



FACULDADE DE MEDICINA
UNIVERSIDADE D
COIMBRA

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA – TRABALHO FINAL

BRUNO MIGUEL FIGUEIREDO VALENTIM

Influência do sono na performance dos atletas

-ARTIGO DE REVISÃO-

ÁREA CIENTÍFICA DE MEDICINA DESPORTIVA

Trabalho realizado sob a orientação de:
PROFESSOR DOUTOR CARLOS FONTES RIBEIRO
MESTRE ALEXANDRE REBELO-MARQUES

MAIO 2020

INFLUÊNCIA DO SONO NA PERFORMANCE DOS ATLETAS: UMA REVISÃO NARRATIVA

-ARTIGO DE REVISÃO-

Dissertação do Mestrado em Medicina Desportiva da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, Portugal

Autores: Bruno Valentim, MD^{1,2}; Alexandre Rebelo-Marques, MD, MSc^{1,3}; Carlos Fontes Ribeiro, MD, PhD^{1,4}

¹ Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

² brunovalentimuc@gmail.com; Calçada São Sebastião, N°3, 3º direito, Olivais, 3000-375, Coimbra

³ alexrmarques@gmail.com; Azinhaga de Santa Comba, Celas, 3000-48, Coimbra

⁴ fontes.ribeiro@gmail.com; Laboratório de Farmacologia e Terapêutica Experimental, Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, Sub-unidade I - Pólo 3, Azinhaga de Santa Comba, Celas, 3000-548, Coimbra

MAIO 2020

Índice

1.	Lista de Abreviaturas	5
2.	Resumo	6
3.	Abstract	7
4.	Introdução	8
5.	Métodos	9
6.	Resultados	10
6.1.	Fisiologia do sono	10
6.2.	Performance / Desempenho anaeróbio.....	11
6.2.1.	Força e potência	11
6.2.2.	Sprint	13
6.3.	Performance / Desempenho aeróbio.....	14
6.3.1.	Endurance.....	14
6.4.	Performance / desempenho neuro-cognitivo.....	15
6.4.1.	Função executiva e tomada de decisão	16
6.4.2.	Atenção e Tempo de reação.....	17
6.4.3.	Precisão	18
6.4.4.	Aprendizagem e memória	18
6.4.5.	Humor.....	19
6.5.	Impacto do sono no risco de lesão e doença	19
6.6.	Impacto do sono no processo de recuperação	20
6.7.	Sestas.....	20
6.8.	Ciclo Circadiano e <i>jet lag</i>	22
6.9.	Recomendações para melhorar o sono em atletas.....	24
7.	Discussão	26
8.	Conclusões.....	29
9.	Agradecimentos	30
10.	Referências Bibliográficas.....	31

1. Lista de Abreviaturas

AMPc – Adenosina monofosfato cíclico

ATP – Adenosina trifosfato

EEG – Eletroencefalograma

IGF-1 – Insulin growth factor-1 ou somatomedina C

NREM – Movimentos Oculares Não Rápidos

REM --Movimentos Oculares Rápidos

SCM – Salto contramovimento

2. Resumo

Os atletas de elite apresentam, frequentemente, diminuição do tempo global de sono, principalmente os atletas estudantes.

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura mais importante relativa ao impacto do sono no desempenho dos atletas, assim como, sumarizar algumas recomendações para otimização dos hábitos de sono.

A revisão narrativa teve como base uma pesquisa bibliográfica alargada nas bases de dados PubMed e Embase, de modo a procurar artigos relacionados com o impacto do sono na performance dos atletas usando os seguintes termos MESH: *sleep* (sono), *elite* (elite), *competitive* (competitivo), *athlete* (atleta), *sport* (desporto), *player* (jogador), *performance* (performance). Foram incluídos artigos até dia 31 de março de 2020 em língua inglesa. Os artigos relevantes foram selecionados com base no título, resumo e, aquando necessário, da leitura integral do mesmo. A lista de referências bibliográficas dos estudos citados foi analisada de modo a acrescentar artigos adicionais relevantes e atuais não incluídos.

O sono, em particular o sono de movimentos oculares não rápidos (NREM) profundo tem como principal função a recuperação da vigília e fadiga, sendo uma fase de restauro fisiológico e recuperação energética. Por esse motivo, é uma das melhores estratégias de recuperação com impacto na cognição, capacidade executiva, aprendizagem, desenvolvimento, saúde mental e física. Portanto, o sono é considerado um forte preditor de desempenho.

Nos exercícios anaeróbios de força ou potência os atletas poderão superar a privação de sono aguda por compensação psicológica, mas no que toca ao sprint a privação de sono aparenta reduzir o desempenho e a extensão melhora-lo, principalmente por influência dos tempos de reação. A privação de sono influencia negativamente o desempenho dos atletas de *endurance*, sendo que o papel da extensão de sono ainda carece de mais estudos para uma melhor caracterização.

O ritmo circadiano humano tem influência no desempenho máximo do atleta e varia de forma sinusoidal ao longo do dia, apresentando um pico máximo ao final da tarde. O fenómeno do jet lag pode influenciar negativamente o ritmo circadiano normal afetando o desempenho físico e cognitivo.

O sono é considerado vital para a saúde e bem-estar do ser humano e, no caso particular dos atletas, a evidência aqui revista demonstra que assume uma importância extra devido ao seu impacto ao nível do desempenho atlético ideal.

Palavras-Chave: Atletas, Benefícios, Performance, Ritmo Circadiano, Sono.

3. Abstract

Elite athletes often experience decreased global sleep time, especially student athletes. Sleep is important for health and well-being and is fundamental for physiological and cognitive functioning.

The objectives of this work are to review the most important literature on the impact of sleep on athlete's performance, as well as to formulate some recommendations for optimizing sleep habits.

The narrative review was based on an extensive bibliographic research in the PubMed and Embase databases in order to search articles related to the impact of sleep on the athlete's performance using the following MESH terms: sleep, elite, competitive, athlete, sport, player and performance. English articles were included until March 31, 2020. The relevant articles were selected based on the title, abstract and full reading. The list of bibliographic references was analyzed in order to add additional relevant and current articles.

Sleep, in particular deep sleep of non-rapid eye movements (NREM), has the main function of recovering wakefulness and previous fatigue status and it's important to physiological restoration and energy recovery. For this reason, the sleep is one of the best recovery strategies with an impact on cognition, executive ability, learning, development, mental and physical health. Therefore, sleep is considered a strong predictor of performance.

In anaerobic exercises of strength or power, athletes can be able to overcome acute sleep deprivation with psychological compensation, but with regard to sprint, sleep deprivation appears to reduce performance, but sleep extension can improve it, mainly due to the influence on reaction times. Sleep deprivation influences negatively the performance of endurance athletes and the role of sleep extension still lacks further investigation for better description.

The human circadian rhythm influences the athlete's maximum performance and varies sinusoidally throughout the day, having a maximum peak in the evening. The phenomenon of jet lag can influence negatively the normal circadian rhythm affecting physical and cognitive performance.

Sleep is considered vital for the health and well-being of human beings and, in particular for athletes, the evidence reviewed here demonstrates that it takes on extra importance due to its impact on the level of ideal athletic performance.

Keywords: Athletes, Benefits, Performance, Circadian Rhythm, Sleep.

4. Introdução

O sono é definido como um estado de inconsciência reversível. Este estado, do ponto de vista fisiológico global, caracteriza-se por uma diminuição da atividade eletromiográfica da musculatura voluntária, olhos fechados, diminuição da atividade sensorial e capacidade reativa a estímulos externos, diminuição da frequência cardíaca e respiratória.¹

A duração do sono é apenas um componente da sua avaliação e a quantidade ideal varia de indivíduo para indivíduo ao longo da vida, diminuindo gradualmente desde que nascemos até a idade adulta. A quantidade ideal de sono para os atletas ainda não está bem definida, no entanto, sabe-se que os atletas podem precisar de mais sono do que a população em geral para recuperação e assimilação de processos e gestos de treino.^{2,3} De acordo com a Academia Americana de Medicina do Sono, os adultos necessitam 7 a 9 horas de sono e os adolescentes entre 8 a 10 horas.^{4,5}

Os atletas de elite apresentam, frequentemente, diminuição do tempo global de sono, seja por compromissos com a comunicação social, calendarização dos treinos muito cedo ou competições muito tarde, socialização noturna com recurso a dispositivos eletrónicos, controlos anti-doping, viagens com alteração de fuso horários, pré e pós excitação das competições.^{3,6,7} Num estudo⁸ com 632 atletas alemães, 65,8% referiam ter tido pelo menos uma vez, uma noite de sono pior do que o habitual antes de uma competição, sendo a “dificuldade em adormecer” o principal problema em 79,9% dos casos. Adicionalmente os atletas referiam não terem qualquer estratégia para melhorar o seu sono, apresentando conseqüentemente sonolência diurna. Num outro estudo, com 124 atletas de vários desportos (coletivos e individuais) concluiu-se que os atletas dormiam em média 6,5 a 6,8 horas, bem menos dos que as 8 horas recomendadas.⁷ Esta problemática torna-se ainda mais grave nos atletas-estudantes, pois precisam de conciliar a sua atividade desportiva com a letiva.⁹

O sono, em particular o sono NREM profundo tem como principal função a recuperação da vigília e fadiga, sendo uma fase de restauro fisiológico e recuperação energética, por esse motivo, é considerado parte integrante do processo de recuperação com impacto no desempenho, cognição, aprendizagem, desenvolvimento, saúde mental e física.^{1,2,10,11}

O sono é considerado por muitos um forte preditor de desempenho, isto porque, um atleta em privação de sono pode ter a sua função cerebral prejudicada, comprometendo a tomada de decisão, levando a um aumento do tempo de reação, diminuição da capacidade executiva e precisão.¹²⁻¹⁴ Assim, um número cada vez maior de investigadores considera o sono como um das melhores estratégias de recuperação e a privação de sono poderá estar fortemente relacionada com um aumento do risco de doença e lesões desportivas traumáticas.¹⁴⁻¹⁶

Este trabalho é importante, uma vez que, estamos constantemente em busca de ferramentas que permitam melhorar a performance, saúde e bem-estar dos nossos atletas e o sono aparentemente será uma delas, embora o seu verdadeiro impacto ainda não seja totalmente claro, bem como as estratégias de o rentabilizar como potenciador de desempenho. Os objetivos deste trabalho são rever e estruturar a informação mais importante e atual relativa ao impacto do sono na performance dos atletas, assim como, formular algumas recomendações para otimização dos hábitos de sono.

5. Métodos

Os métodos utilizados no trabalho seguiram o modelo utilizado para as revisões narrativas, tendo sido realizada uma pesquisa bibliográfica alargada nas bases de dados PubMed e Embase, de modo a procurar artigos relacionados com o impacto do sono na performance dos atletas. A pesquisa bibliográfica incluiu artigos até 31 de março de 2020 em língua inglesa. Com base na resposta ao objetivo, a estratégia de pesquisa utilizou operadores booleanos AND (E) e OR (OU) e os seguintes termos MESH: *sleep* (sono), *elite* (elite), *competitive* (competitivo), *athlete* (atleta), *sport* (desporto), *player* (jogador), *performance* (performance). Os termos foram combinados da seguinte forma: *sleep AND (elite OR competitive OR athlete OR sport OR player) AND performance*. A pesquisa resultou em 300 artigos, dos quais 84 foram selecionados aqueles considerados relevantes com base no título e resumo. Estes artigos potencialmente relevantes foram lidos na íntegra de modo a averiguar a sua elegibilidade de acordo com os seguintes critérios de inclusão: (I) variáveis de performance influenciadas objetivamente pelo sono; (II) revisões narrativas e sistemáticas, meta-análises, recomendações e consensos, estudos randomizados e controlados, estudos de coorte e séries de casos relacionados com sono e performance. E critérios de exclusão: (i) comentários ou opiniões de peritos; (ii) confundidores como variáveis dos indivíduos que possam influenciar resultados, como antecedentes psiquiátricos ou neurológicos, patologias do sono; (iii) estudos em animais; (iv) artigos com duplicação de amostra (i.e., estudos que reportem resultados da mesma amostra populacional).

Após a leitura integral desses 84 artigos, foram excluídos 23, ficando um total de 61 artigos selecionados para incluir na revisão. A lista de referências bibliográficas dos estudos citados, foi analisada de modo a identificar e acrescentar estudos adicionais relevantes.

6. Resultados

6.1. Fisiologia do sono

A fisiologia humana baseia-se frequentemente na ritmicidade, nomeadamente o ritmo circadiano como mediador de vários ciclos fisiológicos.¹⁷ Um ciclo basilar desta ritmicidade circadiana é, sem dúvida, o ciclo sono-vigília, este permite o restauro fisiológico e a recuperação energética durante o sono e o despertar para o estado de vigília.^{17,18}

O ritmo circadiano é regulado pelo núcleo hipotalâmico supraquiasmático e geralmente dura um pouco mais do que 24 horas. Este é modulado pela luz (via o trato reticulohipotalâmico) e atividade física (via folheto intergeniculado) que influenciam diretamente os níveis de cortisol e melatonina.¹⁹

Do ponto de vista da atividade cerebral registada no eletroencefalograma (EEG) o sono apresenta dois estados. O sono com movimentos oculares rápidos (REM) caracterizado pela presença predominante de ondas rápidas e de baixa voltagem (Gama e Teta) semelhantes às observadas durante a vigília (Fig.1). Esta fase do sono está associada à consolidação de memórias, desenvolvimento neuronal, processamento sensorial e aprendizagem de habilidades motoras.^{1,20}

O sono NREM que por sua vez se subdivide em 4 estágios (N1, N2, N3, N4) caracteriza-se pela presença predominante de ondas lentas, sobretudo ondas Delta (Fig.1). Esta fase do sono está associada ao desempenho cognitivo.^{1,20}

O sono humano inicia-se em sono NREM progredindo em profundidade nos seus estágios N1, N2, N3 até N4 mudando depois para sono REM (Fig.1). O sono alterna entre NREM e REM cerca de quatro a cinco vezes por noite em ciclos que duram aproximadamente 90 minutos, sendo que cerca de 75% do total do sono é passado em NREM.²⁰

Do ponto de vista hormonal, sabe-se que a hormona de crescimento desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e reparação muscular e óssea, sendo uma hormona fundamental para a recuperação atlética.²¹ Segundo Venter *et al.*²² 95% da produção da hormona de crescimento é libertada pela glândula pituitária no sistema endócrino no estágio 3 (N3) do sono NREM.²²

O exercício físico é um stress fisiológico e, como tal, um ativador do eixo endócrino adrenal, sendo o cortisol e a testosterona os mais estudados.²¹ O cortisol é uma hormona catabólica que inibe a secreção de fatores de crescimento como o fator de crescimento semelhante à insulina 1 (IGF-1), inibe a síntese e estimula a degradação proteica. A testosterona é uma hormona anabólica e em resposta ao stress do exercício resistido promove a síntese proteica, contribuindo para a hipertrofia muscular.²³ À semelhança de outras, os níveis destas hormonas seguem um ritmo circadiano e, este é sensível à privação de sono. A privação de sono está associada a um aumento da secreção de cortisol e alteração dos padrões de secreção da testosterona o que pode comprometer o equilíbrio anabólico e catabólico.^{21,24}

Uma das principais hormonas envolvidas no ciclo sono-vigília é a melatonina. Embora alguns autores²⁵ apontem que o exercício pode reduzir a sua secreção, o seu verdadeiro impacto ainda não é consensual, pois existem resultados contraditórios de estudos realizados em condições muito díspares. Contudo, segundo Escames *et al.*²⁶ o impacto do exercício nos ritmos da melatonina aparenta depender

da intensidade da iluminação, da proximidade do exercício com o início ou o declínio da produção circadiana de melatonina, da duração e intensidade do exercício, assim como, da hora do dia.

Do ponto de vista metabólico, a privação crônica de sono poderá alterar o metabolismo dos hidratos de carbono e a sensibilidade à glicose, afetando o apetite e reposição de glicogénio. Estes fatores podem desequilibrar o estado nutricional do atleta, culminando em diminuição da seu desempenho desportivo.²⁷⁻²⁹ Por outro lado, a privação de sono também está associada a um aumento das citocinas pró-inflamatórias prejudicando o sistema imunitário, impedido uma correta reparação dos danos musculares e provocando diminuição do limiar de dor.³⁰

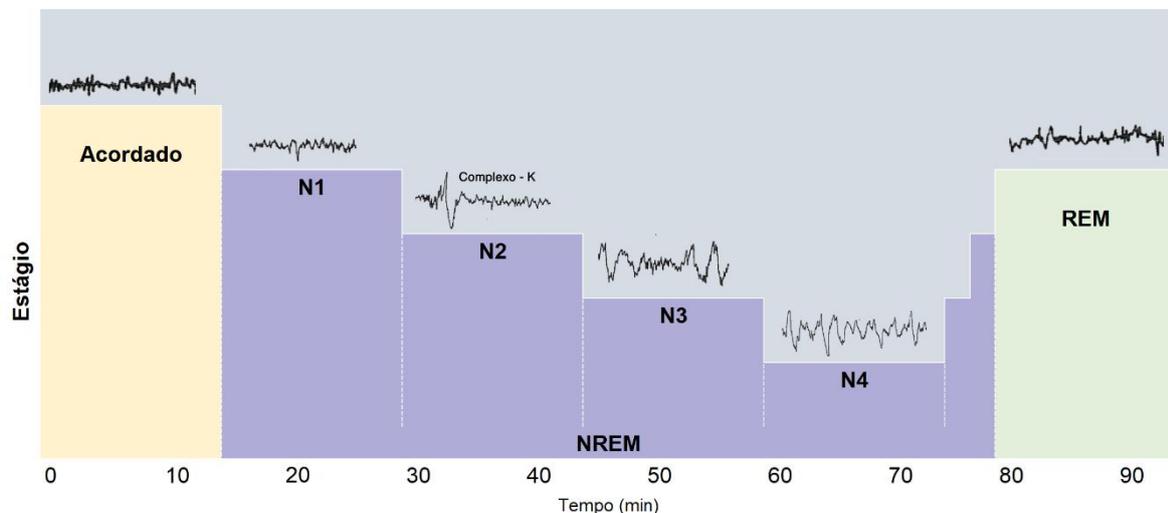


Figura 1 Esquemática gráfica da profundidade do sono e respetivas ondas de EEG predominantes para o estado de vigília, estágios de sono NREM (N1,N2,N3,N4) e sono REM. Adaptado de Purves *et al.*³¹

6.2. Performance / Desempenho anaeróbio

6.2.1. Força e potência

A privação de sono estimula a secreção de hormonas catabólicas, como por exemplo o cortisol, que promovem a degradação proteica das fibras musculares.²³ Enquanto que o treino resistido sustentado ativa as vias moleculares de síntese proteica e permite aumentar a massa muscular, pois é um estímulo à secreção hormonal de testosterona, hormona de crescimento e IGF-1.^{23,32}

A massa muscular esquelética resulta de um equilíbrio entre síntese e degradação proteica (anabolismo e catabolismo) das fibras musculares, portanto se houver alterações no sono que perturbem este equilíbrio hormonalmente mediado, pode levar a uma diminuição da adaptação do músculo esquelético ao exercício resistido e reduzir a força muscular e a potência dos atletas.²⁴

A evidência dos principais estudos relativos à privação total ou parcial de sono no desempenho anaeróbio de força ou potência ainda não é clara. Relativamente à privação total de sono, existem estudos que demonstram que interfere com o desempenho de força e potência, como é exemplo do estudo³³ com 11 atletas de rugby, em que se demonstrou que uma privação total de sono entre 2 jogos da liga de rugby leva a uma redução da distância máxima do salto contramovimento (SCM) até 16 horas após o segundo jogo, quando comparado com uma noite de sono normal de 8 horas. Por outro lado, há estudos que referem que a privação total de sono tem um efeito neutro no desempenho de força e potência, como é o caso do estudo de Blumert *et al.*³⁴ onde foi realizado um protocolo de levantamento de pesos máximos de estilo olímpico, num grupo de 9 atletas, após uma privação de sono de 24 horas. A privação de sono levou a um prejuízo dos níveis de vigor, fadiga, confusão, humor e sonolência, porém, não foram encontradas diferenças significativas para nenhuma das variáveis de desempenho. De forma semelhante, o mesmo se demonstrou para a altura de salto vertical.³⁵ Knufinke *et al.*³⁶ demonstraram que a quantidade de sono profundo e sono REM não apresenta associação significativa com o desempenho anaeróbio em saltos verticais, SCM e testes potência.

Relativamente, à privação parcial de sono, Souissi *et al.*³⁷ demonstraram que este interfere com o desempenho de força e potência, quando aplicou a 12 judocas uma privação parcial de sono de 4 horas no início ou no final da noite e posteriormente submetidos a avaliações com teste *Wingate* no período da manhã e da noite, tendo-se verificado uma redução da potência média e de pico em ambos os períodos relativamente à noite de referência. A redução foi mais significativa quando a restrição do sono foi no final da noite e o teste *Wingate* ao final do dia. Reilly *et al.*³⁸ demonstraram que apesar de uma privação parcial de sono pode-se manter o desempenho máximo ao nível da força e potência, no entanto, influencia negativamente os exercícios submáximos de repetição. Cook *et al.*³⁹ demonstraram este efeito, num estudo duplamente cego, com 16 atletas de rugby, divididos num grupo sem restrição de sono (8 ou mais horas) e num grupo com restrição (6 ou menos horas), em que realizaram 4 séries de elevação de peso (supino, agachamento e com pernas dobradas) submáximo e uma repetição máxima. Os atletas com privação parcial de sono apresentaram uma diminuição estatisticamente significativa da carga total elevada.

Contundo, alguns estudos apresentam resultados contraditórios, demonstrando que a privação parcial de sono tem um efeito neutro no desempenho de força e potência. Abedelmalek *et al.*⁴⁰ submeteram 12 jogadores de futebol do sexo masculino a uma privação parcial de sono de 4 horas numa noite (início ou final da noite), realizaram testes *Wingate* no período da manhã e da tarde do dia seguinte. Não se verificaram diferenças estatisticamente significativas no desempenho dos jogadores relativamente à condição de sono, mas houve diferenças quanto ao período do dia, em que o teste foi realizado. No período da tarde a potência máxima no teste *Wingate* foi significativamente maior.

Estes estudos demonstram que a evidência não é clara, com alguns estudos a apontarem resultados contraditórios. No entanto, os atletas poderão conseguir desempenho máximo em exercícios únicos e superar a privação de sono aguda por um mecanismo de compensação psicológica (motivação).^{18,34} Enquanto que em exercícios repetidos e persistentes, aparentemente, não serão capazes de manter os níveis máximos, por perda da motivação devido ao efeito cumulativo da fadiga, após a restrição do sono.^{18,34}

6.2.2. Sprint

Num exercício de alta intensidade como o sprint, o consumo de adenosina trifosfato (ATP) é muito elevado, sendo as reservas musculares pequenas e limitadas, pelo que precisam de ser rapidamente repostas. Num sprint de poucos segundos, as duas principais fontes de ATP são a fosfocreatina pela via anaeróbia alática, mas esgota-se em cerca de 10 segundos e a via glicolítica anaeróbia do glicogénio muscular (via anaeróbia láctica) que resulta em produção e acumulação de ácido láctico, inviabilizando esta via em poucos minutos.⁴¹ Em exercícios deste tipo, tal como a fonte energética, o tempo de reação do atleta ao sinal de partida é primordial.

Uma vez que, o sono é um restaurador fisiológico e recuperador energético da fadiga, longas horas de vigília juntamente com várias séries de exercícios, podem comprometer as capacidades neuropsicológicas, assim como, as reservas musculares e cerebrais de glicogénio e consequentemente o desempenho.

Este efeito é muito bem caracterizado no estudo realizado por Skein *et al.*²⁷, onde foi avaliado o desempenho de 10 atletas a realizar exercícios de velocidade intermitente (sprints intermitentes durante 50 minutos e um sprint máximo de 15 metros a cada minuto) juntamente com as reservas de glicogénio muscular ao longo de quatro dias. Nos dois primeiros dias tiveram um sono normal e posteriormente foram privados totalmente de sono durante 30 horas. Globalmente, os atletas privados de sono apresentaram tempos médios progressivamente mais lentos e percorreram uma menor distância média e total durante os sprints. As concentrações de glicogénio muscular também foram menores antes e após o exercício, na medição do segundo dia de restrição de sono comparativamente com as medições antes e após o exercício do primeiro dia sem privação de sono.

Desta forma, uma boa higiene do sono ou mesmo uma extensão do sono em atletas poderá melhorar o seu desempenho em sprints tal como demonstra um estudo⁴² com 11 atletas de basquetebol que ao longo de 5 a 7 semanas fizeram uma extensão de sono tanto maior quanto possível, garantindo pelo menos um mínimo de 10 horas de sono. O tempo de sprint de 282 pés, diminuiu significativa e progressivamente até ao final da experiência (16,2 segundos vs. 15,5 segundos, $p < 0,001$) assim como os tempos de reação ($p < 0,001$). Para além disso, os atletas reportaram melhoria das classificações nos treinos e jogos, assim como, no seu bem-estar físico e mental. Este efeito benéfico da extensão do sono foi corroborado por Waterhouse⁴³ que implementou uma sesta de 30 minutos após a hora de almoço em 10 indivíduos não atletas com uma privação parcial de sono de 4 horas na noite anterior. Os resultados demonstraram uma melhoria dos tempos de sprint de 2 metros ($p = 0,031$), 20 metros ($p = 0,013$) e nos tempos de reação ($p < 0,05$). Por outro lado, um estudo³⁵ com 11 atletas em privação aguda de sono de 24 horas não revelou diferenças estatisticamente significativas nos resultados de testes Illinois (avalia agilidade e velocidade) e testes de corrida vaivém de 5 metros entre a privação de sono e a noite referência.

Estes estudos indicam que a restrição de sono parece reduzir o desempenho no sprint, mesmo com os atletas a aplicar o mesmo grau de esforço, este fato pode estar relacionado com diminuição das reservas de glicogénio mesmo antes de iniciar o exercício e com o aumento dos tempos de reação. Por outro lado, a extensão de sono parece trazer alguns benefícios no desempenho do sprint principalmente

por influência dos tempos de reação, sendo que este efeito positivo parece ser cumulativo ao longo dos dias em que se aplica a extensão de sono.

6.3. Performance / Desempenho aeróbio

6.3.1. Endurance

À medida que a distância/tempo de um exercício aumenta, as fontes de energia e as vias metabólicas usadas alteram a proporção da sua contribuição para a produção de ATP, sendo que a fosforilação oxidativa de ácidos gordos se torna cada vez mais importante. No limite, em provas de muito longa duração, como é o caso de uma maratona, para além do consumo do glicogénio muscular e das reservas de glicogénio a nível do hepatócito é necessário recorrer à oxidação dos ácidos gordos a partir do grande reservatório energético do ser humano, o adipócito. A geração de ATP pela oxidação dos ácidos gordos é essencial para um exercício aeróbio/*endurance*, no entanto, é bastante mais lento do que a glicogenólise, pelo que, um maratonista necessita de um equilíbrio entre o consumo de glicogénio e oxidação de ácidos gordos ao longo da prova para manter o seu ritmo.⁴¹

Uma vez que, o sono é um recuperador energético, longas horas de vigília juntamente com várias horas de treino, podem alterar a sensibilidade à glicose afetando a reposição de glicogénio, influenciando negativamente o desempenho, principalmente em provas de *endurance* onde é necessário que as reservas energéticas estejam totalmente optimizadas.^{27,28}

Os mecanismos responsáveis pela influência do sono no desempenho não são todos bem conhecidos, no *endurance*, a maioria das pesquisas anteriores demonstrou que a privação de sono pode influenciar negativamente o desempenho, provavelmente por um aumento da perceção do esforço.²⁴

Este efeito foi comprovado por Robert *et al.*⁴⁴ num estudo desenhado para simular as exigências psicofisiológicas de provas de *endurance* como o ciclismo de estrada ou triatlo, em que 13 atletas treinados completavam um aquecimento submáximo e cumpriam aproximadamente 1 hora no ciclo ergómetro até completar um valor de energia previamente calculado com um protocolo incremental que determinava o seu limiar anaeróbio. Estas medições foram efetuadas em condições normais de sono e em dois dias consecutivos com uma privação total de 25 horas. Após a privação de sono os atletas diminuíram o desempenho em 10% (mais 5 minutos para completar o protocolo) e aumentaram a perceção relativa de esforço, não alterando, contudo, a frequência cardíaca média. No mesmo sentido, Azboy *et al.*⁴⁵ demonstraram que uma noite de privação de sono provoca uma diminuição do tempo até a exaustão ($p < 0,01$) no ciclo ergómetro, assim como, aumento do consumo de O₂ e expiração de CO₂ em repouso.

Enquanto que o efeito da extensão de sono no desempenho de exercícios como sprint ou desportos que envolvam técnica está melhor caracterizado o seu impacto em atletas de *endurance* encontra-se ainda muito pouco explorado, no entanto, os resultados dos estudos existentes parecem promissores. Roberts *et al.*⁴⁶ demonstraram com três grupos de atletas treinados divididos pela duração de sono

(duração de sono normal, restrição de 30% de sono e extensão de 30% sono), estes tinham de cumprir aproximadamente 1 hora no ciclo ergómetro até completar a energia previamente calculada para determinar o seu limiar anaeróbio. O grupo com extensão de sono, ao fim da terceira noite, apresentava uma melhoria no desempenho de 3% (menos 2 minutos para completar protocolo) enquanto que, o grupo com restrição diminuiu o desempenho em 3%. Não se verificaram diferenças na percepção relativa de esforço comparativamente com a condição de sono. Verificou-se que os efeitos benéficos da extensão de sono foram cumulativos ao longo dos dias e, tal como outros estudos, foram evidentes apenas quando o sono teve uma duração superior a 8 horas.

Estes estudos indicam que a fadiga neuromuscular e cardiorrespiratória explica apenas parcialmente as alterações na percepção de esforço, sendo esta também influenciada pelo estado neuropsicológico que por sua vez é influenciado pela condição de sono. O exercício aeróbio/*endurance* é um exercício que requer um grande desgaste neuropsicológico, pelo que, podemos inferir que aparentemente a privação de sono terá um efeito deletério e a extensão algum efeito benéfico no desempenho. Se por um lado, a privação de sono tem um impacto na percepção relativa de esforço, o impacto da extensão de sono ainda carece de mais estudos para uma melhor caracterização.

6.4. Performance / desempenho neuro-cognitivo

As funções do sono são amplamente estudadas, porém a sua importância para os atletas, ainda não se encontra completamente descrita. Sabe-se que as consequências da privação do sono, permitem tirar determinadas conclusões, nomeadamente, que este é fundamental para o bem-estar e saúde dos atletas.⁴⁷

Muitas das alterações cognitivas que ocorrem na sequência de um sono inadequado parecem estar associadas com processos de memória e aprendizagem que resultam da intervenção do hipocampo. Assim, a privação de sono pode afetar o hipocampo, a plasticidade neuronal e processamento da memória ao alterar a atividade da adenosina monofosfato cíclico (AMPC), que irá ter impacto na transcrição, sinalização e expressão dos recetores de glutamato, contribuindo para o aparecimento de distúrbios cognitivos.⁴⁷ Estes efeitos negativos do sono terão implicações na resposta imune e inflamatória, pelo que o sono têm impacto na saúde e sensação de bem-estar.⁴⁷

Quando o sono é inadequado parece haver redução do metabolismo (em comparação com o estado de repouso) no tálamo, cerebelo, córtex da região pré-frontal, parietal posterior e temporal.⁴⁸ As reduzidas taxas de metabolismo nestas regiões foram correlacionadas com um desempenho cognitivo reduzido.^{49,50}

O sono inadequado demonstrou influenciar negativamente diversas variáveis de desempenho físico e cognitivo, nomeadamente ao nível da atenção, precisão e capacidade de aprendizagem. Até à data vários estudos investigaram os efeitos da perda de sono na função cognitiva e reportaram um desempenho cognitivo mais lento e menos preciso.²⁴ De facto, em vários estudos verificaram-se consequências cognitivas do sono inadequado na grande maioria dos aspetos funcionais, tais como o tempo de reação, precisão, motricidade fina, força submáxima, memória, tomada de decisão e, até

mesmo, maior variação no humor.^{24,29} Tanto a privação parcial como total de sono, mostraram comprometer a velocidade de transmissão de impulsos a partir do cérebro para os músculos, afetando os reflexos e tempos de reação.⁴⁷

Numerosos estudos reportaram que quando o sono é reduzido para menos de 7 horas em adultos saudáveis, o desempenho cognitivo é pior em testes de alerta, tempo de reação, memória e tomada de decisão. Para além disso, verificou-se níveis elevados de sonolência, depressão, confusão e alterações do humor.²⁴ Além disso, uma revisão de Frank e Benington⁵¹ identificou várias teorias da função do sono incluindo a teoria do desenvolvimento cognitivo do sono que supõe que o sono tem um papel vital na aprendizagem, memória e plasticidade sináptica.

O pico de desempenho dos atletas, particularmente durante as competições requer um funcionamento neuro cognitivo ótimo. O sono insuficiente, mostrou em vários estudos, afetar a função neuro cognitiva em vários domínios do desempenho atlético, incluindo atenção, função executiva e aprendizagem.⁵²

6.4.1. Função executiva e tomada de decisão

A função executiva é o domínio mais importante para o desempenho atlético durante uma competição e inclui a capacidade de aplicar determinada estratégia, fazer decisões e manter a atenção.⁵² A privação de sono afeta a função executiva, particularmente em tarefas que requerem pensamento e aprendizagem. O controlo inibitório ou a habilidade de fazer decisões impulsivas e arriscadas é também fundamental para o desempenho dos atletas, sendo afetado negativamente pela perda de sono em apenas uma noite.⁵²

O desempenho sensoriomotor refere-se à capacidade de acoplar informações sensoriais e saídas motoras de forma dinâmica e contínua, pelo que o sistema sensoriomotor é essencial no desempenho desportivo e resulta de uma interação estreita entre o indivíduo e o meio ambiente em que está inserido. O sono, nomeadamente os eixos, as ondas lentas e estágio REM, pode melhorar o desempenho sensoriomotor, através da remodelação sináptica de regiões cerebrais ativas no desempenho de determinadas tarefas.⁵³

A privação e interrupção do sono podem diminuir o vigor, aumentar a depressão, sonolência e confusão. Estes estados negativos têm sido associados com excesso de treino, que podem conduzir a fadiga psicológica e comprometer a atividade física que exija alta motivação.⁵⁴ Além disso, a fadiga psicológica parece criar um estado neuro cognitivo prejudicial para qualquer tomada de decisão ideal (por exemplo, jogos de bola em equipa) ou manter um alto nível de motivação (por exemplo, correr uma maratona).²⁴ Por outro lado, vários estudos de extensão da duração do sono mostraram benefícios na execução de várias tarefas.^{40,42}

6.4.2. Atenção e Tempo de reação

Numerosos estudos mostraram que a perda de sono tem um impacto negativo na atenção embora haja diferenças interindividuais.⁵⁵ Dunican *et al.*⁵⁶ quantificaram os hábitos de sono e a atenção dos jogadores, durante os treinos e jogos de uma equipa profissional de rugby (n=33). Concluíram que os jogadores selecionados para jogar, comparativamente com os que não foram selecionados, aumentaram progressivamente a duração do sono (despertar mais tardio), nos dias anteriores ao jogo, provavelmente para aumentar a atenção, que se verificou ser superior neste grupo de jogadores.

Vários estudos de extensão da duração do sono em atletas mostraram benefícios no tempo de reação.^{42,57} Como exemplo da sensibilidade da função cognitiva à disrupção do sono, o tempo de reação simples mostrou aumentar após uma hora de restrição de sono por duas noites e quatro horas de restrição de sono por cinco noites. De facto, o tempo de reação aumenta mesmo após pequenas alterações da qualidade e duração do sono, pelo que é pertinente que atletas que dependam deste componente, tenham ótimas condições de sono antes das competições.²⁴ Para muitos atletas, a privação total de sono e o sono fragmentado são motivos de preocupação, pois os atletas dependem da capacidade de tomar decisões rápidas e precisas para executar habilidades de forma eficaz e otimizar o seu desempenho.⁵⁸

Num estudo de Swinbourne *et al.*⁵⁹ demonstraram que após uma intervenção na extensão do sono, durante o treino de pré-temporada de uma equipa profissional de rugby, houve uma pequena redução no tempo médio de reação ($\pm 4,3\%$; $3,1\%$) e no tempo mais rápido de 10% ($3,3\%$; $2,9\%$) e aumento moderado nos 10% mais lentos ($11,7\%$; $7,2\%$). Um outro estudo de competição de fragatas¹³, na qual o sono é realizado por períodos curtos de tempo, de forma a manter o desempenho e segurança, comparou através de um teste simples os tempos de reação de 12 velejadores antes e após as corridas. Este estudo demonstrou que a privação de sono levou à degradação dos tempos de reação e sugere que o planeamento e gestão do sono durante regatas pode melhorar o desempenho de corrida.

O funcionamento neuro-cognitivo é afetado pelo sono inadequado. A privação parcial e total de sono, demonstraram comprometer a velocidade de transmissão dos impulsos cerebrais para os músculos, o que afeta o tempo de reação.⁴⁷ Indivíduos com alterações agudas do sono, apresentam tempos de reação e velocidade de processamento mais lentos, dificuldades na atenção e em habilidades visoespaciais.⁹

Neste contexto, Jarray *et al.*⁶⁰ verificaram que 4 horas de privação parcial de sono no final da noite (os atletas dormiram das 22h às 3h), diminuía a atenção e aumentava os tempos de reação ($593 \pm 8,27\text{ms}$) nos 12 atletas de handebol, quando comparado com as 8h de sono ($398,28 \pm 4,91\text{ms}$). Num outro estudo o tempo médio de reação também se mostrou diminuído, após uma noite de privação total de sono ($281,65 \pm 31\text{ms}$), quando comparado com uma noite habitual de sono ($244 \pm 39\text{ms}$) em atletas universitários.⁶¹

Estes estudos indicam que o sono interfere com os tempos de reação, sendo que a restrição afeta negativamente e a extensão positivamente.

6.4.3. Precisão

A privação de sono e até mesmo pequenas restrições, mostraram afetar a precisão de forma consistente e há estudos que mostram a melhoria da mesma após otimização do sono.⁵⁵ A interrupção do sono diminui o raciocínio lógico, a capacidade de decisão e eficácia de filtragem. A velocidade e precisão com que as tarefas são executadas, são afetadas negativamente.²⁴

Edwards et al ⁶². demonstram este efeito de aumento da fadiga e diminuição da precisão, após privação parcial de sono, num grupo de 60 jogadores de um desporto cuja exigência neurocognitiva e da precisão é máxima, ou seja, em lançadores de dardos. Estes resultados levaram os investigadores a concluir que a privação parcial aguda do sono, diminuí o desempenho psicomotor.

Alguns estudos com jogadores de ténis sob privação parcial de sono demonstram diminuição da precisão do serviço em mais de 53%, enquanto que a extensão de 1,6 horas de sono um aumento de 36% a 41% na precisão de serviço.^{63,64} No caso de basquetebolistas, um aumento de 6,6 horas para 8,5 horas por noite durante 5-7 semanas associou-se com um aumento de 9% na precisão do lance.⁴²

6.4.4. Aprendizagem e memória

A capacidade de aprender novas habilidades é essencial para os atletas de alto rendimento. O sono aumenta a consolidação de memórias e permite um melhor desempenho e mais rápida aprendizagem de tarefas que requerem execução física. Desta forma, é particularmente importante no desenvolvimento tático do treino atlético e em atletas estudantes que têm de conciliar as exigências desportivas e académicas.^{52,55}

Muitos estudos focam-se nos efeitos da privação do sono na plasticidade cerebral e memória, demonstrando que o sono tem um efeito poderoso na aprendizagem inicial e na consolidação de memórias a longo prazo. O sono é responsável pela estabilização e aprimoramento da memória, consolidação e integração de informação.^{24,47} Embora a maioria dos estudos de função cognitiva e memória, sejam conduzidos em não atletas é possível inferir os impactos do sono insuficiente na aprendizagem e desenvolvimento dos atletas. Isto pode ser particularmente relevante em atletas que aprendem novas habilidades e estratégias de jogos de equipa.⁴⁷

A compreensão do efeito da privação de sono na memória não é consensual, com alguns autores a relatar que diminui a memória a curto prazo, enquanto outros relatam não haver diferenças significativas. Porém, embora seja improvável que a memória afete a execução de uma determinada habilidade motora, esta pode afetar a compreensão de determinada tática ou posicionamento.²⁴ Verificou-se em vários estudos que existem períodos semelhantes de atividade no EEG entre períodos de sono vigília e sono REM, pelo que foi proposto que a alta atividade neuronal durante esta fase do sono está associada com a consolidação de memória e aprendizagem de habilidades motoras.²¹ Desta forma, parece suficiente para afirmar que, após sessões de treino, os atletas devem ter um sono adequado, pois a aprendizagem perceptiva e motora continuam no sono subsequente.²⁴

6.4.5. Humor

O sono inadequado influencia a regulação emocional, e pode causar vários transtornos de humor e, até mesmo, vulnerabilidade para a psicopatologia.⁴⁷ Existem diversos estudos que referem o aumento do risco para impulsividade e ansiedade após privação do sono, porém a influência destas alterações nos atletas ainda carece de mais estudos.⁴⁷ Concluindo, a perda de sono tem efeitos negativos em determinadas medidas de bem-estar, nomeadamente na fadiga, humor, depressão, confusão e dor.⁵⁵

6.5. Impacto do sono no risco de lesão e doença

Os atletas de elite têm como objetivo atingir o mais alto desempenho, durante o maior tempo possível, tendo geralmente carreiras curtas, devido ao risco de desgaste inerente à profissão.¹⁴ Segundo Copenhaver¹⁶, um dos maiores riscos de lesão, prende-se com o sono inadequado, que não só aumenta o tempo de reação, como também pode conduzir a distúrbios cognitivos. Indivíduos com privação de sono apresentam maior risco de doenças agudas e crónicas, bem como lesões desportivas. Quando os atletas estão fatigados não só aumenta o potencial para lesão, como também aumenta o número de erros nas decisões e nos treinos.¹⁶ O sono adequado pode ser facilmente comprometido, particularmente, em atletas estudantes, devido ao exigente horário.

Assim, diversos estudos demonstraram que atletas adolescentes que dormem menos de 8 horas por noite, têm maior risco de lesão (segundo Milewski *et al.*⁶⁵ 1,7 vezes superior), e que o sono é importante na recuperação e segurança dos atletas, especialmente após noites de privação de sono.¹⁶ Por outro lado, a privação de sono exacerba a depressão e ansiedade, que por sua vez também estão associadas a maior risco de lesões.¹⁴

Mah *et al.*⁶⁶ avaliaram o efeito da restrição de sono, nos atletas, ao longo de 3 dias consecutivos, a nível do salto máximo e coordenação articular. Concluiu que as alterações do sono afetam o desempenho e coordenação dos membros inferiores, ao aumentar a variabilidade da coordenação das articulações coxofemoral e joelho. Um outro estudo em 182 atletas jovens (18-22 anos) de elite, que decorreu num período de 4 anos, mostrou que o humor, duração de sono (mas não qualidade), stress e exigências académicas foram os que mais contribuíram para a lesão.⁶⁷

Estes achados sugerem que a diminuição do estado de alerta, secundário ao sono inadequado, afeta tarefas dinâmicas, o que pode implicar um pior desempenho e aumento de risco de lesão dos atletas.⁶⁶

6.6. Impacto do sono no processo de recuperação

Atualmente está bem estabelecido que a recuperação tem um papel muito importante nos atletas. Durante as competições, os atletas de elite podem mesmo dedicar a maior parte do seu tempo à recuperação, quando comparado com o tempo de treino.⁶⁸

Segundo Nédélec *et al.*¹¹ a fadiga após as competições são multifatoriais e podem resultar da desidratação, depleção de glicogénio, lesão muscular e fadiga mental. Muitas estratégias como a hidratação, dieta e sono são eficazes na recuperação.¹¹ Na literatura vários estudos em atletas de voleibol e futebol concluíram que o sono adequado, dieta saudável, técnicas mentais, imersão em água fria e terapia com laser podem melhorar a recuperação.^{11,69}

O sono é essencial na recuperação dos atletas.¹¹ A eficácia das intervenções para melhorar o sono (protocolos de higiene de sono e extensão do sono) parecem vantajosas, mas requerem mais investigação nos desportos coletivos. A pobre qualidade de sono e a sua privação, provocam alterações cognitivas que podem afetar direta e indiretamente a recuperação.⁶⁸ Estudos demonstraram que o sono é a melhor forma de recuperação para os atletas de elite, principalmente em atletas adolescentes.¹⁶ Durante o sono NREM a pituitária secreta hormona de crescimento, há uma diminuição no consumo de oxigénio, aumento da síntese de proteínas e transporte de ácidos gordos livres, processos estes que têm um papel importante na regeneração e reparação tecidual.¹⁶ Alterações do sono também se associam com o aumento de citocinas pró-inflamatórias (IL-6, PCR), que são agentes facilitadores da dor, que afetam o sistema imunitário, atrasando a reparação e recuperação musculares.¹⁴ Por outro lado, a nutrição também tem um papel importante na prevenção de lesão e recuperação. Indivíduos que se deitam mais tarde, tendem a ingerir mais hidratos de carbono, gorduras e proteínas.⁶⁸

A utilização de técnicas de recuperação é uma área relativamente nova no desporto. A identificação da melhor estratégia de recuperação, nos desportos coletivos, depende da análise de parâmetros individuais, interação entre os treinadores, fisioterapeutas e médicos, para otimização do tratamento dos atletas. De facto, a compreensão da fadiga em diferentes desportos coletivos, monitorização da carga de treino oferecem dados relevantes sobre práticas e métodos de recuperação mais adequados, para que se possam desenvolver protocolos para otimizar da recuperação dos atletas, preservar a sua saúde e prevenir lesões recorrentes.⁶⁸

6.7. Sestas

Dormir é uma necessidade fisiológica e é importantíssimo para a recuperação e desempenho dos atletas.^{70,71} Nos adultos saudáveis é aconselhável dormir cerca de 8 horas por dia, de forma a prevenir défices neurocomportamentais. Porém, os atletas de elite geralmente dormem menos do que o recomendado. Assim, as sestras podem ser uma oportunidade para compensar o défice de sono.⁷¹

A área de estudo das sestras nos atletas permanece subvalorizada e requer investigação mais aprofundada.²¹ A importância do sono noturno está bem documentada para o bem-estar e desempenho dos atletas, mas mais recentemente a literatura tem refletido sobre os seguintes aspetos: a sesta é

comum entre os atletas de elite; as sestas diurnas podem melhorar o desempenho desportivo; as sestas podem resultar de uma tentativa de compensação devido à privação de sono.⁷²

As sestas são uma medida comportamental, na tentativa de aliviar a privação de sono, sendo o período da tarde o mais frequente, provavelmente devido à queda do estado de alerta circadiano.^{21,73} Vários autores sugerem que há duas durações ideais para as sestas que são: menos de 20 minutos (reduz a probabilidade de acordar durante o sono de ondas lentas)⁷³ ou 90 minutos (permite um ciclo de sono completo, NREM e REM).⁷⁴ As sestas no período diurno são comuns nos atletas de alto rendimento. Gupta *et al.*⁷² comparou a latência de sono diurno neste tipo de atletas (n=10) e indivíduos não atletas (n=10). A sonolência foi avaliada usando a escala de sonolência Karolinska às 14 horas, 14 horas e 30 minutos e imediatamente antes da sesta de 20 minutos às 15 horas. As latências foram medidas por polissonografia, sendo definidas como o tempo entre o apagar das luzes e qualquer estágio de sono (N1, N2, N3 e REM). Os atletas mostraram latência de sono menores ($p < 0,05$), o que é consistente com o facto de nos atletas de elite, o comportamento de sesta poder refletir que estes têm maior tendência fisiológica de sono, tanto em ambientes conhecidos como desconhecidos.

Existem numerosos estudos que sublinham os benefícios das sestas nos atletas, nomeadamente Waterhouse *et al.*⁴³ mostram que a sesta dos atletas melhora o tempo de sprint de adultos masculinos jovens, no mesmo sentido, os estudos de O'Donnell *et al.*^{21,75} mostraram que as sestas melhoram a velocidade de salto e desempenho subjetivo em atletas de *netball*, assim como, o desempenho cognitivo em atletas de elite do sexo masculino. Um outro estudo⁷¹ avaliou a eficácia da sesta diurna na suplementação do sono noturno de atletas, em que doze jogadores de futebol completaram de forma aleatória uma das três condições seguintes: 9 horas na cama à noite, sem sesta diurna (9h+0h); 8 horas na cama durante a noite, com uma sesta diurna de 1 hora (8h+1h); e 7 horas na cama durante a noite, com uma sesta diurna de 2 horas (7h+2h). A quantidade de sono total foi obtida por polissonografia e foi semelhante nos três grupos. Também se verificaram semelhanças nas ondas lentas e no sono REM, os quais, contribuem para a restauração do sistema nervoso e metabólico. Assim, pode-se concluir que a sesta diurna é útil para complementar o sono noturno dos atletas, especialmente quando este é afetado por exigências relativas aos treinos e competições.

Por outro lado, outros estudos sugerem que a extensão de sono tem efeitos mais benéficos sobre o desempenho dos atletas, quando comparado com as sestas, higiene de sono e estratégias de recuperação pós-exercício, uma vez que estas últimas têm resultados mistos.⁷⁰ Suppiah *et al.*⁷⁶ pesquisou o efeito de uma breve sesta à tarde, no desempenho de atletas asiáticos de elite que habitualmente dormiam pouco, em que no primeiro grupo de estudo monitorizaram a variabilidade da frequência cardíaca durante um exercício de tiro ao alvo e no segundo avaliaram o desempenho num sprint de 20 metros. Em ambos os estudos foram obtidas medidas de sonolência e alerta. Os resultados obtidos indicam efeitos variáveis das sestas nas medidas de desempenho. A sesta não teve efeito no desempenho de tiro e teve um efeito negativo no sprint dos 20 metros, provavelmente devido à inércia provocada pelo sono. Assim, se concluiu que é necessária cautela no que toca ao aconselhamento de sestas nos atletas adolescentes.⁷⁶

Atualmente a evidência sugere que as sestas que são realizadas mais tarde no dia e em intervalos de tempo apropriados, após o exercício físico, podem influenciar positivamente a mentalidade dos

atletas, nomeadamente para a realização de tarefas subsequentes. Outros estudos sugerem que se um atleta espera vir a ter um sono prejudicado (por exemplo, vai realizar uma longa viagem antes de uma grande competição), pode beneficiar de uma extensão intencional do sono nos dias anteriores.⁷⁷ Porém, sesta de 20 minutos também podem ser demasiado curtas para influenciar o desempenho entre pessoas privadas de sono e, também, podem ter um efeito negativo no sono das noites seguintes.⁷⁰

6.8. Ciclo Circadiano e *jet lag*

Frequentemente, os atletas viajam através de zonas com múltiplos fusos horários, com o objetivo de competir em locais, que são distantes e diferentes do ambiente a que estão habituados.¹⁹ Desta forma, essas viagens podem comprometer a saúde e desempenho dos atletas devido às exigências fisiológicas e psicológicas necessárias à adaptação ao novo horário e clima.¹⁹ Quando os atletas viajam longas distâncias, através de múltiplos meridianos (3 ou mais fusos horários diferentes) pode ser induzido um síndrome conhecido como *jet lag*, que resulta de alterações do ritmo circadiano.¹⁹

A grande maioria dos componentes que influenciam o desempenho desportivo, tais como, flexibilidade, força muscular e potência variam com a altura do dia, de forma sinusoidal e com um pico máximo ao final da tarde, próximo da altura em que a temperatura corporal é maior.⁷⁸ A temperatura corporal apresenta um pico entre as 17-18 horas e é mínima pelas 4-6 horas, tendo sido sugerido que o desempenho é menor nesta altura (Fig.2).^{19,78}

As diferenças interindividuais no ciclo circadiano são pequenas, mas relevantes, sendo os ritmos circadianos maiores em amplitude nos indivíduos atletas, quando comparado com os sedentários.⁷⁸

Em termos circadianos e relativamente ao ritmo cardiovascular, a frequência cardíaca varia numa amplitude de 5-15% nas 24 horas e é extremamente influenciada por fatores exógenos como sono, postura, alimentação e exercício físico. Alguns estudos mostram que a pressão arterial diminui após o almoço e volta a aumentar à tarde.⁷⁸ Quanto ao ritmo ventilatório, Atkinson⁷⁸ demonstrou que os asmáticos apresentam variações na resistência da via aérea ao longo do dia, com maior risco de exacerbação dos sintomas de asma à noite e de manhã, pelo que estes atletas devem evitar treinos muito cedo. No ritmo metabólico, o controlo glicémico é influenciado por múltiplos fenómenos metabólicos, havendo picos correspondentes às três refeições diurnas e um quarto pico no final do sono. Para além disso, as variações nas catecolaminas circulantes, afetam o consumo de oxigénio.⁷⁸ No ritmo gastrointestinal, a motilidade intestinal e a secreção enzimática são maiores de dia.⁷⁸ Quanto à secreção hormonal, o cortisol e hormona de crescimento têm vários picos durante o sono, sendo altamente afetados por este. Já os níveis de adrenalina e noradrenalina atingem o pico no início da tarde.⁷⁸ Há estudos que sugerem que a flexibilidade e rigidez também têm um ritmo circadiano, sugerindo que a rigidez de articulações, como o joelho, são menores na altura do dia em que a temperatura corporal é maior, ou seja, no final da tarde.⁷⁸

Há evidência de que a fase do dia afeta o desempenho, com vários estudos a sugerir que este aumenta da manhã para a tarde e final do dia (Fig. 2). Desportos que envolvem técnica (tais como o badminton, ténis e futebol), parecem ter um desempenho máximo à tarde e atividades que dependem mais do exercício anaeróbio e força têm melhor desempenho ao final do dia.¹⁷ Em alguns estudos as variações diurnas no desempenho físico foram parcialmente atribuídas a flutuações da temperatura central, concluindo que pequenas variações podem diminuir o desempenho físico em até 5,1% em atletas.⁷⁹ Relativamente ao desempenho psicomotor e habilidades motoras parece haver um menor tempo de reação no final da tarde, coincidente com o aumento da temperatura. Contudo, com a diminuição do tempo de reação, pode haver diminuição da precisão que também é menor nesta fase do dia.⁷⁸ Outros estudos referentes à força muscular, verificaram maior resposta mecânica, com maior contração muscular durante o período da tarde, talvez devido à maior resposta do neurónio motor à estimulação.^{79,80} Porém, é importante realçar que as variações diurnas no desempenho físico podem ser influenciadas por numerosos fatores, tais como, idade, nível de treino, experiência, nutrição e higiene de sono.⁷⁹

Vários estudos,^{17,79} verificaram que exercícios de curta duração e alta intensidade, apresentam melhor desempenho quando realizados à tarde (16-20h), comparativamente com a manhã (6-10h). A título de exemplo, Mhenni *et al.*⁸¹ verificaram que o aperto máximo da mão dominante, velocidade de arremesso da bola e velocidade na mudança de direção em jogadores de andebol, foram superiores ao final da tarde, quando comparados com o período da manhã. Ou em provas de sprint de 5 a 20 metros, os atletas também apresentaram melhor desempenho nesse período.⁷⁹ Estes resultados sugerem que o treino matinal baseado no condicionamento (especialmente treino anaeróbio explosivo) pode melhorar o desempenho máximo, que se encontra diminuído pela manhã e diminuir assim a amplitude do ritmo diurno.⁷⁹

Os principais fatores que afetam os atletas que viajam incluem a exposição à luz, ciclo sono-vigília, temperatura central e produção de melatonina.¹⁹ Os efeitos do jet-lag estão presentes mesmo em casos de diferença de uma hora, mas são substanciais a partir das 3 horas. O jet lag pode influenciar negativamente o humor, sono, apetite, desempenho físico e cognitivo ao interferir no ritmo circadiano normal.^{19,82}

Apesar dos atletas apresentarem, com frequência, os sintomas de jet lag, são necessários mais estudos para determinar as consequências nefastas no desempenho dos mesmos.⁷⁸ Thornton *et al.*⁸³ concluíram que viajar longas distâncias de avião tem maior impacto em aspetos subjetivos (fadiga e vigor) do que parâmetros objetivos medidos no sono. Por outro lado, o desempenho anaeróbio parece ser mais resistente aos efeitos agudos da privação do sono, enquanto que tarefas com exigências cognitivas elevadas, são mais suscetíveis, bem como o risco de lesão dos atletas, sugerindo uma diminuição na flexibilidade.¹⁹

Num estudo realizado numa equipa de futebol profissional, durante a taça do mundo de 2014, examinou-se os efeitos de 19 horas de viagem de avião por 11 fusos horários diferentes. A duração de sono reduziu durante a viagem, a noite após a chegada e houve um agravamento da capacidade funcional, fadiga, bem-estar no primeiro dia após a mesma. Embora o ciclo de sono e vigília pareçam normalizar após a viagem, o jet lag permanece aumentado por cerca de cinco dias. Apesar de não se

verificar diferenças na duração do treino e carga, observou-se uma redução na sensação de bem-estar na semana após a viagem. Assim, as viagens de longo curso podem reduzir a aptidão dos jogadores e ainda não é claro o impacto no desempenho nos treinos e competição subsequentes.⁸⁴

Desta forma, é aconselhável que os atletas que fazem viagens transmeridianas, cheguem ao destino dias antes da competição e introduzam incrementos ou decrementos de 1 hora de sono para resincronizar o ritmo circadiano e reduzir os sintomas indesejáveis. As realizações de sestas de 20-30 min também estão recomendadas. Por outro lado, a mudança dos horários de treino antes da viagem pode ser vantajosa ao tentar sincronizar com o novo fuso horário e aumentar a capacidade mental para lidar com a fadiga e desconforto. A desidratação também deve ser prevenida, pelo que os atletas devem beber 15-20 ml por cada hora de voo e evitar álcool, café, chá ou bebidas estimulantes.¹⁹

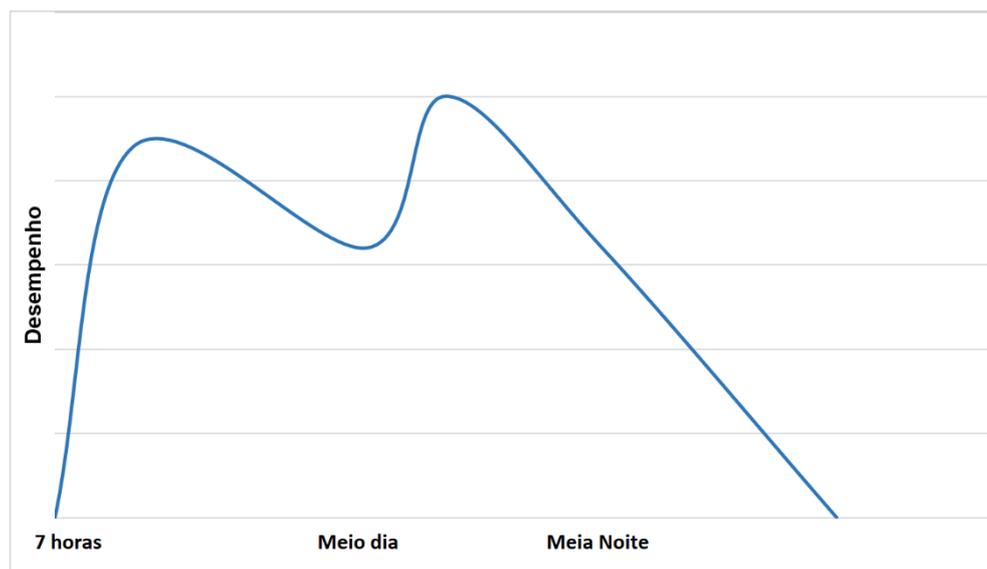


Figura 2 Ritmo circadiano e desempenho por fase do dia. O desempenho ao longo do dia varia de acordo com o ritmo circadiano, com picos de desempenho a meio da manhã e no final da tarde. Diminuições no desempenho são notadas a meio da tarde. Adaptado de Malhotra *et al.*⁸⁵

6.9. Recomendações para melhorar o sono em atletas

Os atletas apresentam frequentemente diminuição do tempo global de sono, principalmente se forem atletas estudantes.⁸⁶ Se por um lado, as sestas e a extensão de sono apresentam resultados promissores, embora ainda careçam de mais investigação para estabelecer o seu real impacto em algumas áreas, por outro lado, os efeitos negativos da privação de sono encontram-se globalmente bem estabelecidos, pelo que é fundamental que os atletas tenham uma boa higiene de sono (Tabela 1). Para além consensos de peritos de várias instituições⁸⁷ recomendam mesmo, aumentar a duração normal de sono em duas horas, tendo como meta os atletas de elite dormirem 9 horas, pois aparentemente o risco será baixo e o potencial benefício elevado, embora o mais importante será sempre individualizar as estratégias a cada atleta.

Tabela 1 Recomendações para uma boa higiene do sono em atletas.^{52,88}

Recomendações para uma boa higiene do sono em atletas
Manter o horário de sono o mais estável e constante possível.
Rotinas de relaxamento regulares na hora de deitar (Leitura, banho quente)
Expor-se a luz brilhante intensa durante o dia, sobretudo de manhã e evitar à noite
Manter o quarto fresco, escuro e confortável
Evitar estimulantes como a cafeína, nicotina e bebidas energéticas pelo menos 6 horas antes de deitar
Evitar álcool, principalmente próximo da hora de deitar
Não usar dispositivo eletrónicos pelo menos 1 hora antes de dormir
Evitar olhar frequentemente para o relógio em caso de insónia
Se sofre de insónias, evitar sestas, principalmente superiores a 1 hora e depois das 15 horas
Usar a cama apenas para dormir e intimidade sexual
Em caso de viagens com alteração de fuso horário, ponderar fazer incrementos ou decrementos de 1 hora de sono por dia antes da viagem
Durante as viagens evitar desidratação, ruído, inatividade física, alterações no padrão e horários alimentares
Identificar distúrbios de sono precocemente

7. Discussão

Ao longo desta revisão apresentamos resultados de estudos com uma grande diversidade de desportos, métodos, protocolos de investigação e conclusões, o que permite, retirar algumas ilações sobre o impacto do sono em diferentes domínios do desempenho atlético. Alguns autores indicam o sono como um forte preditor de desempenho global, uma vez que, um atleta em privação de sono pode ter o seu desempenho físico e função neurocognitiva diminuída, comprometendo o seu tempo de reação, precisão, capacidade executiva e aprendizagem.^{12-14,24,52} Estes efeitos deletérios verificaram-se tanto para a privação parcial como total de sono.⁴⁷ Alguns estudos, demonstraram que até pequenas privações de sono podem afetar a precisão de forma consistente.⁵⁵ Por outro lado, a extensão de sono mostrou, em vários estudos, melhorar a precisão, assim como, o tempo de reação.^{42,57}

O treino é essencial para os atletas, pois é o momento onde aprendem ou aperfeiçoam novas habilidades. O sono aumenta a consolidação de memórias e permite um melhor desempenho e mais rápida aprendizagem de tarefas que requerem execução física. As ondas lentas e o estágio REM, podem melhorar o desempenho sensoriomotor, através da remodelação sináptica de regiões cerebrais ativas durante o desempenho de determinadas tarefas.⁵³ Desta forma, é particularmente importante uma boa higiene do sono, principalmente em atletas estudantes que precisam conciliar exigências desportivas e académicas.^{52,55}

Num ambiente competitivo, as exigências sobre os atletas são máximas, pois dentro da diversidade das modalidades desportivas, do ponto de vista cognitivo os atletas estão obrigados a várias tomadas de decisão em resposta ao processamento de uma multiplicidade de estímulos e interpretações do ambiente inseridos. Essas tomadas de decisão frequentemente resultam em saídas motoras, pelo que, o sistema sensoriomotor deve estar no seu desempenho máximo, uma vez que, será a diferença entre um bom posicionamento, correta interpretação tática ou execução de um gesto técnico de forma perfeita.²⁴ No limite, pode até ser a diferença entre a vitória ou a derrota, ou do ponto de vista físico, a origem de um movimento com risco de lesão.¹⁶ Segundo alguns autores, um dos maiores riscos de lesão, é precisamente o sono inadequado, devido ao aumento do tempo de reação e distúrbios cognitivos. Para além disso, indivíduos com privação de sono apresentam maior risco de doenças agudas e crónicas.^{16,66}

Quanto ao impacto do sono no desempenho anaeróbio de força ou potência a evidência não é clara, com alguns estudos a apontarem resultados contraditórios. No entanto, parece ser consensual de que os atletas neste tipo de exercício poderão superar a privação de sono aguda por compensação psicológica (motivação), conseguindo desempenho máximo em exercícios únicos.^{18,34} Já em exercícios submáximos, repetidos e persistentes, não serão capazes de manter os níveis máximos, por perda da motivação devido ao efeito cumulativo da fadiga, após a restrição de sono.^{18,34}

No que toca ao sprint a privação de sono aparenta reduzir o desempenho, enquanto que a extensão de sono aparenta melhorá-lo, principalmente por influência dos tempos de reação. Embora a investigação neste domínio ainda seja breve, o efeito benéfico da extensão de sono parece ser cumulativo ao longo dos dias em que se aplica a extensão de sono.⁴²

Apesar dos responsáveis pela influência do sono no desempenho não serem todos bem conhecidos, no *endurance*, podemos concluir que a privação de sono pode influenciar negativamente o desempenho. Tal facto, pode dever-se a um aumento da percepção do esforço, uma vez que, a fadiga neuromuscular e cardiorrespiratória apenas explicam parcialmente as alterações na percepção do mesmo, sendo esta também influenciada pelo estado neuropsicológico, que por sua vez, é influenciado pela condição de sono.²⁴ O impacto da extensão de sono no desempenho em termos de *endurance* ainda carece de mais estudos para uma melhor caracterização.

Relativamente ao sono como estratégia de recuperação, alguns estudos demonstraram que o sono adequado é mesmo a melhor forma de recuperação para os atletas de elite, principalmente atletas adolescentes.¹⁶ As causas de fadiga após as competições são múltiplas e podem resultar da desidratação, depleção de glicogénio, lesão muscular e fadiga mental, pelo que, para além de estratégias como a hidratação, dieta equilibrada, o sono deve ser contemplado como uma estratégia eficaz na recuperação.¹¹ A verdadeira eficácia da utilização de protocolos de higiene e extensão de sono em desportos coletivos ainda carece de mais investigação. Contudo, a sua aplicação envolve baixo risco e os potenciais benefícios são elevados.⁸⁷ Nesses protocolos, podem ser contempladas as sextas como estratégia para compensar o défice de sono, embora a sua investigação ainda seja subvalorizada e pouco aprofundada.^{21,71}

No desempenho atlético, para além da preparação e recuperação para obter o rendimento máximo devemos de ter em conta o ritmo circadiano do atleta, pois a grande maioria dos componentes que influenciam o desempenho desportivo, tais como, flexibilidade, força muscular e potência variam com a altura do dia, de forma sinusoidal e com um pico máximo ao final da tarde, próximo da altura em que a temperatura corporal é maior.⁷⁸ No mundo desportivo, as viagens são uma realidade frequente e podem ser fonte de desregulação do ritmo circadiano, num fenómeno denominado jet lag. Os efeitos do jet lag estão presentes mesmo em casos de diferença de uma hora, mas são substanciais a partir das 3 horas. O jet lag pode influenciar negativamente o humor, sono, apetite, desempenho físico e cognitivo, ao interferir no ritmo circadiano normal.^{19,82}

Existem inúmeros desafios na elaboração de estudos que investiguem o efeito da privação do sono e dos ritmos circadianos no desempenho atlético, portanto, esta revisão contém algumas limitações, principalmente pela dificuldade em comparar estudos e as respetivas conclusões, por vezes contraditórias. Isto deve-se ao facto de as amostras serem frequentemente de pequenas dimensões, aplicadas em desportos diferentes e em condições muito heterogéneas.

Posto isto, existe necessidade de investigações futuras com amostras de maiores dimensões e estudos com protocolos rigorosos de forma a eliminar potenciais fatores de confusão, tais como, qualidade e quantidade de sono, iluminação, tipo de exercício, nível atlético dos participantes e suplementação. As investigações futuras poderão aprofundar o impacto da privação, extensão de sono e sextas nas diferentes áreas de desempenho e adicionalmente descobrir novos fatores causais relacionados com aumento da lesão e privação de sono.

Esses estudos, para além de investigarem o impacto do sono a nível do desempenho físico e neuropsicológico de forma individualizada, poderão fazê-lo de forma combinada com o objetivo de correlacioná-los e perceber melhor a sua influência conjunta no desempenho. Ao nível da extensão de

sono, os protocolos deverão ser mais prolongados e perceber melhor o eventual efeito cumulativo, por outro lado, nos protocolos sobre privação de sono, para nos aproximarmos mais da realidade e sermos menos exigentes para com os participantes, deve-se dar primazia a protocolos com privação parcial de sono, por vez da privação total. A monitorização da qualidade do sono deverá ser mais completa do que apenas avaliar a duração do sono, devendo incluir os tempos de latência, eficiência, perturbações e eventualmente novas variáveis.

Estas novas investigações futuras deverão contribuir para a construção e validação de ferramentas que nos permita no futuro determinar as necessidades de sono de forma personalizada ao atleta, exercício/desporto praticado e calendário competitivo com vista a potenciar a sua recuperação e desempenho, à imagem de protocolos bem estabelecidos em outras áreas como alimentação, crioterapia, cargas e tipos de treino.

8. Conclusões

Até ao momento atual ainda há muito para investigar na área do sono, nomeadamente, da sua importância para os atletas e os efeitos da privação e extensão do mesmo. Porém, é possível concluir, com a evidência aqui revista, que o sono tem um papel extremamente importante nas diferentes áreas do desempenho atlético ideal. Devido às grandes exigências na calendarização dos treinos e competições, assim como a influência de fatores ambientais, as estatísticas sugerem que muitos atletas de elite, principalmente atletas estudantes, não têm a qualidade nem a quantidade de sono recomendados. Do ponto de vista cognitivo, isso pode ter implicações no tempo de reação, precisão, capacidade executiva, memória, aprendizagem e humor. Desta forma, à medida que se compreende mais e melhor o papel multifacetado do sono no desempenho neurocognitivo e neuromotor do ser humano, os atletas, treinadores e departamentos médicos terão mais ferramentas e dados para realizarem intervenções apropriadas e individualizadas de forma a potenciar o desempenho de cada atleta.

9. Agradecimentos

A minha mensagem de agradecimento dirige-se a todos que tornaram esta tese de mestrado possível, nomeadamente:

Ao meu orientador Professor Doutor Carlos Alberto Fontes Ribeiro pela disponibilidade e profissionalismo.

Ao meu coorientador Dr. Alexandre Rebelo-Marques pelo auxílio, acompanhamento no trabalho, motivação e estímulo intelectual.

Ao Dr. Renato Andrade pela disponibilidade e acompanhamento na realização deste trabalho.

À minha esposa Ana Sofia Valentim, pelo companheirismo, colaboração e apoio incondicional, sendo sempre uma fonte de motivação e inspiração.

A toda a minha família principalmente aos meus pais e irmã pelo apoio incondicional e tolerância da minha ausência de vários momentos familiares.

À Dra. Rosália Pereira e Dra. Carla Venâncio pelo apoio, compreensão e paciência, como orientadoras de formação específica.

A todos, que acabo de mencionar, quero deixar os meus mais sinceros agradecimentos.

10. Referências Bibliográficas

1. R. Zielinski M, T. McKenna J, W. McCarley R. Functions and Mechanisms of Sleep. *AIMS Neurosci.* 2016;3(1):67–104.
2. Leeder J, Glaister M, Pizzoferro K, Dawson J, Pedlar C. Sleep duration and quality in elite athletes measured using wristwatch actigraphy. *J Sports Sci.* 2012;30(6):541–5.
3. Sargent C, Lastella M, Halson SL, Roach GD. The impact of training schedules on the sleep and fatigue of elite athletes. *Chronobiol Int.* 2014;31(10):1160–8.
4. Conference C, Nathaniel P, Badr MS, Belenky G, Grandner MA, Kushida C, et al. Recommended Amount of Sleep for a Healthy Adult: A Joint Consensus Statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society. *J Clin Sleep Med.* 2015;11(6):591–2.
5. Paruthi S, Brooks LJ, Ambrosio CD, Hall WA, Kotagal S, Lloyd RM, et al. Consensus Statement of the American Academy of Sleep Medicine on the Recommended Amount of Sleep for Healthy Children: Methodology and Discussion. *J Clin Sleep Med.* 2016;12(11):1553–61.
6. Khalladi K, Farooq A, Souissi S, Herrera CP, Chamari K, Taylor L, et al. Inter-relationship between sleep quality, insomnia and sleep disorders in professional soccer players. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2019;5(1):1–7.
7. Lastella M, Roach GD, Halson SL, Sargent C. Sleep/wake behaviours of elite athletes from individual and team sports. *Eur J Sport Sci.* 2015;15(2):94–100.
8. Erlacher D, Ehrlenspiel F, Adegbesan OA, El-Din HG. Sleep habits in German athletes before important competitions or games. *J Sports Sci.* 2011;29(8):859–66.
9. Brauer AA, Athey AB, Ross MJ, Grandner MA. Sleep and Health Among Collegiate Student Athletes. *Chest [Internet].* 2019;156(6):1234–45. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.08.1921>
10. TAYLOR SR, ROGERS GG, DRIVER HS. Effects of training volume on sleep, psychological, and selected physiological profiles of elite female swimmers. *Med Sci Sport Exerc.* 1997;29(5):688–93.
11. Nédélec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. Recovery in soccer: Part II- recovery strategies. *Sport Med.* 2013;43(1):9–22.
12. Killgore WDS. Effects of sleep deprivation on cognition. In: *Progress in Brain Research [Internet].* Belmonte: Elsevier B.V.; 2010. p. 105–29. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-53702-7.00007-5>

13. Hurdie R, Van Dongen HPA, Aron C, McCauley P, Jacolot L, Theunynck D. Sleep restriction and degraded reaction-time performance in Figaro solo sailing races. *J Sports Sci.* 2014;32(2):172–4.
14. Charest J, Grandner MA. Sleep and Athletic Performance: Impacts on Physical Performance, Mental Performance, Injury Risk and Recovery, and Mental Health. *Sleep Med Clin [Internet].* 2020;15(1):41–57. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2019.11.005>
15. Halson SL. Nutrition, sleep and recovery. *Eur J Sport Sci.* 2008;8(2):119–26.
16. Copenhaver EA, Diamond AB. The value of sleep on athletic performance, injury, and recovery in the young athlete. *Pediatr Ann.* 2017;46(3):e106–11.
17. Thun E, Bjorvatn B, Flo E, Harris A, Pallesen S. Sleep, circadian rhythms, and athletic performance. *Sleep Med Rev.* 2015;23:1–9.
18. Reilly T, Edwards B. Altered sleep-wake cycles and physical performance in athletes. *Physiol Behav.* 2007;90(2–3):274–84.
19. Silva MRG, Paiva T, Silva HH. The elite athlete as a special risk traveler and the jet lag's effect: Lessons learned from the past and how to be prepared for the next Olympic Games 2020 Tokyo. *J Sports Med Phys Fitness.* 2019;59(8):1420–9.
20. Carskadon MA, Dement W. Normal Human Sleep : An Overview. In: Elsevier Saunders, editor. *Principles and practice of sleep medicine.* 5th ed. St. Louis: Medicine, Principles and practice of sleep; 2011. p. 16–26.
21. O'donnell S, Beaven CM, Driller MW. From pillow to podium: A review on understanding sleep for elite athletes. *Nat Sci Sleep.* 2018;10:243–53.
22. Venter RE. Role of sleep in performance and recovery of athletes: A review article. *South African J Res Sport Phys Educ Recreat.* 2012;34(1):167–84.
23. Aisbett B, Condo D, Zacharewicz E, Lamon S. The impact of shiftwork on Skeletal muscle health. *Nutrients.* 2017;9(3):1–16.
24. Fullagar HHK, Skorski S, Duffield R, Hammes D, Coutts AJ, Meyer T. Sleep and Athletic Performance: The Effects of Sleep Loss on Exercise Performance, and Physiological and Cognitive Responses to Exercise. *Sport Med.* 2015;45(2):161–86.
25. Monteleone P, Maj M, Fusco M, Orazzo C, Kemali D. Physical exercise at night blunts the nocturnal increase of plasma melatonin levels in healthy humans. *Life Sci.* 1990;47(22):1989–95.
26. Escames G, Ozturk G, Baño-Otálora B, Pozo MJ, Madrid JA, Reiter RJ, et al. Exercise and melatonin in humans: Reciprocal benefits. *J Pineal Res.* 2012;52(1):1–11.

27. Skein M, Duffield R, Edge J, Short MJ, Mundel T. Intermittent-Sprint Performance and Muscle Glycogen after 30 h of Sleep Deprivation. *Med Sci Sport Exerc.* 2011;43(7):1301–11.
28. Patel SR, Malhotra A, White DP, Gottlieb DJ, Hu FB. Association between reduced sleep and weight gain in women. *Am J Epidemiol.* 2006;164(10):947–54.
29. Halson SL. Sleep in elite athletes and nutritional interventions to enhance sleep. *Sport Med.* 2014;44(SUPPL.1):13–23.
30. Haack M, Sanchez E, Mullington JM. Elevated Inflammatory Markers in Response to Prolonged Sleep Restriction Are Associated With Increased Pain Experience in Healthy Volunteers. *Sleep.* 2007;30(9).
31. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Katz LC, LaMantia A-S, McNamara JO, et al. Stages of Sleep. In: *Associates Sunderland (MA): Sinaue, editor. Neuroscience [Internet].* 2nd ed. 2001. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10996/>
32. Kraemer W, Ratamess N. Hormonal Responses and Adaptations to Resistance Exercise and Training. *Sports Med.* 2005 Feb 1;35:339–61.
33. Skein M, Duffield R, Minett GM, Snape A, Murphy A. The effect of overnight sleep deprivation after competitive rugby league matches on postmatch physiological and perceptual recovery. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(5):556–64.
34. Blumert P, Crum A, Ernsting M, Volek J, Hollander D, Haff E, et al. The Acute Effects of Twenty-Four Hours of Sleep Loss on the Performance of National-Caliber Male Collegiate Weightlifters. *J Strength Cond Res.* 2007 Dec 1;21:1146–54.
35. Moore J, McDonald C, McIntyre A, Carmody K, Donne B. Effects of acute sleep deprivation and caffeine supplementation on anaerobic performance. *Sleep Sci.* 2018;11(1):2–7.
36. Knufinke M, Nieuwenhuys A, Maase K, Moen MH, Geurts SAE, Coenen AML, et al. Effects of Natural Between-Days Variation in Sleep on Elite Athletes' Psych. *J Sport Sci Med [Internet].* 2018;17(November):515–24. Available from: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=b84914f0-962c-4dfa-8c5d-763797667301%40sessionmgr4008>
37. Souissi N, Hamdi C, Aloui A, Hammouda O, Dougui M, Chaouachi A, et al. EFFECTS OF TIME-OF-DAY AND PARTIAL SLEEP DEPRIVATION ON SHORT-TERM MAXIMAL PERFORMANCES OF JUDO COMPETITORS. *J Strength Cond Res.* 2013;27(9):2473–80.
38. Reilly T, Piercy M. The effect of partial sleep deprivation on weight-lifting performance. *Ergonomics.* 1994;37(1):107–15.
39. Cook C, Beaven C, Kilduff L, Drawer S. Acute Caffeine Ingestion's Increase of Voluntarily Chosen Resistance-Training Load After Limited Sleep. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2012 Feb

- 15;22:157–64.
40. Abdelmalek S, Chtourou H, Aloui A, Aouichaoui C, Souissi N, Tabka Z. Effect of time of day and partial sleep deprivation on plasma concentrations of IL-6 during a short-term maximal performance. 2012;113(1):241–8.
 41. Berg J, Tymoczko J, Stryer L. Section 30.4, Fuel Choice During Exercise Is Determined by Intensity and Duration of Activity. In: Biochemistry [Internet]. 5th ed. New York: W. H. Freeman and Company; 2002. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK22417/>
 42. Mah CD, Mah KE, Kezirian EJ, Dement WC. The Effects of Sleep Extension on the Athletic Performance of Collegiate Basketball Players. *Sleep*. 2011;34(7):943–50.
 43. Waterhouse J, Atkinson G, Edwards B, Reilly T. The role of a short post-lunch nap in improving cognitive, motor, and sprint performance in participants with partial sleep deprivation. *J Sports Sci*. 2007;25(14):1557–66.
 44. Roberts SSH, Teo WP, Aisbett B, Warmington SA. Effects of total sleep deprivation on endurance cycling performance and heart rate indices used for monitoring athlete readiness. *J Sports Sci* [Internet]. 2019;37(23):2691–701. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1661561>
 45. Azboy O, Kaygisiz Z. Effects of sleep deprivation on cardiorespiratory functions of the runners and volleyball players during rest and exercise. *Acta Physiol Hung*. 2009;96(1):29–36.
 46. Roberts SSH, Teo WP, Aisbett B, Warmington SA. Extended Sleep Maintains Endurance Performance Better than Normal or Restricted Sleep. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51(12):2516–23.
 47. Halson SL, Juliff LE. Sleep, sport, and the brain [Internet]. 1st ed. Vol. 234, Progress in Brain Research. Elsevier B.V.; 2017. 13–31 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.pbr.2017.06.006>
 48. Taber KH, Hurley RA, Hayman LA. WINDOWS TO THE BRAIN Functional Neuroanatomy of Sleep and Sleep Deprivation NEUROANATOMY OF SLEEP AND SLEEP DEPRIVATION. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* [Internet]. 2006;18(18):1–5. Available from: <http://neuro.psychiatryonline.org>
 49. Thomas ML, Sing HC, Belenky G, Holcomb HH, Mayberg HS, Dannals RF, et al. Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness II. Effects of 48 and 72 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. *Thalamus Relat Syst* [Internet]. 2000 Aug;9:335–52. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1472928803000207>
 50. Thomas ML, Sing HC, Belenky G, Holcomb HH, Mayberg HS, Dannals RF, et al. Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness II. Effects of 48 and 72 h

- of sleep deprivation on waking human regional brain activity. *Thalamus Relat Syst.* 2003;199–229.
51. Frank MG, Benington JH. The role of sleep in memory consolidation and brain plasticity: Dream or reality? *Neuroscientist.* 2006;12(6):477–88.
 52. Simpson NS, Gibbs EL, Matheson GO. Optimizing sleep to maximize performance: implications and recommendations for elite athletes. *Scand J Med Sci Sport.* 2017;27(3):266–74.
 53. Lagoy A, Farrarelli F, Sinnott A, Eagle S, Johnson C, Connaboy C. You Snooze, You Win? An Ecological Dynamics Framework Approach to Understanding the Relationships Between Sleep and Sensorimotor Performance in Sport. *Sleep Med Clin.* 2020 Mar 1;15:31–9.
 54. D, Ghadami MR, Safaei H, Ekhtiari, HamKhazaie H, Tahmasian M, Samadzadeh S, et al. The effects of chronic partial sleep deprivation on cognitive functions of medical residents. *Iran J Psychiatry [Internet].* 2010;5(2):74–7. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3430498&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
 55. Watson A. Sleep and Athletic Performance. *Curent Sport Med Reportsent Sport Med Reports [Internet].* 2017 Mar;1606:413–8. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/sms.12703>
 56. Dunican IC, Higgin CC, Murray K, Jones MJ, Dawson B, Caldwell JA, et al. Sleep Patterns and Alertness in an Elite Super Rugby Team During a Game Week. *J Hum Kinet.* 2019;67(1):111–21.
 57. Van Ryswyk E, Weeks R, Bandick L, O’Keefe M, Vakulin A, Catcheside P, et al. A novel sleep optimisation programme to improve athletes’ well-being and performance. *Eur J Sport Sci.* 2017;17(2):144–51.
 58. Cook CJ, Crewther BT, Kilduff LP, Drawer S, Gaviglio CM. Skill execution and sleep deprivation: effects of acute caffeine or creatine supplementation - a randomized placebo-controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr [Internet].* 2011;8(1):2. Available from: <http://www.jissn.com/content/8/1/2>
 59. Swinbourne R, Miller J, Smart D, Dulson D, Gill N. The Effects of Sleep Extension on Sleep, Performance, Immunity and Physical Stress in Rugby Players. *Sports.* 2018;6(2):42.
 60. Jarraya S, Jarraya M, Chtourou H, Souissi N. Effect of time of day and partial sleep deprivation on the reaction time and the attentional capacities of the handball goalkeeper. *Biol Rhythm Res.* 2013;44(3):503–10.
 61. Taheri M, Arabameri E. The effect of sleep deprivation on choice Reaction time and anaerobic power of college student athletes. *Asian J Sports Med.* 2012;3(1):15–20.

62. Edwards BJ, Waterhouse J. Effects of one night of partial sleep deprivation upon diurnal rhythms of accuracy and consistency in throwing darts. *Chronobiol Int*. 2009;26(4):756–68.
63. Schwartz J, Simon RD. Sleep extension improves serving accuracy: A study with college varsity tennis players. *Physiol Behav* [Internet]. 2015;151:541–4. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.08.035>
64. Rossa KR, Smith SS, Allan AC, Sullivan KA. The effects of sleep restriction on executive inhibitory control and affect in young adults. *J Adolesc Heal* [Internet]. 2014;55(2):287–92. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jadohealth.2013.12.034>
65. Milewski MD, Skaggs DL, Bishop GA, Pace JL, Ibrahim DA, Wren TAL, et al. Chronic lack of sleep is associated with increased sports injuries in adolescent athletes. *J Pediatr Orthop*. 2014;34(2):129–33.
66. Mah CD, Sparks AJ, Samaan MA, Souza RB, Luke A. Sleep restriction impairs maximal jump performance and joint coordination in elite athletes. *J Sports Sci* [Internet]. 2019;37(17):1981–8. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1612504>
67. Hamlin MJ, Wilkes D, Elliot CA, Lizamore CA, Kathiravel Y. Monitoring training loads and perceived stress in young elite university athletes. *Front Physiol*. 2019;10(JAN):1–12.
68. Calleja-González J, Mielgo-Ayuso J, Sampaio J, Delextrat A, Ostojic SM, Marques-Jiménez D, et al. Brief ideas about evidence-based recovery in team sports. *J Exerc Rehabil*. 2018;14(4):545–50.
69. Closs B, Burkett C, Trojan JD, Brown SM, Mulcahey MK. Recovery after volleyball: a narrative review. *Phys Sportsmed* [Internet]. 2020;48(1):8–16. Available from: <https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1632156>
70. Bonnar D, Bartel K, Kakoschke N, Lang C. Sleep Interventions Designed to Improve Athletic Performance and Recovery: A Systematic Review of Current Approaches. *Sport Med* [Internet]. 2018;48(3):683–703. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0832-x>
71. Romyn G, Lastella M, Miller DJ, Versey NG, Roach GD, Sargent C. Daytime naps can be used to supplement night-time sleep in athletes. *Chronobiol Int* [Internet]. 2018;35(6):865–8. Available from: <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1466795>
72. Gupta L, Morgan K, North C, Gilchrist S. Napping in high-performance athletes: Sleepiness or sleepability? *Eur J Sport Sci* [Internet]. 2020;0(0):1–25. Available from: <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1743765>
73. Petit E, Mouglin F, Bourdin H, Tio G, Haffen E. A 20-min nap in athletes changes subsequent sleep architecture but does not alter physical performances after normal sleep or 5-h phase-advance conditions. *Eur J Appl Physiol*. 2014;114(2):305–15.

74. Davies DJ, Graham KS, Chow CM. The effect of prior endurance training on nap sleep patterns. *Int J Sports Physiol Perform*. 2010;5(1):87–97.
75. O'Donnell S, Beaven CM, Driller M. The influence of match-day napping in elite female netball athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2018;13(9):1143–8.
76. Suppiah HT, Low CY, Choong G, Chia M. Effects of a short daytime nap on shooting and sprint performance in high-level adolescent athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14(1):76–82.
77. Arnal PJ, Lapole T, Erblang M, Guillard M, Bourrilhon C, Léger D, et al. Sleep Extension before Sleep Loss: Effects on Performance and Neuromuscular Function. Vol. 48, *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2016. 1595–1603 p.
78. Atkinson G, Reilly T. Circadian variation in sports performance. *Sport Med*. 1996;21(4):292–312.
79. Pavlović L, Stojiljković N, Aksović N, Stojanović E, Valdevit Z, Scanlan AT, et al. Diurnal Variations in Physical Performance: Are There Morning-to-Evening Differences in Elite Male Handball Players? *J Hum Kinet*. 2018;63(1):117–26.
80. Guede M, Gondin J, Martin A. Time-of-day effect on the torque and neuromuscular properties of dominant and non-dominant quadriceps femoris. *Chronobiol Int*. 2005;22(3):541–58.
81. Mhenni T, Michalsik LB, Mejri MA, Yousfi N, Chaouachi A, Souissi N, et al. Morning–evening difference of team-handball-related short-term maximal physical performances in female team handball players. *J Sports Sci*. 2017;35(9):912–20.
82. Loat CER, Rhodes EC. Jet-Lag and Human Performance. *Sport Med*. 1989;8(4):226–38.
83. Thornton HR, Miller J, Taylor L, Sargent C, Lastella M, Fowler PM. Impact of short- compared to long-haul international travel on the sleep and wellbeing of national wheelchair basketball athletes. *J Sports Sci [Internet]*. 2018;36(13):1476–84. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1398883>
84. Fowler PM, McCall A, Jones M, Duffield R. Effects of long-haul transmeridian travel on player preparedness: Case study of a national team at the 2014 FIFA World Cup. *J Sci Med Sport [Internet]*. 2017;20(4):322–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.021>
85. Malhotra RK. Sleep, Recovery, and Performance in Sports. *Neurol Clin [Internet]*. 2017;35(3):547–57. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncl.2017.03.002>
86. Brauer AA, Athey AB, Ross MJ, Grandner MA. Sleep and Health Among Collegiate Student Athletes. *Chest [Internet]*. 2019 Dec 1;156(6):1234–45. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.08.1921>
87. Inst of Sport and Preventive Medicine Saarbrücken Germany. SU, Fullagar HH, Duffield R, Skorski S, Coutts AJ, Julian R, et al. Sleep and Recovery in Team Sport: Current Sleep-

Related Issues Facing Professional Team-Sport Athletes. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2015;10(8):950–7. Available from: <http://journals.humankinetics.com/ijsp-current-issue/ijsp-current-volume-10-issue-8-november/sleep-and-recovery-in-team-sport-current-sleep-related-issues-facing-professional-team-sport-athletes%0Apapers2://publication/doi/10.1123/ijsp.2014-0565>

88. Kroshus E, Wagner J, Wyrick D, Athey A, Bell L, Benjamin HJ, et al. Wake up call for collegiate athlete sleep: Narrative review and consensus recommendations from the NCAA Interassociation Task Force on Sleep and Wellness. *Br J Sports Med*. 2019;53(12):731–6.