apprentissage hors-ligne soit réservé à un sous-groupe de tâches avec des particularités communes. Par exemple, notre séquence comprenait moins d'éléments que les tâches typiquement utilisées et la contrainte temporelle imposée allait à l'encontre des directives normalement formulées, soit d'augmenter la vitesse d'exécution.

8.3.3 Stabilisation de l'apprentissage

Outre l'apprentissage hors-ligne, un autre bénéfice de la consolidation est de stabiliser l'apprentissage moteur. Ainsi, alors qu'une période prolongée d'éveil est censée dégrader la performance, certaines études montrent qu'une période de sommeil pourrait restaurer (Brawn et al., 2010) ou stabiliser (Korman et al., 2007) la trace mnésique. Cette stabilisation de la performance ne produit pas d'amélioration spontanée de la performance entre les sessions, mais est considérée comme une forme de consolidation procédurale puisqu'elle rend la compétence nouvellement acquise moins sensible aux interférences (Robertson et al., 2004 ; Walker, 2005). Dans une tâche comme la nôtre, il est possible que la consolidation permette une stabilisation de la performance. Notre paradigme expérimental ne permet pas vérifier ce postulat puisque le groupe contrôle bénéficiait d'une pause de seulement dix minutes. D'autres études utilisant une tâche similaire à la nôtre pourraient vérifier si le passage du temps dégrade la performance et si une période de consolidation aurait pour effet de rétablir la performance. De plus, la stabilisation de l'apprentissage aurait pu être évaluée à l'aide d'un paradigme d'interférence rétroactive. Ainsi, la mémoire motrice d'une tâche (A) est réduite lorsqu'une tâche interférente (B) est pratiquée peu après. En revanche, s'il y a un épisode de consolidation entre l'apprentissage des séquences, la performance à la séquence A ne devrait pas diminuer lors de la rétention puisque l'épisode de consolidation aura permis de stabiliser l'apprentissage. Il serait donc intéressant d'introduire une nouvelle séquence interférente après l'apprentissage initial de notre séquence pour vérifier si celle-ci affecte la performance lors de la rétention ou si la performance s'est stabilisée pour la séquence.

8.4 Limites des études et perspectives

Plusieurs limites des études et avenues de recherches futures ont été émises tout au long de la présente discussion afin d'en favoriser l'intégration. À celles déjà présentées, nous pouvons en ajouter quelques-unes qui s'appliquent de façon plus générale aux études.

Tout d'abord, pour des raisons de faisabilité, nous avons opté d'utiliser des mesures subjectives du sommeil dans les trois études. Les mesures subjectives constituent une méthode peu coûteuse, facile à administrer et non invasive pour surveiller les réponses des athlètes (Saw

et al., 2016). Cependant, des études auprès de populations athlétiques montrent certaines limites à cet usage. Il y aurait un décalage entre le sommeil perçu et le sommeil objectif chez les athlètes, ces derniers ayant tendance à surestimer la durée totale de leur sommeil (Caia et al., 2018; Carter et al., 2020; Mah et al., 2011). Malgré tout, cette méthode est appropriée pour la mesure du sommeil puisque la durée du sommeil estimée subjectivement et celle mesurée objectivement ont montré une très grande corrélation ($r = 0,85$) (Caia et al., 2018). Il serait toutefois intéressant de mesurer le sommeil de façon objective à l'aide de moniteurs dans des études subséquentes. Il serait aussi intéressant d'utiliser la PSG pour mesurer le sommeil afin d'avoir une mesure complète de l'architecture du sommeil des athlètes à la suite d'un entraînement et/ou un match puisque certains changements structuraux du sommeil ne sont pas perçus de façon subjective ou même captés par un moniteur d'actigraphie. Cette mesure pourrait permettre de mieux comprendre l'architecture du sommeil et ses effets potentiels sur le processus de récupération des athlètes.

De plus, dans le cadre de cette thèse, les études menées auprès des athlètes ont été effectuées avec des échantillons de convenances en suivant la même équipe au cours d'une saison. Afin de s'assurer que les résultats obtenus puissent être extrapolés, il serait nécessaire d'utiliser une taille d'échantillon plus élevée. Aussi, les résultats observés dans les équipes étudiées ne sont pas nécessairement généralisables à d'autres équipes, à d'autres sports ou à d'autres contextes.

Puisqu'il est possible que les femmes répondent différemment au stress imposé par la participation sportive et académique, il serait ultimement nécessaire d'effectuer ce même suivi auprès d'athlètes de sexe féminin. Dans ce même ordre d'idée, seulement des sports d'équipes ont été représentés dans les études, des recherches futures pourraient permettre de valider si nos résultats s'appliquent aussi aux sports individuels, puisque ces athlètes présentent des niveaux d'anxiété plus élevés. Aussi, d'autres types de sports pourraient être étudiés, tels que les sports d'endurance, puisque les demandes physiques imposées sur le corps sont différentes de celles des sports intermittents étudiés dans cette thèse. De plus, il serait intéressant d'utiliser des capteurs de mesure de charge de travail externe différents de ceux mentionnés dans cette thèse afin de déterminer la charge d'entraînement chez les joueurs de volleyball. Ceci, afin de

pouvoir faire une analyse plus complète de la charge de travail. Il serait approprié d'utiliser des capteurs qui mesurent à la fois la hauteur des sauts, mais aussi les déplacements latéraux des athlètes afin d'avoir un portrait plus global des exigences physiques. De plus, dans les sports qui comportent des exigences physiques des membres supérieurs, les déplacements ne sont peut-être pas suffisants non plus. Il faudrait considérer adapter les méthodes de mesure pour mesurer les actions répétées fréquemment dans le sport qui ont une incidence sur la charge. Comme ces différentes actions imposent une charge métabolique différente aux athlètes, l'étude de l'effet de la charge métabolique de différents sports ou composantes sportives pourrait aussi nous informer sur la façon dont l'activité sportive peut influencer le sommeil et permettre de mieux comprendre les enjeux liés à certains sports. Aussi, il serait pertinent de prendre en considération l'effet cyclique entre la charge d'entraînement et le sommeil dans des études subséquentes afin de comprendre la relation complexe qui unit ces deux concepts.

Finalement, il est nécessaire que la communauté scientifique développe une définition multidimensionnelle, globale et spécifique au sport du bien-être athlétique qui englobe les dimensions physiques, psychologiques, affectives et sociales. Cette définition permettra de développer des questionnaires et des outils de suivi adéquat aux athlètes afin de s'assurer qu'ils s'adaptent positivement à l'entraînement et à l'environnement. De même, bien que la mesure utilisée pour évaluer la bien-être dans notre étude soit très pratique, elle peut ne pas être assez sensible pour saisir l'effet exact du sommeil sur les mécanismes physiologiques impliqués dans le processus de récupération. De plus, il serait intéressant de vérifier si certaines composantes du bien-être sont plus susceptibles d'affecter le sommeil que d'autres.

8.5 Conclusion

Un sommeil adéquat est indispensable afin que les athlètes puissent récupérer et s'adapter aux charges de travail physique. Il est aussi essentiel pour l'apprentissage de gestes techniques. Le suivi de la charge d'entraînement est un outil fort intéressant pour comprendre les difficultés de sommeil chez les athlètes. Dans cette thèse, nous avons montré que, bien que le suivi de la charge d'entraînement externe est efficace pour quantifier la quantité de travail fait par l'athlète, ce suivi est optimal s'il est combiné à des mesures de charge interne telles que

les questionnaires sur le bien-être et le sRPE pour avoir un portrait global de la situation de l'athlète et prévenir les problèmes de sommeil. De plus, nous avons montré que l'évaluation de la charge cognitive est essentielle lorsque ce suivi est effectué auprès d'étudiants-athlètes. Nous avons aussi montré que certains facteurs physiques, psychologiques et contextuels peuvent perturber le sommeil post match. Ainsi, l'activation cognitive au moment du coucher, les matchs joués en soirée et à l'extérieur de la ville et l'intensité de la charge de travail sont autant de facteurs qui peuvent expliquer les difficultés de sommeil la nuit suivant un match. Cette compréhension des éléments qui peuvent affecter le sommeil est essentielle puisque le sommeil est un moteur important de l'apprentissage des gestes techniques. Bien que la tâche utilisée dans cette thèse ne fût pas sensible à la consolidation hors-ligne, il se pourrait toutefois que le sommeil ait permis de stabiliser la performance.

Références bibliographiques

Abel, T., Havekes, R., Saletin, J. M., & Walker, M. P. (2013). Sleep, plasticity and memory from molecules to whole-brain networks. *Current Biology: CB*, 23(17), R774-788. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.07.025>

Akenhead, R., & Nassis, G. P. (2016). Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 587–593. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0331>

Albouy, G., King, B. R., Schmidt, C., Deseilles, M., Dang-Vu, T. T., Balteau, E., Phillips, C., Degueldre, C., Orban, P., Benali, H., Peigneux, P., Luxen, A., Karni, A., Doyon, J., Maquet, P., & Korman, M. (2016). Cerebral Activity Associated with Transient Sleep-Facilitated Reduction in Motor Memory Vulnerability to Interference. *Scientific Reports*, 6, 34948. <https://doi.org/10.1038/srep34948>

Albouy, G., Sterpenich, V., Vandewalle, G., Darsaud, A., Gais, S., Rauchs, G., Deseilles, M., Boly, M., Dang-Vu, T., Balteau, E., Degueldre, C., Phillips, C., Luxen, A., & Maquet, P. (2013). Interaction between Hippocampal and Striatal Systems Predicts Subsequent Consolidation of Motor Sequence Memory. *Plos One*, 8(3), e59490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059490>

Aloulou, A., Duforez, F., Léger, D., De Laroche Lambert, Q., & Nedelec, M. (2021). The Relationships Between Training Load, Type of Sport, and Sleep Among High-Level Adolescent Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(6), 890–899. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0463>

Andrade, A., Bevilacqua, G., Casagrande, P., Brandt, R., & Coimbra, D. (2019). Sleep quality associated with mood in elite athletes. *The Physician and Sportsmedicine*, 47(3), 312–317. <https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1553467>

Aquilina, D. (2013). A Study of the Relationship Between Elite Athletes' Educational

Development and Sporting Performance. *The International Journal of the History of Sport*, 30(4), 374–392. <https://doi.org/10.1080/09523367.2013.765723>

Arnal, P. J., Sauvet, F., Leger, D., van Beers, P., Bayon, V., Bougard, C., Rabat, A., Millet, G. Y., & Chennaoui, M. (2015). Benefits of Sleep Extension on Sustained Attention and Sleep Pressure Before and During Total Sleep Deprivation and Recovery. *Sleep*, 38(12), 1935–1943. <https://doi.org/10.5665/sleep.5244>

Astridge, D., Sommerville, A., Verheul, M., & Turner, A. P. (2021). Training and academic demands are associated with sleep quality in high-performance “dual career” student swimmers. *European Journal of Sport Science*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1857442>

Backhaus, W., Braaß, H., Renné, T., Krüger, C., Gerloff, C., & Hummel, F. C. (2016). Daytime sleep has no effect on the time course of motor sequence and visuomotor adaptation learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 131, 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2016.03.017>

Balas, M., Netser, S., Giladi, N., & Karni, A. (2007). Interference to consolidation phase gains in learning a novel movement sequence by handwriting: Dependence on laterality and the level of experience with the written sequence. *Experimental Brain Research*, 180(2), 237–246. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-0851-1>

Banks, S., & Dinges, D. F. (2007). Behavioral and physiological consequences of sleep restriction. *Journal of Clinical Sleep Medicine: JCSM: Official Publication of the American Academy of Sleep Medicine*, 3(5), 519–528.

Barakat, M., Carrier, J., Debas, K., Lungu, O., Fogel, S., Vandewalle, G., Hoge, R. D., Bellec, P., Karni, A., Ungerleider, L. G., Benali, H., & Doyon, J. (2013). Sleep Spindles Predict Neural and Behavioral Changes in Motor Sequence Consolidation. *Human Brain Mapping*, 34(11), 2918–2928. <https://doi.org/10.1002/hbm.22116>

Beauchamp, M. R., & Eys, M. A. (2014). *Group Dynamics in Exercise and Sport Psychology*. Routledge.

Blischke, K., Erlacher, D., Kresin, H., Brueckner, S., & Malangré, A. (2008). Benefits of Sleep in Motor Learning – Prospects and Limitations. *Journal of Human Kinetics*, 20(1), 23–35. <https://doi.org/10.2478/v10078-008-0015-9>

Blischke, K., & Malangré, A. (2016). Chunk concatenation evolves with practice and sleep-related enhancement consolidation in a complex arm movement sequence. *Journal of Human Kinetics*, 51, 5–17. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0163>

Blumert, P. A., Crum, A. J., Ernsting, M., Volek, J. S., Hollander, D. B., Haff, E. E., & Haff, G. G. (2007). The acute effects of twenty-four hours of sleep loss on the performance of national-caliber male collegiate weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1146–1154. <https://doi.org/10.1519/R-21606.1>

Bonnar, D., Bartel, K., Kakoschke, N., & Lang, C. (2018). Sleep Interventions Designed to Improve Athletic Performance and Recovery: A Systematic Review of Current Approaches. *Sports Medicine*, 48(3), 683–703. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0832-x>

Bönstrup, M., Iturrate, I., Thompson, R., Cruciani, G., Censor, N., & Cohen, L. G. (2019). A Rapid Form of Offline Consolidation in Skill Learning. *Current Biology: CB*, 29(8), 1346-1351.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.02.049>

Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human Kinetics.

Born, J., Rasch, B., & Gais, S. (2006). Sleep to Remember. *The Neuroscientist*, 12(5), 410–424. <https://doi.org/10.1177/1073858406292647>

Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gustin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), S2-170. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2017-0208>

Boutin, A., & Doyon, J. (2020). A sleep spindle framework for motor memory consolidation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 375(1799), 20190232. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0232>

- Brandt, R., Bevilacqua, G. G., & Andrade, A. (2017). Perceived Sleep Quality, Mood States, and Their Relationship With Performance Among Brazilian Elite Athletes During a Competitive Period. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 1033–1039. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001551>
- Brauer, A. A., Athey, A. B., Ross, M. J., & Grandner, M. A. (2019). Sleep and Health Among Collegiate Student Athletes. *Chest*, 156(6), 1234–1245. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.08.1921>
- Brawn, T. P., Fenn, K. M., Nusbaum, H. C., & Margoliash, D. (2010). Consolidating the effects of waking and sleep on motor-sequence learning. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 30(42), 13977–13982. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3295-10.2010>
- Cai, D. J., & Rickard, T. C. (2009). Reconsidering the role of sleep for motor memory. *Behavioral Neuroscience*, 123(6), 1153–1157. <https://doi.org/10.1037/a0017672>
- Caia, J., Thornton, H. R., Kelly, V. G., Scott, T. J., Halson, S. L., Cupples, B., & Driller, M. W. (2018). Does self-perceived sleep reflect sleep estimated via activity monitors in professional rugby league athletes? *Journal of Sports Sciences*, 36(13), 1492–1496. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1398885>
- Cajochen, C., Knoblauch, V., Wirz-Justice, A., Kräuchi, K., Graw, P., & Wallach, D. (2004). Circadian modulation of sequence learning under high and low sleep pressure conditions. *Behavioural Brain Research*, 151(1), 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2003.08.013>
- Carriço, S., Skorski, S., Duffield, R., Mendes, B., Calvete, F., & Meyer, T. (2018). Post-match sleeping behavior based on match scheduling over a season in elite football players. *Science and Medicine in Football*, 2(1), 9–15. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1403036>
- Carter, J. R., Gervais, B. M., Adomeit, J. L., & Greenlund, I. M. (2020). Subjective and objective sleep differ in male and female collegiate athletes. *Sleep Health*. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2020.01.016>
- Clemente, F. M., Mendes, B., Nikolaidis, P. T., Calvete, F., Carriço, S., & Owen, A. L. (2017).

Internal training load and its longitudinal relationship with seasonal player wellness in elite professional soccer. *Physiology & Behavior*, 179, 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.06.021>

Conlan, G., McLean, B., Kemp, J., & Duffield, R. (2021). Effect of Training/Competition Load and Scheduling on Sleep Characteristics in Professional Rugby League Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000004111>

Costa, J. A., Brito, J., Nakamura, F. Y., Oliveira, E. M., Costa, O. P., & Rebelo, A. N. (2019). Does Night Training Load Affect Sleep Patterns and Nocturnal Cardiac Autonomic Activity in High-Level Female Soccer Players? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(6), 779–787. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0652>

Costa, J. A., Figueiredo, P., Nakamura, F. Y., Rebelo, A., & Brito, J. (2021). Monitoring Individual Sleep and Nocturnal Heart Rate Variability Indices: The Impact of Training and Match Schedule and Load in High-Level Female Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 12, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.678462>

Costello, N., Deighton, K., Preston, T., Matu, J., Rowe, J., Sawczuk, T., Halkier, M., Read, D. B., Weaving, D., & Jones, B. (2018). Collision activity during training increases total energy expenditure measured via doubly labelled water. *European Journal of Applied Physiology*, 118(6), 1169–1177. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3846-7>

Coutts, A., Kempton, T., & Crowcroft, S. (2018). *Coutts, A. J., Crowcroft, S., & Kempton, T. (2018). Developing athlete monitoring systems: Theoretical basis and practical applications. In M. Kellmann & J. Beckmann (Eds.), Sport, Recovery and Performance: Interdisciplinary Insights (pp. 19-32). Abingdon: Routledge. (pp. 19–32).*

Crow, R. B., & Macintosh, E. W. (2009). Conceptualizing a Meaningful Definition of Hazing in Sport. *European Sport Management Quarterly*, 9(4), 433–451. <https://doi.org/10.1080/16184740903331937>

Davenne, D. (2009). Sleep of athletes – problems and possible solutions. *Biological Rhythm Research*, 40(1), 45–52. <https://doi.org/10.1080/09291010802067023>

Davis, P., Halvarsson, A., Lundström, W., & Lundqvist, C. (2019). Alpine Ski Coaches' and Athletes' Perceptions of Factors Influencing Adaptation to Stress in the Classroom and on the Slopes. *Frontiers in Psychology, 10*, 1641. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01641>

de Blasiis, K., Joncheray, H., Elefteriou, J., Lesenne, C., & Nedelec, M. (2021). Sleep-Wake Behavior in Elite Athletes: A Mixed-Method Approach. *Frontiers in Psychology, 12*, 3337. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.658427>

Debas, K., Carrier, J., Orban, P., Barakat, M., Lungu, O., Vandewalle, G., Tahar, A. H., Bellec, P., Karni, A., Ungerleider, L. G., Benali, H., & Doyon, J. (2010). Brain plasticity related to the consolidation of motor sequence learning and motor adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107*(41), 17839–17844. <https://doi.org/10.1073/pnas.1013176107>

Deuker, L., Olligs, J., Fell, J., Kranz, T. A., Mormann, F., Montag, C., Reuter, M., Elger, C. E., & Axmacher, N. (2013). Memory consolidation by replay of stimulus-specific neural activity. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience, 33*(49), 19373–19383. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0414-13.2013>

Diekelmann, S., & Born, J. (2010). Diekelmann S, Born J. The memory function of sleep. *Nat Rev Neurosci 11: 114-126. Nature Reviews. Neuroscience, 11, 114–126.* <https://doi.org/10.1038/nrn2762>

Diener, E. (1984). Subjective well-being. *Psychological Bulletin, 95*(3), 542–575.

Dodge, R., Daly, A. P., Huyton, J., & Sanders, L. D. (2012). The challenge of defining wellbeing. *International Journal of Wellbeing, 2*(3), Article 3. <https://www.internationaljournalofwellbeing.org/index.php/ijow/article/view/89>

Doyon, J. (2008). *Motor sequence learning and movement disorders* (Vol. 21). <https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e328304b6a3>

Doyon, J., & Benali, H. (2005). Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Current Opinion in Neurobiology, 15*(2), 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.03.004>

Doyon, J., Gabbitov, E., Vahdat, S., Lungu, O., & Boutin, A. (2018). Current issues related to motor sequence learning in humans. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 20, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.11.012>

Doyon, J., Korman, M., Morin, A., Dostie, V., Tahar, A. H., Benali, H., Karni, A., Ungerleider, L. G., & Carrier, J. (2009). Contribution of night and day sleep vs. Simple passage of time to the consolidation of motor sequence and visuomotor adaptation learning. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation Cerebrale*, 195(1), 15. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1748-y>

Doyon, J., Song, A. W., Karni, A., Lalonde, F., Adams, M. M., & Ungerleider, L. G. (2002). Experience-dependent changes in cerebellar contributions to motor sequence learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(2), 1017–1022. <https://doi.org/10.1073/pnas.022615199>

Driller, M. W., Dixon, Z. T., & Clark, M. I. (2017). Accelerometer-based sleep behavior and activity levels in student athletes in comparison to student non-athletes. *Sport Sciences for Health*, 13(2), 411–418. <https://doi.org/10.1007/s11332-017-0373-6>

Driver, H. S., & Taylor, S. R. (2000). Exercise and sleep. *Sleep Medicine Reviews*, 4(4), 387–402. <https://doi.org/10.1053/smr.2000.0110>

Dudai, Y. (2004). The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram? *Annual Review of Psychology*, 55, 51–86. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.142050>

Dumortier, J., Mariman, A., Boone, J., Delesie, L., Tobbacq, E., Vogelaers, D., & Bourgois, J. G. (2018). Sleep, training load and performance in elite female gymnasts. *European Journal of Sport Science*, 18(2), 151–161. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1389992>

Dunican, I. C., Higgins, C. C., Jones, M. J., Clarke, M. W., Murray, K., Dawson, B., Caldwell, J. A., Halson, S. L., & Eastwood, P. R. (2018). Caffeine use in a Super Rugby game and its relationship to post-game sleep. *European Journal of Sport Science*, 18(4), 513–523. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1433238>

Eagles, A., McLellan, C., Hing, W., Carloss, N., & Lovell, D. (2014). Changes in sleep quantity and

efficiency in professional rugby union players during home based training and match-play. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*.

Ehrlenspiel, F., Erlacher, D., & Ziegler, M. (2018). Changes in Subjective Sleep Quality Before a Competition and Their Relation to Competitive Anxiety. *Behavioral Sleep Medicine*, *16*(6), 553–568. <https://doi.org/10.1080/15402002.2016.1253012>

Elloumi, M., Maso, F., Michaux, O., Robert, A., & Lac, G. (2003). Behaviour of saliva cortisol [C], testosterone [T] and the T/C ratio during a rugby match and during the post-competition recovery days. *European Journal of Applied Physiology*, *90*(1–2), 23–28. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0868-5>

Erlacher, D., Ehrlenspiel, F., Adegbesan, O. A., & Galal El-Din, H. (2011). Sleep habits in German athletes before important competitions or games. *Journal of Sports Sciences*, *29*(8), 859–866. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.565782>

Faraji, S., Wu, A. R., & Ijspeert, A. J. (2018). A simple model of mechanical effects to estimate metabolic cost of human walking. *Scientific Reports*, *8*(1), 10998. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29429-z>

Feld, G. B., & Born, J. (2012). Chapter 9—Sleep EEG Rhythms and System Consolidation of Memory. In M. G. Frank (Ed.), *Sleep and Brain Activity* (pp. 187–226). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384995-3.00009-5>

Feld, G. B., & Diekelmann, S. (2015). Sleep smart—Optimizing sleep for declarative learning and memory. *Frontiers in Psychology*, *6*, 622. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00622>

Fernandes, R., Brito, J. P., Vieira, L. H. P., Martins, A. D., Clemente, F. M., Nobari, H., Reis, V. M., & Oliveira, R. (2021). In-Season Internal Load and Wellness Variations in Professional Women Soccer Players: Comparisons between Playing Positions and Status. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(23), 12817. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312817>

Filaire, E., Alix, D., Ferrand, C., & Verger, M. (2009). Psychophysiological stress in tennis players during the first single match of a tournament. *Psychoneuroendocrinology*, *34*(1), 150–157.

<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.08.022>

Filaire, E., Le Scanff, C., Duché, P., & Lac, G. (1999). The relationship between salivary adrenocortical hormones changes and personality in elite female athletes during handball and volleyball competition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *70*(3), 297–302. <https://doi.org/10.1080/02701367.1999.10608048>

Filaire, E., Sagnol, M., Ferrand, C., Maso, F., & Lac, G. (2001). Psychophysiological stress in judo athletes during competition. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *41*, 263–268.

Fischer, S., Hallschmid, M., Elsner, A. L., & Born, J. (2002). Sleep forms memory for finger skills. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *99*(18), 11987–11991. <https://doi.org/10.1073/pnas.182178199>

Fischer, S., Nitschke, M. F., Melchert, U. H., Erdmann, C., & Born, J. (2005). Motor memory consolidation in sleep shapes more effective neuronal representations. *Journal of Neuroscience*, *25*(49), 11248–11255. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1743-05.2005>

Fogel, S., Albouy, G., King, B. R., Lungu, O., Vien, C., Bore, A., Pinsard, B., Benali, H., Carrier, J., & Doyon, J. (2017). Reactivation or transformation? Motor memory consolidation associated with cerebral activation time-locked to sleep spindles. *PloS One*, *12*(4), e0174755. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174755>

Fogel, S. M., & Smith, C. T. (2006). Learning-dependent changes in sleep spindles and Stage 2 sleep. *Journal of Sleep Research*, *15*(3), 250–255. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2006.00522.x>

Forbes-Robertson, S., Dudley, E., Vadgama, P., Cook, C., Drawer, S., & Kilduff, L. (2012). Circadian disruption and remedial interventions: Effects and interventions for jet lag for athletic peak performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *42*(3), 185–208. <https://doi.org/10.2165/11596850-000000000-00000>

Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *15*(1), 109–115.

Fowler, Duffield, R., & Vaile, J. (2014). Effects of Domestic Air Travel on Technical and Tactical Performance and Recovery in Soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 378–386. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0484>

Fowler, P., Duffield, R., Howle, K., Waterson, A., & Vaile, J. (2015). Effects of Northbound Long-Haul International Air Travel on Sleep Quantity and Subjective Jet Lag and Wellness in Professional Australian Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(5), 648–654. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0490>

Fowler, P. M., Knez, W., Crowcroft, S., Mendham, A. E., Miller, J., Sargent, C., Halson, S., & Duffield, R. (2017). Greater Effect of East versus West Travel on Jet Lag, Sleep, and Team Sport Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(12), 2548–2561. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001374>

Fowler, Paul, D. J., Tomazoli, G., Farooq, A., Akenhead, R., & Taylor, L. (2017). Evidence of sub-optimal sleep in adolescent Middle Eastern academy soccer players which is exacerbated by sleep intermission proximal to dawn. *European Journal of Sport Science*, 17(9), 1110–1118. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1341553>

Fox, J. L., Scanlan, A. T., Stanton, R., O’Grady, C. J., & Sargent, C. (2020). Losing Sleep Over It: Sleep in Basketball Players Affected by Game But Not Training Workloads. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–8. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0676>

Fox, J. L., Scanlan, A. T., Stanton, R., & Sargent, C. (2020a). Insufficient Sleep in Young Athletes? Causes, Consequences, and Potential Treatments. *Sports Medicine*, 50(3), 461–470. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01220-8>

Fox, J. L., Scanlan, A. T., Stanton, R., & Sargent, C. (2020b). The Effect of Game-Related Contextual Factors on Sleep in Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research, Publish Ahead of Print*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003943>

Fox, J. L., Stanton, R., & Scanlan, A. T. (2018). A Comparison of Training and Competition Demands in Semiprofessional Male Basketball Players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 89(1), 103–111. <https://doi.org/10.1080/02701367.2017.1410693>

Fox, J. L., Stanton, R., Scanlan, A. T., Teramoto, M., & Sargent, C. (2020). The Association Between Sleep and In-Game Performance in Basketball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(3), 333–341. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0025>

Fullagar, H. H. K., Sampson, J. A., Delaney, J., McKay, B., & Murray, A. (2019). The relationship between objective measures of sleep and training load across different phases of the season in American collegiate football players. *Science and Medicine in Football*, *3*(4), 326–332. <https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1618491>

Fullagar, H. H. K., Skorski, S., Duffield, R., Hammes, D., Coutts, A. J., & Meyer, T. (2015). Sleep and athletic performance: The effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *45*(2), 161–186. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0260-0>

Fullagar, H. H. K., Skorski, S., Duffield, R., Julian, R., Bartlett, J., & Meyer, T. (2016). Impaired sleep and recovery after night matches in elite football players. *Journal of Sports Sciences*, *34*(14), 1333–1339. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1135249>

Fullagar, H., Skorski, S., Duffield, R., & Meyer, T. (2016). The effect of an acute sleep hygiene strategy following a late-night soccer match on recovery of players. *Chronobiology International*, *33*(5), 490–505. <https://doi.org/10.3109/07420528.2016.1149190>

Gaultney, J. F. (2016). Risk for Sleep Disorder Measured During Students' First College Semester May Predict Institutional Retention and Grade Point Average Over a 3-Year Period, With Indirect Effects Through Self-Efficacy. *Journal of College Student Retention: Research, Theory & Practice*, *18*(3), 333–359. <https://doi.org/10.1177/1521025115622784>

Genzel, L., Kroes, M. C. W., Dresler, M., & Battaglia, F. P. (2014). Light sleep versus slow wave sleep in memory consolidation: A question of global versus local processes? *Trends in Neurosciences*, *37*(1), 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.002>

Genzel, L., Quack, A., Jäger, E., Konrad, B., Steiger, A., & Dresler, M. (2012). Complex Motor Sequence Skills Profit from Sleep. *Neuropsychobiology*, *66*(4), 237–243. <https://doi.org/10.1159/000341878>

Gomez Fonseca, A., & Genzel, L. (2020). Sleep and academic performance: Considering amount, quality and timing. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 33, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.12.008>

Gradisar, M., Wolfson, A. R., Harvey, A. G., Hale, L., Rosenberg, R., & Czeisler, C. A. (2013). The sleep and technology use of Americans: Findings from the National Sleep Foundation's 2011 Sleep in America poll. *Journal of Clinical Sleep Medicine: JCSM: Official Publication of the American Academy of Sleep Medicine*, 9(12), 1291–1299. <https://doi.org/10.5664/jcsm.3272>

Gupta, L., Morgan, K., & Gilchrist, S. (2017). Does Elite Sport Degrade Sleep Quality? A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(7), 1317–1333. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0650-6>

Halson, S. L. (2008). Nutrition, sleep and recovery. *European Journal of Sport Science*, 8(2), 119–126. <https://doi.org/10.1080/17461390801954794>

Halson, S. L. (2013). *Recovery techniques for athletes*. 26(120), 6.

Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139–147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>

Halson, S. L. (2019). Sleep Monitoring in Athletes: Motivation, Methods, Miscalculations and Why it Matters. *Sports Medicine*, 49(10), 1487–1497. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01119-4>

Halson, S. L., & Juliff, L. E. (2017). Chapter 2—Sleep, sport, and the brain. In M. R. Wilson, V. Walsh, & B. Parkin (Eds.), *Progress in Brain Research* (Vol. 234, pp. 13–31). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2017.06.006>

Hamlin, M. J., Wilkes, D., Elliot, C. A., Lizamore, C. A., & Kathiravel, Y. (2019). Monitoring Training Loads and Perceived Stress in Young Elite University Athletes. *Frontiers in Physiology*, 10, 34. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00034>

Hartmann, M. E., & Prichard, J. R. (2018). Calculating the contribution of sleep problems to undergraduates' academic success. *Sleep Health*, 4(5), 463–471.

<https://doi.org/10.1016/j.sleh.2018.07.002>

Hauptmann, B., Reinhart, E., Brandt, S. A., & Karni, A. (2005). The predictive value of the leveling off of within session performance for procedural memory consolidation. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, *24*(2), 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.012>

Hauswirth, C., Louis, J., Aubry, A., Bonnet, G., Duffield, R., & LE Meur, Y. (2014). Evidence of disturbed sleep and increased illness in overreached endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *46*(5), 1036–1045. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000177>

Heishman, A. D., Curtis, M. A., Saliba, E. N., Hornett, R. J., Malin, S. K., & Weltman, A. L. (2017). Comparing Performance During Morning vs. Afternoon Training Sessions in Intercollegiate Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(6), 1557–1562. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001882>

Hershner. (2020). Sleep and academic performance: Measuring the impact of sleep. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *33*, 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.11.009>

Hershner, S. D., & Chervin, R. D. (2014). Causes and consequences of sleepiness among college students. *Nature and Science of Sleep*, *6*, 73–84. <https://doi.org/10.2147/NSS.S62907>

Hobson, J. A. (2005). Sleep is of the brain, by the brain and for the brain. *Nature*, *437*(7063), 1254–1256. <https://doi.org/10.1038/nature04283>

Hoedlmoser, K., Birklbauer, J., Schabus, M., Eibenberger, P., Rigler, S., & Mueller, E. (2015). The impact of diurnal sleep on the consolidation of a complex gross motor adaptation task. *Journal of Sleep Research*, *24*(1), 100–109. <https://doi.org/10.1111/jsr.12207>

Hooper, S. L., Mackinnon, L. T., Howard, A., Gordon, R. D., & Bachmann, A. W. (1995). Markers for monitoring overtraining and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *27*(1), 106–112.

Hrozanova, M., Firing, K., & Moen, F. (2021). “When I Sleep Poorly, It Impacts Everything”: An Exploratory Qualitative Investigation of Stress and Sleep in Junior Endurance Athletes. *Frontiers in Psychology*, *12*, 259. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.618379>

Hrozanova, M., Klöckner, C. A., Sandbakk, Ø., Pallesen, S., & Moen, F. (2020). Reciprocal Associations Between Sleep, Mental Strain, and Training Load in Junior Endurance Athletes and the Role of Poor Subjective Sleep Quality. *Frontiers in Psychology, 11*, 2498. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.545581>

Hu, X., Cheng, L. Y., Chiu, M. H., & Paller, K. A. (2020). Promoting memory consolidation during sleep: A meta-analysis of targeted memory reactivation. *Psychological Bulletin, 146*(3), 218. <https://doi.org/10.1037/bul0000223>

Hyatt, & Kavazis. (2019). Body Composition and Perceived Stress through a Calendar Year in NCAA I Female Volleyball Players. *International Journal of Exercise Science, 12*(5), 433–443.

Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2018). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 14*(2), 270–273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>

Jansen, E. C., Peterson, K. E., O'Brien, L., Hershner, S., & Boolani, A. (2020). Associations between Mental Workload and Sleep Quality in a Sample of Young Adults Recruited from a US College Town. *Behavioral Sleep Medicine, 18*(4), 513–522. <https://doi.org/10.1080/15402002.2019.1626728>

Jenni, O. G., & Carskadon, M. A. (2007). Sleep behavior and sleep regulation from infancy through adolescence: Normative aspects. *Sleep Medicine Clinics, 2*(3), 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2007.05.001>

Jones, C., Griffiths, P., Towers, P., Claxton, J., & Mellalieu, S. D. (2018). *Pre-season injury and illness associations with perceptual wellness, neuromuscular fatigue, sleep and training load in elite rugby union*. <https://repository.cardiffmet.ac.uk/handle/10369/9750>

Jones, M. R., West, D. J., Harrington, B. J., Cook, C. J., Bracken, R. M., Shearer, D. A., & Kilduff, L. P. (2014). Match play performance characteristics that predict post-match creatine kinase responses in professional rugby union players. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation, 6*(1), 38. <https://doi.org/10.1186/2052-1847-6-38>

Juliff, L. E., Halson, S. L., Hebert, J. J., Forsyth, P. L., & Peiffer, J. J. (2018). Longer Sleep Durations

Are Positively Associated With Finishing Place During a National Multiday Netball Competition. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(1), 189–194. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001793>

Juliff, L. E., Halson, S. L., & Peiffer, J. J. (2015). Understanding sleep disturbance in athletes prior to important competitions. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(1), 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.02.007>

Juliff, L. E., Peiffer, J. J., & Halson, S. L. (2018). Night Games and Sleep: Physiological, Neuroendocrine, and Psychometric Mechanisms. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(7), 867–873. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0809>

Kahneman, D., Diener, E., & Schwarz, N. (1999). *Well-Being: Foundations of Hedonic Psychology*. Russell Sage Foundation.

Karni, A., Meyer, G., Jezard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*, 377(6545), 155–158. <https://doi.org/10.1038/377155a0>

Keenan, S., & Hirshkowitz, M. (2011). *Chapter 141 – Monitoring and Staging Human Sleep*. 19.

Kempler, L., & Richmond, J. L. (2012). Effect of sleep on gross motor memory. *Memory*, 20(8), 907–914. <https://doi.org/10.1080/09658211.2012.711837>

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2021). *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics.

Killer, S. C., Svendsen, I. S., Jeukendrup, A. E., & Gleeson, M. (2017). Evidence of disturbed sleep and mood state in well-trained athletes during short-term intensified training with and without a high carbohydrate nutritional intervention. *Journal of Sports Sciences*, 35(14), 1402–1410. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1085589>

King, B. R., Hoedlmoser, K., Hirschauer, F., Dolfen, N., & Albouy, G. (2017). Sleeping on the motor engram: The multifaceted nature of sleep-related motor memory consolidation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 80, 1–22.

<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.026>

Kirschen, G., Jones, J., & Hale, L. (2018). The Impact of Sleep Duration on Performance Among Competitive Athletes: A Systematic Literature Review. *Clinical Journal of Sport Medicine, 30*, 1. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000622>

Klinzing, J. G., Niethard, N., & Born, J. (2019). Mechanisms of systems memory consolidation during sleep. *Nature Neuroscience, 22*(10), 1598–1610. <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0467-3>

Knufinke, M., Nieuwenhuys, A., Geurts, S. A. E., Coenen, A. M. L., & Kompier, M. A. J. (2018). Self-reported sleep quantity, quality and sleep hygiene in elite athletes. *Journal of Sleep Research, 27*(1), 78–85. <https://doi.org/10.1111/jsr.12509>

Knufinke, M., Nieuwenhuys, A., Geurts, S. A. E., Møst, E. I. S., Maase, K., Moen, M. H., Coenen, A. M. L., & Kompier, M. A. J. (2018). Train hard, sleep well? Perceived training load, sleep quantity and sleep stage distribution in elite level athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport, 21*(4), 427–432. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.07.003>

Kölling, S., Steinacker, J. M., Endler, S., Ferrauti, A., Meyer, T., & Kellmann, M. (2016). The longer the better: Sleep–wake patterns during preparation of the World Rowing Junior Championships. *Chronobiology International, 33*(1), 73–84. <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1118384>

Korman, M., Doyon, J., Doljansky, J., Carrier, J., Dagan, Y., & Karni, A. (2007). Daytime sleep condenses the time course of motor memory consolidation. *Nature Neuroscience, 10*(9), 1206–1213. <https://doi.org/10.1038/nn1959>

Korman, M., Raz, N., Flash, T., & Karni, A. (2003). Multiple shifts in the representation of a motor sequence during the acquisition of skilled performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 100*(21), 12492–12497. <https://doi.org/10.1073/pnas.2035019100>

Kroshus, E., Wagner, J., Wyrick, D., Athey, A., Bell, L., Benjamin, H. J., Grandner, M. A., Kline, C. E., Mohler, J. M., Prichard, J. R., Watson, N. F., & Hainline, B. (2019). Wake up call for collegiate athlete sleep: Narrative review and consensus recommendations from the NCAA Interassociation Task Force on Sleep and Wellness. *British Journal of Sports Medicine, 53*(12),

731–736. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100590>

Kuriyama, K., Stickgold, R., & Walker, M. P. (2004a). Sleep-dependent learning and motor-skill complexity. *Learning & Memory*, *11*(6), 705–713. <https://doi.org/10.1101/lm.76304>

Kuriyama, K., Stickgold, R., & Walker, M. P. (2004b). Sleep-dependent learning and motor-skill complexity. *Learning & Memory*, *11*(6), 705–713. <https://doi.org/10.1101/lm.76304>

Kyndt, E., Dochy, F., Struyven, K., & Cascallar, E. (2011). The direct and indirect effect of motivation for learning on students' approaches to learning through the perceptions of workload and task complexity. *Higher Education Research & Development*, *30*(2), 135–150. <https://doi.org/10.1080/07294360.2010.501329>

Lalor, B. J., Halson, S. L., Tran, J., Kemp, J. G., & Cormack, S. J. (2018). No Compromise of Competition Sleep Compared With Habitual Sleep in Elite Australian Footballers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(1), 29–36. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0776>

Lalor, B. J., Halson, S. L., Tran, J., Kemp, J. G., & Cormack, S. J. (2020). A Complex Relationship: Sleep, External Training Load, and Well-Being in Elite Australian Footballers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *15*(6), 777–787. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0061>

Landry, S., Anderson, C., & Conduit, R. (2016). The effects of sleep, wake activity and time-on-task on offline motor sequence learning. *Neurobiol Learn Mem*, *127*, 56–63.

Lastella, M., Roach, G. D., Halson, S. L., Martin, D. T., West, N. P., & Sargent, C. (2015). Sleep/wake behaviour of endurance cyclists before and during competition. *Journal of Sports Sciences*, *33*(3), 293–299. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.942690>

Lastella, M., Roach, G. D., Vincent, G. E., Scanlan, A. T., Halson, S. L., & Sargent, C. (2020). The Impact of Training Load on Sleep During a 14-Day Training Camp in Elite, Adolescent, Female Basketball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *15*(5), 724–730. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0157>

Laventure, S., Fogel, S., Lungu, O., Albouy, G., Sévigny-Dupont, P., Vien, C., Sayour, C., Carrier, J., Benali, H., & Doyon, J. (2016). NREM2 and Sleep Spindles Are Instrumental to the Consolidation of Motor Sequence Memories. *PLoS Biology*, *14*(3), e1002429. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002429>

Leatherwood, W. E., & Drago, J. L. (2013). Effect of airline travel on performance: A review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, *47*(9), 561–567. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091449>

Leduc, C., Jones, B., Robineau, J., Piscione, J., & Lacombe, M. (2019). Sleep Quality and Quantity of International Rugby Sevens Players During Pre-season. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *33*(7), 1878–1886. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002839>

Leduc, C., Tee, J., Weakley, J., Ramirez, C., & Jones, B. (2020). The Quality, Quantity, and Intraindividual Variability of Sleep Among Students and Student-Athletes. *Sports Health*, *12*(1), 43–50. <https://doi.org/10.1177/1941738119887966>

Leduc, C., Weaving, D., Owen, C., Lacombe, M., Ramirez-Lopez, C., Skok, M., Tee, J. C., & Jones, B. (2022). The Effect of Rugby Union Match Play on Sleep Patterns and Subsequent Impact on Postmatch Fatigue Responses. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *17*(6), 852–861. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0421>

Leeder, J., Glaister, M., Pizzoferro, K., Dawson, J., & Pedlar, C. (2012). Sleep duration and quality in elite athletes measured using wristwatch actigraphy. *Journal of Sports Sciences*, *30*(6), 541–545. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.660188>

Lim, J., & Dinges, D. F. (2010). A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. *Psychological Bulletin*, *136*(3), 375–389. <https://doi.org/10.1037/a0018883>

Litwic-Kaminska, K., & Kotysko, M. (2020). Sleep quality of student athletes and non-athletes—The role of chronotype, stress and life satisfaction. *Sleep Science (Sao Paulo, Brazil)*, *13*(4), 249–255. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20190153>

Lohse, K. R., Wadden, K., Boyd, L. A., & Hodges, N. J. (2014). Motor skill acquisition across short and long time scales: A meta-analysis of neuroimaging data. *Neuropsychologia*, *59*, 130–141.

<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.05.001>

Lopes Dos Santos, M., Uftring, M., Stahl, C. A., Lockie, R. G., Alvar, B., Mann, J. B., & Dawes, J. J. (2020). Stress in Academic and Athletic Performance in Collegiate Athletes: A Narrative Review of Sources and Monitoring Strategies. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 42. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00042>

Lund, H. G., Reider, B. D., Whiting, A. B., & Prichard, J. R. (2010). Sleep patterns and predictors of disturbed sleep in a large population of college students. *The Journal of Adolescent Health: Official Publication of the Society for Adolescent Medicine*, 46(2), 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2009.06.016>

Lundqvist, C. (2011). Well-being in competitive sports—The feel-good factor? A review of conceptual considerations of well-being. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 4(2), 109–127. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2011.584067>

MacAuley, D. (2012). *Oxford Handbook of Sport and Exercise Medicine*. OUP Oxford.

Mah. (2008). Extended sleep and the effects on mood and athletic performance in collegiate swimmers. *Sleep*, 31(Suppl.). <https://ci.nii.ac.jp/naid/10026966464/>

Mah, C. D., Kezirian, E. J., Marcello, B. M., & Dement, W. C. (2018). Poor sleep quality and insufficient sleep of a collegiate student-athlete population. *Sleep Health*, 4(3), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2018.02.005>

Mah, C. D., Mah, K. E., Kezirian, E. J., & Dement, W. C. (2011). The Effects of Sleep Extension on the Athletic Performance of Collegiate Basketball Players. *Sleep*, 34(7), 943–950. <https://doi.org/10.5665/SLEEP.1132>

Malangré, A., Leinen, P., & Blischke, K. (2014). Sleep-Related Offline Learning in a Complex Arm Movement Sequence. *Journal of Human Kinetics*, 40(1), 7–20. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0002>

Mann, T. N., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2014). High Responders and Low Responders: Factors Associated with Individual Variation in Response to Standardized Training. *Sports*

Medicine, 44(8), 1113–1124. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0197-3>

Mantua, J., Baran, B., & Spencer, R. M. C. (2016). Sleep benefits consolidation of visuo-motor adaptation learning in older adults. *Experimental Brain Research*, 234(2), 587–595. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4490-7>

Mantua, J., & Simonelli, G. (2019). Sleep duration and cognition: Is there an ideal amount? *Sleep*, 42(3), zsz010. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz010>

Maquet, P. (2000). Functional neuroimaging of normal human sleep by positron emission tomography. *J Sleep Res*, 9(3), 207–231.

McKay, J. M., Selig, S. E., Carlson, J. S., & Morris, T. (1997). Psychophysiological stress in elite golfers during practice and competition. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 29(2), 55–61.

McLaren, S. J., Macpherson, T. W., Coutts, A. J., Hurst, C., Spears, I. R., & Weston, M. (2018). The Relationships Between Internal and External Measures of Training Load and Intensity in Team Sports: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(3), 641–658. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0830-z>

Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J., & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *European Journal of Sport Science*, 13(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.730061>

Mendes, B., Palao, J. M., Silvério, A., Owen, A., Carriço, S., Calvete, F., & Clemente, F. M. (2018). Daily and weekly training load and wellness status in preparatory, regular and congested weeks: A season-long study in elite volleyball players. *Research in Sports Medicine*, 26(4), 462–473. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1492393>

Messier, J., & Kalaska, J. F. (1997). Differential effect of task conditions on errors of direction and extent of reaching movements. *Experimental Brain Research*, 115(3), 469–478. <https://doi.org/10.1007/pl00005716>

Miles, K. H., Clark, B., Mara, J. K., Fowler, P. M., Miller, J., & Pumpa, K. L. (2021). How Do the Habitual Sleep Patterns of Elite Female Basketball and Soccer Athletes Compare With the General Population? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *1*(aop), 1–7. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0189>

Milewski, M. D., Skaggs, D. L., Bishop, G. A., Pace, J. L., Ibrahim, D. A., Wren, T. A. L., & Barzdukas, A. (2014). Chronic Lack of Sleep is Associated With Increased Sports Injuries in Adolescent Athletes. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, *34*(2), 129–133. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000151>

Moalla, W., Fessi, M. S., Farhat, F., Nouira, S., Wong, D. P., & Dupont, G. (2016). Relationship between daily training load and psychometric status of professional soccer players. *Research in Sports Medicine*, *24*(4), 387–394. <https://doi.org/10.1080/15438627.2016.1239579>

Montgomery, P. G., Pyne, D. B., & Minahan, C. L. (2010). The Physical and Physiological Demands of Basketball Training and Competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *5*(1), 75–86. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.1.75>

Moreno, E., Ruano, M., Peñas, C., & Sampaio, J. (2013). Effects of starting quarter score, game location, and quality of opposition in quarter score in elite women's basketball. *Kinesiology*, *45*, 48–54.

Morin, A., Doyon, J., Dostie, V., Baralkat, M., Tahar, A. H., Korman, M., Benali, H., Karni, A., Ungerleider, L. G., & Carrier, J. (2008). Motor sequence learning increases sleep spindles and fast frequencies in post-training sleep. *Sleep*, *31*(8), 1149–1156.

Morita, Y., Ogawa, K., & Uchida, S. (2012). The effect of a daytime 2-hour nap on complex motor skill learning. *Sleep and Biological Rhythms*, *10*(4), 302–309. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8425.2012.00576.x>

Morita, Y., Ogawa, K., & Uchida, S. (2016). Napping after complex motor learning enhances juggling performance. *Sleep Science*, *9*(2), 112–116. <https://doi.org/10.1016/j.slsci.2016.04.002>

Mountjoy, M., Brackenridge, C., Arrington, M., Blauwet, C., Carska-Sheppard, A., Fasting, K., Kirby, S., Leahy, T., Marks, S., Martin, K., Starr, K., Tiivas, A., & Budgett, R. (2016). International

Olympic Committee consensus statement: Harassment and abuse (non-accidental violence) in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 1019–1029. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096121>

Myllymäki, T., Kyröläinen, H., Savolainen, K., Hokka, L., Jakonen, R., Juuti, T., Martinmäki, K., Kaartinen, J., Kinnunen, M.-L., & Rusko, H. (2011). Effects of vigorous late-night exercise on sleep quality and cardiac autonomic activity. *Journal of Sleep Research*, 20(1 Pt 2), 146–153. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2010.00874.x>

Nadasdy, Z., Hirase, H., Czurko, A., Csicsvari, J., & Buzsaki, G. (1999). Replay and time compression of recurring spike sequences in the hippocampus. *Journal of Neuroscience*, 19(21), 9497–9507.

Naughton, M., Miller, J., & Slater, G. J. (2018). Impact-Induced Muscle Damage and Contact Sports: Etiology, Effects on Neuromuscular Function and Recovery, and the Modulating Effects of Adaptation and Recovery Strategies. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(8), 962–969. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0268>

Nédélec, M., Dawson, B., & Dupont, G. (2019). Influence of Night Soccer Matches on Sleep in Elite Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(1), 174–179. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002906>

Nédélec, M., Leduc, C., Dawson, B., Guilhem, G., & Dupont, G. (2019). Case Study: Sleep and Injury in Elite Soccer—A Mixed Method Approach. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(11), 3085–3091. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002251>

Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2013). Recovery in soccer: Part ii-recovery strategies. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(1), 9–22. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0002-0>

Netzer, N. C., Kristo, D., Steinle, H., Lehmann, M., & Strohl, K. P. (2001). REM sleep and catecholamine excretion: A study in elite athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 84(6), 521–526. <https://doi.org/10.1007/s004210100383>

Nixdorf, I., Frank, R., & Beckmann, J. (2015). An Explorative Study on Major Stressors and Its

Connection to Depression and Chronic Stress among German Elite Athletes. *Advances in Physical Education*, 05(04), 255. <https://doi.org/10.4236/ape.2015.54030>

Nixdorf, I., Frank, R., Hautzinger, M., & Beckmann, J. (2013). Prevalence of Depressive Symptoms and Correlating Variables Among German Elite Athletes. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 7(4), 313–326. <https://doi.org/10.1123/jcsp.7.4.313>

O'Donnell, S., Beaven, C., Jacobson, G., Bird, S., & Driller, M. (2019). *Melatonin and Sleep Responses following Exercise in Elite Female Athletes*.

Okano, K., Kaczmarzyk, J. R., Dave, N., Gabrieli, J. D. E., & Grossman, J. C. (2019). Sleep quality, duration, and consistency are associated with better academic performance in college students. *Npj Science of Learning*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.1038/s41539-019-0055-z>

Oliver, S. J., Costa, R. J. S., Laing, S. J., Bilzon, J. L. J., & Walsh, N. P. (2009). One night of sleep deprivation decreases treadmill endurance performance. *European Journal of Applied Physiology*, 107(2), 155–161. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1103-9>

Oluwole, O. S. A. (2010). Sleep habits in Nigerian undergraduates. *Acta Neurologica Scandinavica*, 121(1), 1–6. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2009.01171.x>

Pagel, J., & Kwiatkowski, C. (2010). Sleep Complaints Affecting School Performance at Different Educational Levels. *Frontiers in Neurology*, 1, 125. <https://doi.org/10.3389/fneur.2010.00125>

Pan, S. C., & Rickard, T. C. (2015). Sleep and motor learning: Is there room for consolidation? *Psychological Bulletin*, 141(4), 812–834. <https://doi.org/10.1037/bul0000009>

Paquet, J., Kawinska, A., & Carrier, J. (2007). Wake detection capacity of actigraphy during sleep. *Sleep*, 30(10), 1362–1369. <https://doi.org/10.1093/sleep/30.10.1362>

Paule, A. L., & Gilson, T. A. (2010). Current Collegiate Experiences of Big-Time, Non-Revenue, NCAA Athletes. *Journal of Intercollegiate Sport*, 3(2), 333–347. <https://doi.org/10.1123/jis.3.2.333>

Peigneux, P., Laureys, S., Fuchs, S., Collette, F., Perrin, F., Reggers, J., Phillips, C., Degueldre, C., Del Fiore, G., Aerts, J., Luxen, A., & Maquet, P. (2004). Are spatial memories strengthened in the

human hippocampus during slow wave sleep? *Neuron*, 44(3), 535–545.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.10.007>

Peltzer, K., & Pengpid, S. (2016). Sleep duration and health correlates among university students in 26 countries. *Psychology, Health & Medicine*, 21(2), 208–220.
<https://doi.org/10.1080/13548506.2014.998687>

Penhune, V. B., & Steele, C. J. (2012). Parallel contributions of cerebellar, striatal and M1 mechanisms to motor sequence learning. *Behavioural Brain Research*, 226(2), 579–591.
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.09.044>

Phillips, A. J. K., Clerx, W. M., O'Brien, C. S., Sano, A., Barger, L. K., Picard, R. W., Lockley, S. W., Klerman, E. B., & Czeisler, C. A. (2017a). Irregular sleep/wake patterns are associated with poorer academic performance and delayed circadian and sleep/wake timing. *Scientific Reports*, 7(1), 3216. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03171-4>

Phillips, A. J. K., Clerx, W. M., O'Brien, C. S., Sano, A., Barger, L. K., Picard, R. W., Lockley, S. W., Klerman, E. B., & Czeisler, C. A. (2017b). Irregular sleep/wake patterns are associated with poorer academic performance and delayed circadian and sleep/wake timing. *Scientific Reports*, 7(1), 3216. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03171-4>

Picard-Deland, C., Aumont, T., Samson-Richer, A., Paquette, T., & Nielsen, T. (2021). Whole-body procedural learning benefits from targeted memory reactivation in REM sleep and task-related dreaming. *Neurobiology of Learning and Memory*, 183, 107460.
<https://doi.org/10.1016/j.nlm.2021.107460>

Pitchford, N. W., Robertson, S. J., Sargent, C., Cordy, J., Bishop, D. J., & Bartlett, J. D. (2017). Sleep Quality but Not Quantity Altered With a Change in Training Environment in Elite Australian Rules Football Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 75–80. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0009>

Plihal, W., & Born, J. (1997). Effects of Early and Late Nocturnal Sleep on Declarative and Procedural Memory. *J. Cognitive Neuroscience*, 9(4), 534–547.
<https://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.4.534>

Preišegolavičiūtė, E., Leskauskas, D., & Adomaitienė, V. (2010). Associations of quality of sleep with lifestyle factors and profile of studies among Lithuanian students. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, *46*(7), 482–489.

Rabbani, A., Baseri, M. K., Reisi, J., Clemente, F. M., & Kargarfard, M. (2018). Monitoring collegiate soccer players during a congested match schedule: Heart rate variability versus subjective wellness measures. *Physiology & Behavior*, *194*, 527–531. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.07.001>

Raley, H., Naber, J., Cross, S., & Perlow, M. (2016). The Impact of Duration of Sleep on Academic Performance in University Students. *Madridge Journal of Nursing*, *1*(1), 11–18. <https://doi.org/10.18689/mjn-1000103>

Rasch, B., & Born, J. (2007). Maintaining memories by reactivation. *Current Opinion in Neurobiology*, *17*(6), 698–703. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2007.11.007>

Rasch, B., & Born, J. (2013). About Sleep's Role in Memory. *Physiological Reviews*, *93*(2), 681–766. <https://doi.org/10.1152/physrev.00032.2012>

Reilly, T., & Edwards, B. (2007). Altered sleep–wake cycles and physical performance in athletes. *Physiology & Behavior*, *90*(2), 274–284. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.09.017>

Rice, S. M., Purcell, R., De Silva, S., Mawren, D., McGorry, P. D., & Parker, A. G. (2016). The Mental Health of Elite Athletes: A Narrative Systematic Review. *Sports Medicine*, *46*(9), 1333–1353. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0492-2>

Richmond, L., Dawson, B., Hillman, D. R., & Eastwood, P. R. (2004). The effect of interstate travel on sleep patterns of elite Australian Rules footballers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *7*(2), 186–196. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(04\)80008-2](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(04)80008-2)

Roberts, S. S. H., Teo, W.-P., Aisbett, B., & Warmington, S. A. (2019). Extended Sleep Maintains Endurance Performance Better than Normal or Restricted Sleep. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *51*(12), 2516–2523. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002071>

Roberts, S. S. H., Teo, W.-P., & Warmington, S. A. (2019). Effects of training and competition on

the sleep of elite athletes: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 53(8), 513–522. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099322>

Robertson, E. M. (2012). New Insights in Human Memory Interference and Consolidation. *Current Biology*, 22(2), R66–R71. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.11.051>

Robey, E., Dawson, B., Halson, S., Gregson, W., Goodman, C., & Eastwood, P. (2014). Sleep quantity and quality in elite youth soccer players: A pilot study. *European Journal of Sport Science*, 14(5), 410–417. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.843024>

Rosenbloom, P., & Newell, A. (1987). An Integrated Computational Model of Stimulus-Response Compatibility and Practice. *Psychology of Learning and Motivation-Advances in Research and Theory*, 21, 1–52.

Rowbottom. (2000). Periodization of training. In *Exercise and sport science* (pp. 499–512). https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Periodization+of+training&author=DG+Rowbottom&author=WE+DT+Garrett+Kirkendall&publication_year=2000&pages=499-514

Rožanov, S., Keren, O., & Karni, A. (2010). The specificity of memory for a highly trained finger movement sequence: Change the ending, change all. *Brain Research*, 1331, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.019>

Rubio-Valdehita, S., López-Higes, R., & Díaz-Ramiro, E. (2014). Academic Context and Perceived Mental Workload of Psychology Students. *The Spanish Journal of Psychology*, 17. <https://doi.org/10.1017/sjp.2014.57>

Ruiz-Gallardo, J.-R., Castaño, S., Gómez-Alday, J. J., & Valdés, A. (2011). Assessing student workload in Problem Based Learning: Relationships among teaching method, student workload and achievement. A case study in Natural Sciences. *Teaching and Teacher Education*, 27(3), 619–627. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2010.11.001>

Rupp, T. L., Wesensten, N. J., Bliese, P. D., & Balkin, T. J. (2009). Banking sleep: Realization of benefits during subsequent sleep restriction and recovery. *Sleep*, 32(3), 311–321. <https://doi.org/10.1093/sleep/32.3.311>

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2001). On happiness and human potentials: A review of research on hedonic and eudaimonic well-being. *Annual Review of Psychology*, *52*, 141–166. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.52.1.141>

S, W., Robert, & Daniel, G. (2019). *Foundations of Sport and Exercise Psychology, 7E*. Human Kinetics.

Sanz-Milone, V., Narciso, F. V., da Silva, A., Misuta, M., de Mello, M. T., & Esteves, A. M. (2021). Sleep of Wheelchair Rugby Athletes: Training, Rest and Competition. *International Journal of Sports Medicine*, *42*(2), 169–174. <https://doi.org/10.1055/a-1192-5845>

Sargent, C., & Roach, G. D. (2016). Sleep duration is reduced in elite athletes following night-time competition. *Chronobiology International*, *33*(6), 667–670. <https://doi.org/10.3109/07420528.2016.1167715>

Saw, A. E., Main, L. C., & Gastin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: Subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(5), 281–291. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>

Scanlan, A. T., Wen, N., Tucker, P. S., & Dalbo, V. J. (2014). The Relationships Between Internal and External Training Load Models During Basketball Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*(9), 2397–2405. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000458>

Schaal, K., Le Meur, Y., Louis, J., Filliard, J.-R., Hellard, P., Casazza, G., & Hausswirth, C. (2015). Whole-Body Cryostimulation Limits Overreaching in Elite Synchronized Swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *47*(7), 1416–1425. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000546>

Schwartz, J., & Simon, R. D. (2015). Sleep extension improves serving accuracy: A study with college varsity tennis players. *Physiology & Behavior*, *151*, 541–544. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.08.035>

Shapiro, C. M., Bortz, R., Mitchell, D., Bartel, P., & Jooste, P. (1981). Slow-Wave Sleep: A Recovery Period After Exercise. *Science*, *214*(4526), 1253–1254.

<https://doi.org/10.1126/science.7302594>

Shearer, D. A., Jones, R. M., Kilduff, L. P., & Cook, C. J. (2015). Effects of competition on the sleep patterns of elite rugby union players. *European Journal of Sport Science*, *15*(8), 681–686. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1053419>

Shochat, T., Cohen-Zion, M., & Tzischinsky, O. (2014). Functional consequences of inadequate sleep in adolescents: A systematic review. *Sleep Medicine Reviews*, *18*(1), 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2013.03.005>

Silva, A. C., Silva, A., Edwards, B. J., Tod, D., Souza Amaral, A., de Alcântara Borba, D., Grade, I., & Túlio de Mello, M. (2021). Sleep extension in athletes: What we know so far – A systematic review. *Sleep Medicine*, *77*, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.11.028>

Singleton, R. A., & Wolfson, A. R. (2009). Alcohol Consumption, Sleep, and Academic Performance Among College Students. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs*, *70*(3), 355–363. <https://doi.org/10.15288/jsad.2009.70.355>

Skazalski, C., Whiteley, R., & Bahr, R. (2018). High jump demands in professional volleyball-large variability exists between players and player positions. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *28*(11), 2293–2298. <https://doi.org/10.1111/sms.13255>

Skein, M., Duffield, R., Edge, J., Short, M. J., & Mündel, T. (2011). Intermittent-sprint performance and muscle glycogen after 30 h of sleep deprivation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *43*(7), 1301–1311. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31820abc5a>

Smart, D. J., Gill, N. D., Beaven, C. M., Cook, C. J., & Blazevich, A. J. (2008). The relationship between changes in interstitial creatine kinase and game-related impacts in rugby union. *British Journal of Sports Medicine*, *42*(3), 198–201. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.040162>

Smith, C. (2001). Sleep states and memory processes in humans: Procedural versus declarative memory systems. *Sleep Medicine Reviews*, *5*(6), 491–506. <https://doi.org/10.1053/smr.2001.0164>

Soligard, T., Schwellnus, M., Alonso, J.-M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., Gabbett, T.,

Gleeson, M., Hägglund, M., Hutchinson, M. R., Rensburg, C. J. van, Khan, K. M., Meeusen, R., Orchard, J. W., Pluim, B. M., Raftery, M., Budgett, R., & Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(17), 1030–1041. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096581>

Staresina, B. P., Alink, A., Kriegeskorte, N., & Henson, R. N. (2013). Awake reactivation predicts memory in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *110*(52), 21159–21164. <https://doi.org/10.1073/pnas.1311989110>

Staunton, C., Gordon, B., Custovic, E., Stanger, J., & Kingsley, M. (2017). Sleep patterns and match performance in elite Australian basketball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *20*(8), 786–789. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.016>

Stickgold, R., & Walker, M. P. (2007). Sleep-dependent memory consolidation and reconsolidation. *Sleep Med*, *8*(4), 331–343.

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using multivariate statistics, 5th ed.* Allyn & Bacon/Pearson Education.

Takarada, Y. (2003). Evaluation of muscle damage after a rugby match with special reference to tackle plays. *British Journal of Sports Medicine*, *37*(5), 416–419. <https://doi.org/10.1136/bjasm.37.5.416>

Takashima, A., Nieuwenhuis, I. L. C., Jensen, O., Talamini, L. M., Rijpkema, M., & Fernández, G. (2009). Shift from hippocampal to neocortical centered retrieval network with consolidation. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *29*(32), 10087–10093. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0799-09.2009>

Tambini, A., & Davachi, L. (2013). Persistence of hippocampal multivoxel patterns into postencoding rest is related to memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *110*(48), 19591–19596. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308499110>

Taylor, Bramoweth, A. D., Grieser, E. A., Tatum, J. I., & Roane, B. M. (2013). Epidemiology of Insomnia in College Students: Relationship With Mental Health, Quality of Life, and Substance

Use Difficulties. *Behavior Therapy*, 44(3), 339–348. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2012.12.001>

Taylor, Chapman, D. W., Cronin, J. B., Newton, M. J., & Gill, N. (2012). *FATIGUE MONITORING IN HIGH PERFORMANCE SPORT: A SURVEY OF CURRENT TRENDS*. 20(1), 13.

Taylor, S. R., Rogers, G. G., & Driver, H. S. (1997). Effects of training volume on sleep, psychological, and selected physiological profiles of elite female swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(5), 688–693.

Temesi, J., Arnal, P. J., Davranche, K., Bonnefoy, R., Levy, P., Verges, S., & Millet, G. Y. (2013). Does central fatigue explain reduced cycling after complete sleep deprivation? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(12), 2243–2253. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31829ce379>

Teng, E., Lastella, M., Roach, G., & Sargent, C. (2011). The effect of training load on sleep quality and sleep perception in elite male cyclists. In *Little Clock, Big Clock: Molecular to Physiological Clocks*.

Theodoropoulos, J. S., Bettle, J., & Kosy, J. D. (2020). The use of GPS and inertial devices for player monitoring in team sports: A review of current and future applications. *Orthopedic Reviews*, 12(1), 7863. <https://doi.org/10.4081/or.2020.7863>

Thomas, C., Jones, H., Whitworth-Turner, C., & Louis, J. (2021). A Sleep Analysis of Elite Female Soccer Players During a Competition Week. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(9), 1288–1294. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0706>

Thornton, H. R., Delaney, J. A., Duthie, G. M., & Dascombe, B. J. (2018). Effects of Preseason Training on the Sleep Characteristics of Professional Rugby League Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 176–182. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0119>

Thornton, H. R., Duthie, G. M., Pitchford, N. W., Delaney, J. A., Benton, D. T., & Dascombe, B. J. (2017). Effects of a 2-Week High-Intensity Training Camp on Sleep Activity of Professional Rugby League Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(7), 928–933. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0414>

Thornton, H. R., Miller, J., Taylor, L., Sargent, C., Lastella, M., & Fowler, P. M. (2018). Impact of short- compared to long-haul international travel on the sleep and wellbeing of national wheelchair basketball athletes. *Journal of Sports Sciences*, *36*(13), 1476–1484. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1398883>

Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2015). Monitoring Fatigue During the In-Season Competitive Phase in Elite Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(8), 958–964. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0004>

Turner, R. W., Vissa, K., Hall, C., Poling, K., Athey, A., Alfonso-Miller, P., Gehrels, J.-A., & Grandner, M. A. (2021). Sleep problems are associated with academic performance in a national sample of collegiate athletes. *Journal of American College Health*, *69*(1), 74–81. <https://doi.org/10.1080/07448481.2019.1655027>

Ungureanu, A. N., Brustio, P. R., Boccia, G., Rainoldi, A., & Lupo, C. (2021). Effects of Pre-session Well-Being Perception on Internal Training Load in Female Volleyball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(5), 622–627. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0387>

Vahdat, S., Fogel, S., Benali, H., & Doyon, J. (2017). Network-wide reorganization of procedural memory during NREM sleep revealed by fMRI. *Elife*, *6*, e24987. <https://doi.org/10.7554/eLife.249t37>

Van Dongen, H. P. A., Maislin, G., Mullington, J. M., & Dinges, D. F. (2003). The cumulative cost of additional wakefulness: Dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep*, *26*(2), 117–126. <https://doi.org/10.1093/sleep/26.2.117>

Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A., & Drust, B. (2017). Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sports Medicine*, *47*(11), 2135–2142. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0714-2>

Vitale, J. A., Banfi, G., Galbiati, A., Ferini-Strambi, L., & La Torre, A. (2019). Effect of a Night Game on Actigraphy-Based Sleep Quality and Perceived Recovery in Top-Level Volleyball Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(2), 265–269. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0194>

Viveiros, L., Costa, E. C., Moreira, A., Nakamura, F. Y., & Aoki, M. S. (2011). Training load monitoring in judo: Comparison between the training load intensity planned by the coach and the intensity experienced by the athlete. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, *17*, 266–269. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922011000400011>

Wachsmuth, S., Jowett, S., & Harwood, C. G. (2017). Conflict among athletes and their coaches: What is the theory and research so far? *International Review of Sport and Exercise Psychology*, *10*(1), 84–107. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1184698>

Walker, M. P. (2005). A refined model of sleep and the time course of memory formation. *Behavioral and Brain Sciences*, *28*(1), 51–64. <https://doi.org/10.1017/S0140525X05000026>

Walker, M. P., Brakefield, T., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2003). Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. *Nature*, *425*(6958), 616. <https://doi.org/10.1038/nature01930>

Walker, M. P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2002). Practice with Sleep Makes Perfect: Sleep-Dependent Motor Skill Learning. *Neuron*, *35*(1), 205–211. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)00746-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)00746-8)

Walker, M. P., & Stickgold, R. (2006). Sleep, memory, and plasticity. In *Annual Review of Psychology* (Vol. 57, pp. 139–166).

Wallace, L. K., Slattery, K. M., & Coutts, A. J. (2009). The Ecological Validity and Application of the Session-RPE Method for Quantifying Training Loads in Swimming. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *23*(1), 33–38. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181874512>

Walsh, N. P., Halson, S. L., Sargent, C., Roach, G. D., Nédélec, M., Gupta, L., Leeder, J., Fullagar, H. H., Coutts, A. J., Edwards, B. J., Pullinger, S. A., Robertson, C. M., Burniston, J. G., Lastella, M., Meur, Y. L., Hausswirth, C., Bender, A. M., Grandner, M. A., & Samuels, C. H. (2020). Sleep and

the athlete: Narrative review and 2021 expert consensus recommendations. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102025>

Wang, F., & Bíró, É. (2021). Determinants of sleep quality in college students: A literature review. *EXPLORE*, *17*(2), 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2020.11.003>

Waterhouse, J., Reilly, T., & Edwards, B. (2004). The stress of travel. *Journal of Sports Sciences*, *22*(10), 946–965; discussion 965–966. <https://doi.org/10.1080/02640410400000264>

Waterman, A. S. (1993). Two conceptions of happiness: Contrasts of personal expressiveness (eudaimonia) and hedonic enjoyment. *Journal of Personality and Social Psychology*, *64*(4), 678–691. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.64.4.678>

Watson, A. M. (2017). Sleep and Athletic Performance. *Current Sports Medicine Reports*, *16*(6), 413–418. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000418>

Whitworth-Turner, C. M., Di Michele, R., Muir, I., Gregson, W., & Drust, B. (2019a). Training load and schedule are important determinants of sleep behaviours in youth-soccer players. *European Journal of Sport Science*, *19*(5), 576–584. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1536171>

Whitworth-Turner, C. M., Di Michele, R., Muir, I., Gregson, W., & Drust, B. (2019b). Training load and schedule are important determinants of sleep behaviours in youth-soccer players. *European Journal of Sport Science*, *19*(5), 576–584. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1536171>

Wiig, H., Andersen, T. E., Luteberget, L. S., & Spencer, M. (2020). Individual Response to External Training Load in Elite Football Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *15*(5), 696–704. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0453>

Wild, C. J., Nichols, E. S., Battista, M. E., Stojanoski, B., & Owen, A. M. (2018). Dissociable effects of self-reported daily sleep duration on high-level cognitive abilities. *Sleep*, *41*(12). <https://doi.org/10.1093/sleep/zsy182>

Wilson, M., & Mcnaughton, B. (1994). Reactivation of Hippocampal Ensemble Memories During Sleep. *Science*, *265*(5172), 676–679. <https://doi.org/10.1126/science.8036517>

Wolfson, A. R., & Carskadon, M. A. (1998). Sleep Schedules and Daytime Functioning in

Adolescents. *Child Development*, 69(4), 875–887. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1998.tb06149.x>

Yeo, S. C., Tan, J., Lo, J. C., Chee, M. W. L., & Gooley, J. J. (2020). Associations of time spent on homework or studying with nocturnal sleep behavior and depression symptoms in adolescents from Singapore. *Sleep Health*, 6(6), 758–766. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2020.04.011>

Yotsumoto, Y., Watanabe, T., Chang, L.-H., & Sasaki, Y. (2013). Consolidated learning can be susceptible to gradually-developing interference in prolonged motor learning. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 7, 69. <https://doi.org/10.3389/fncom.2013.00069>

Youngstedt, S. D. (2005). Effects of Exercise on Sleep. *Clinics in Sports Medicine*, 24(2), 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2004.12.003>