

## Análise da produção máxima de força muscular em 24 horas: efeitos circadianos

### Analysis of the maximum muscle strength in 24 hours: circadian effects

#### Resumo

O presente estudo teve como objetivo verificar os efeitos da variação circadiana sobre a capacidade de produção de força máxima em homens fisicamente ativos. Participaram do estudo dez sujeitos jovens, saudáveis, do sexo masculino (idade:  $18,4 \pm 0,5$  anos; massa corporal total:  $64,4 \pm 6,4$  Kg; estatura  $173,2 \pm 4,3$ ; % gordura:  $10,6 \pm 1,2$ ) apresentando o cronotipo intermediário de acordo com o questionário de matutividade e vespertividade de Horne e Ostberg (1976). Foi mensurado, a cada quatro horas (a partir das 20h), o *Peak* torque isocinético (velocidade angular  $60^\circ/s$ ) dos músculos extensores e flexores do cotovelo e do joelho, sendo registrada a razão do *peak* torque pela massa corporal total. Houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os horários das 20h e 04h para o comportamento da força máxima de extensores de joelho e entre os horários das 24h e 8h para flexores de joelho. Não houve diferença significativa para o comportamento da temperatura corporal ao longo das 24 horas. A frequência cardíaca apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os horários das 16h e 04h e entre os horários das 12h e 16h. Há uma elevação da capacidade de produção de força máxima no período da tarde e uma diminuição no período da noite, sendo semelhante tal oscilação à temperatura corporal e à frequência cardíaca, o que corrobora evidências apresentadas na literatura.

**Palavras-Chave:** Ritmo circadiano, Força muscular máxima, Temperatura corporal, Frequência cardíaca.

#### Abstract

This study aimed to verify the effects of circadian variation on the capacity to produce maximum force in physically active men. The study was conducted on 10 healthy young males (age:  $18.4 \pm 0.5$  years, total body mass:  $64.4 \pm 6.4$  kg, height  $173.2 \pm 4.3$  cm; body fat:  $10.6 \pm 1.2$ ) presenting the intermediate chronotype according to morningness and eveningness questionnaire of Horne and Ostberg (1976). The Peak isokinetic torque (angular velocity  $60^\circ/s$ ) of the extensor and flexor muscles of the elbow and knee was measured every four hours (from 08:00pm) and the peak torque ratio being recorded by the total body mass. There were significant differences ( $p < 0.05$ ) between the hours of 8 pm and 4 am for the variation of the maximum strength of knee extensors and between the hours of 12 pm and 8 am for knee flexors. There was no significant difference in the variation of body temperature over 24 hours. The heart rate showed a significant difference ( $p < 0.05$ ) between 4 pm and 4 am and between the hours 12 am and 4 pm. There is an increase in the capacity of maximum strength in the afternoon and a decrease during the night, the oscillation being similar to body temperature and heart rate which corroborates evidence presented in the literature.

**Keywords:** Circadian rhythm, Maximum muscle strength, Body temperature, Heart rate.

Carine de Oliveira Pedroso<sup>1</sup>

Olga Sergueevna Tairova<sup>2</sup>

Tainara Gobetti<sup>3</sup>

Ricardo Pedrozo Saldanha<sup>4</sup>

Eduardo Ramos da Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Professora de Educação Física, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS.

<sup>2</sup> Dr<sup>a</sup>. MD, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS.

<sup>3</sup> Nutricionista, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS.

<sup>4</sup> Dr. em Educação Física, Centro Universitário La Salle (Canoas/RS); Faculdade Cenecista de Osório (FACOS/RS).

<sup>5</sup> Dr. em Educação Física, Centro Universitário La Salle (Canoas/RS); Faculdade Cenecista de Osório (FACOS/RS).

Correspondência: Eduardo Ramos da Silva

Rua: Eng. Ludolfo Bohel, 1179 – casa 36. Porto Alegre, RS, 91720-150, Brasil.

E-mail: [edurramos@gmail.com](mailto:edurramos@gmail.com)

Fone: (51) 84074757

Recebido : 15/03/2013

Aprovado : 03/05/2013

## Introdução

A força muscular é um importante componente da aptidão física, tanto para o esporte de rendimento quanto para níveis mínimos de saúde. A expressão máxima dessa variável (força máxima) é dependente de características intrínsecas e extrínsecas, como sexo, idade, tipo de alimentação, nível de treinamento, tipo de fibra muscular, dentre outras, havendo também especulações acerca do efeito do horário de realização do exercício sobre esta variável<sup>1</sup>.

As variações fisiológicas do organismo ao longo de 24 horas são denominadas ritmo circadiano, o qual influencia diversas atividades fisiológicas do organismo, impactando diretamente a performance<sup>2,3,30</sup>. O controle do ritmo circadiano sobre as variáveis fisiológicas é dado por um sistema de temporização circadiana (STC), conhecido como relógio biológico. Segundo Waterhouse *et al.*<sup>5</sup>, o núcleo supraquiasmático (NSQ), localizado no hipotálamo anterior, controla a duração dos processos de uma complexa série de ritmos, atuando como possível regulador de variáveis do desempenho, como a frequência cardíaca, a pressão arterial, a temperatura corporal, a secreção hormonal, o ciclo sono-vigília e a capacidade de produção de força pelo músculo esquelético<sup>4</sup>. A variabilidade da capacidade de produção de força muscular ao longo de 24 horas tem sido associada à variabilidade da temperatura corporal, capaz de influir em variáveis neuroendócrinas determinantes da função muscular<sup>6,7,8</sup>.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi verificar os efeitos da variação circadiana sobre a capacidade de produção de torque em homens fisicamente ativos no período de 24 horas.

## Método

### População e amostra

O presente estudo utilizou um modelo quase-experimental aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa CEP/FUCS da Universidade de Caxias do Sul. Os sujeitos participantes foram dez indivíduos jovens e saudáveis (idade:  $18,4 \pm 0,5$  anos; massa corporal total:  $64,4 \pm 6,4$  kg; massa corporal magra:  $57,5 \pm 5,3$  kg; IMC:  $21,5 \pm 1,6$  kg/m<sup>2</sup>; estatura:  $173,2 \pm 4,3$  cm; % gordura:  $10,6 \pm 1,2$ ) fisicamente ativos (praticantes de treinamento de força há pelo menos seis meses) e do sexo masculino. Os participantes foram orientados a dormir de seis a oito horas na noite anterior aos testes, evitar o consumo de bebidas alcoólicas, cafeína, cigarro e medicamentos estimulantes, assim como não realizar exercícios físicos extenuantes nas 24 horas prévias aos testes.

### Procedimentos de coleta

Inicialmente, além de responder a uma detalhada anamnese relativa a antecedentes clínicos para a estratificação de risco de eventos coronarianos, os participantes também responderam um questionário de matutuidade e vespertinidade de Horne e Ostberg<sup>9</sup>, adaptado para o Brasil por Benedito-Silva *et al.*<sup>10</sup> para a identificação do cronotipo, tendo sido observado cronotipo intermediário em todos os participantes. Em seguida foram mensuradas a massa corporal total e a estatura (balança com estadiômetro da marca Filizola [Brasil], com precisão de 100g e 1mm, respectivamente) e estimado o percentual de gordura corporal através do protocolo de Jackson e Pollock<sup>11</sup>, complementado por Siri<sup>12</sup>, utilizando-se um adipômetro marca

Harpenden Skinfold Caliper® (UK) para mensuração das dobras cutâneas.

Com o intuito de minimizar os efeitos de variáveis intervenientes (tais como temperatura, horários dos testes, alimentação e atividade física), os testes foram realizados em um ambiente com condições térmicas controladas (20°C e aproximadamente 60% de umidade relativa do ar) e sob alimentação controlada qualitativa e quantitativamente por uma nutricionista.

### **Mensuração do torque muscular**

O *Peak* Torque concêntrico dos grupos musculares extensores e flexores de joelho e cotovelo foi mensurado ao longo de 24 horas (20h, 24h, 4h, 8h, 12h e 16h), na velocidade angular de 60°/s, utilizando-se um dinamômetro isocinético Biodex System 4 Pro©. Foi registrada a razão do valor de torque de cada grupo pela massa corporal total individual (N·m·kg<sup>-1</sup>).

No teste de extensões de joelho (somente membro dominante), os sujeitos foram posicionados sentados com uma inclinação de 90° entre troco e coxa. O eixo motor foi alinhado visualmente com o eixo da articulação médio-lateral do joelho, sendo o mesmo fixado (assim como o tronco e cintura pélvica) com cintas adjacentes ao equipamento (para estabilizar e evitar compensações durante o exercício), possibilitando movimentos da articulação de interesse em somente um único grau de liberdade<sup>15</sup>. A resistência (ponto de fixação do segmento ao braço mecânico) foi fixada no terço distal da perna, três centímetros acima do maléolo lateral da articulação tíbio-társica<sup>16</sup>.

Para o teste de flexores de cotovelo, os sujeitos foram posicionados sentados na cadeira do dinamômetro isocinético (90° de flexão do quadril), sendo o eixo motor alinhado visualmente com o eixo médio-lateral do cotovelo. Tronco, coxa e braço de interesse também foram fixados com cintas. O ponto de aplicação da resistência foi posicionado acima do epicôndilo lateral da articulação umeroulnar.

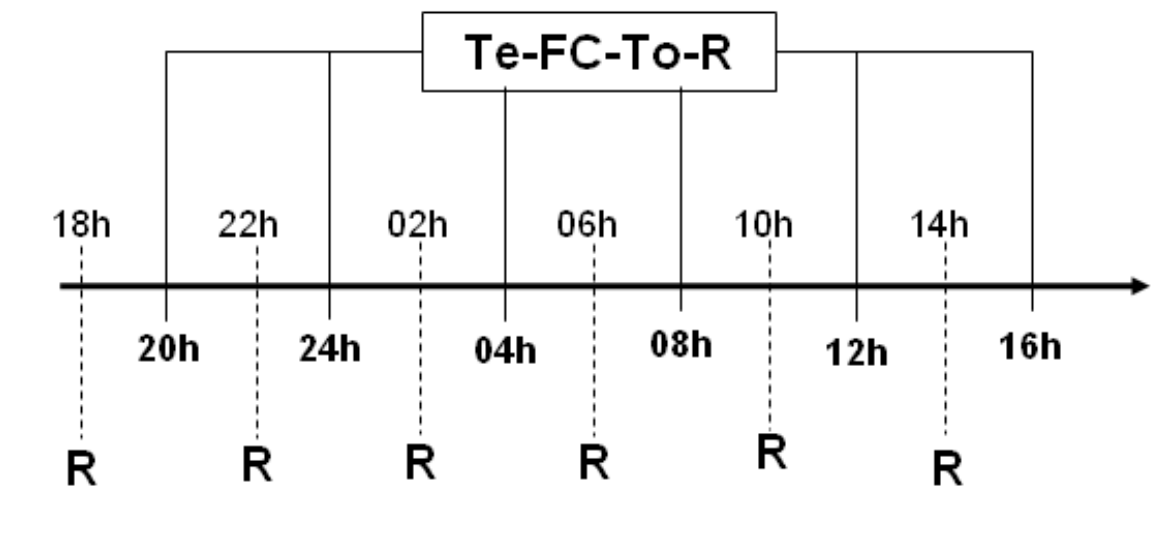
O protocolo de avaliação isocinética constitui-se de uma série de oito contrações concêntricas na velocidade de 60°/s para aquecimento. Após três minutos de intervalo, foi realizada uma série de três repetições máximas (contração concêntrica) na mesma velocidade do aquecimento<sup>19</sup>. Durante os testes, os sujeitos foram instruídos e estimulados verbalmente a aplicar o máximo possível de força contra o braço mecânico, permanecendo com as mãos cruzadas sobre o tronco e segurando a cinta de fixação<sup>17,18</sup>.

### **Controle da temperatura corporal, frequência cardíaca e alimentação dos sujeitos**

Aos participantes da presente pesquisa, foi destinado um local no laboratório para permanência durante todo o período fora de coleta de torque. Nesse local, imediatamente antes da realização da mensuração de torque, era mensurada a temperatura do tórax, utilizando-se um termômetro infravermelho da marca Raytek®<sup>13</sup>. Para evitar efeito termogênico proveniente da contração de músculos posturais, as mensurações de temperatura corporal eram realizadas na posição decúbita dorsal após um repouso de cinco minutos.

Depois da mensuração da temperatura do tórax, era registrada a frequência cardíaca de repouso (na mesma posição anteriormente descrita), através de frequencímetro da marca Polar, modelo Accurex Plus, com leitura a cada cinco segundos.

A cada duas horas (imediatamente após o teste de *Peak* torque e duas horas após da realização do mesmo), os participantes recebiam uma refeição padronizada, com atendimentos às demandas individuais de Gasto Energético Total e composição de nutrientes da dieta<sup>14</sup>. A Figura 1 apresenta a sequência temporal dos procedimentos experimentais.



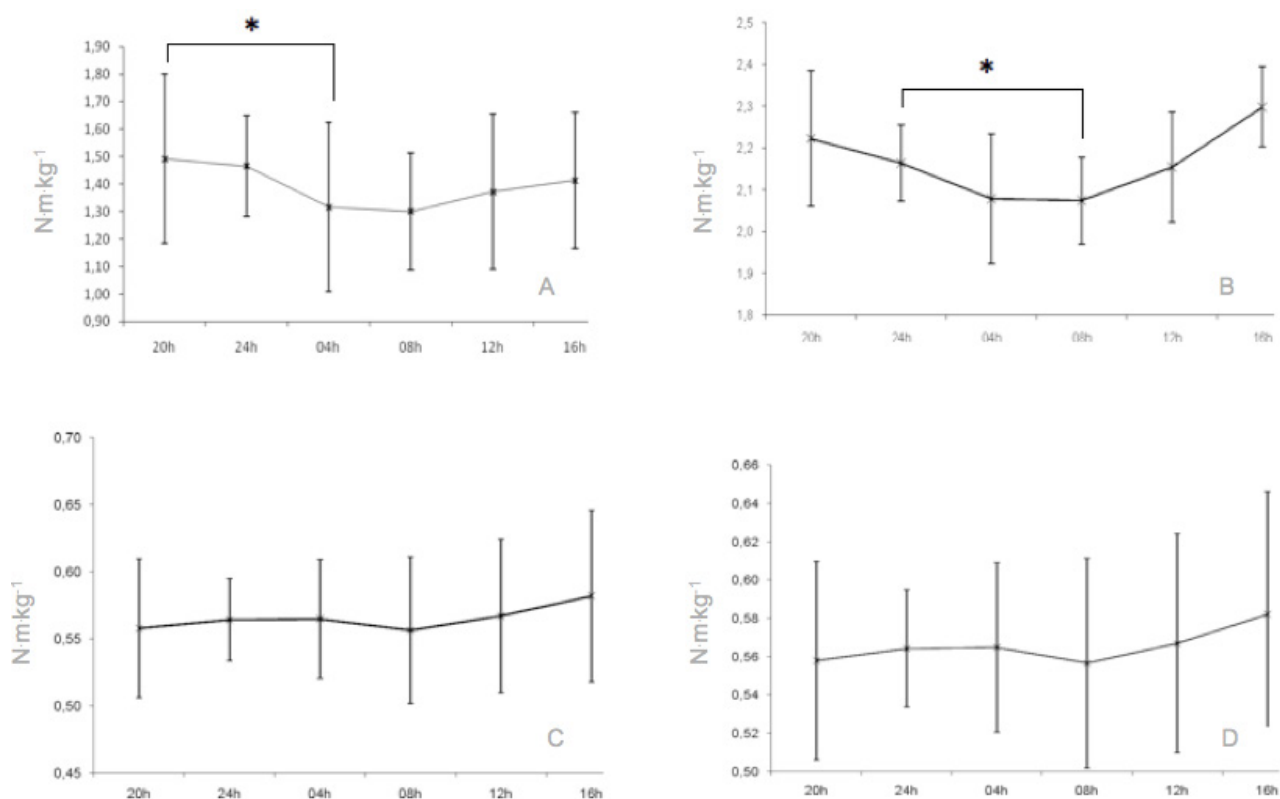
**Figura 1.** Sequência temporal da coleta de dados. **R** = refeição; **Te** = mensuração da temperatura; **FC** = mensuração da frequência cardíaca de repouso; **To** = torque de extensores e flexores de joelho e cotovelo dominante.

### Análise estatística

Foi utilizada estatística descritiva para a apresentação dos dados (média e desvio-padrão). Para a análise da distribuição Gaussiana dos dados, foi utilizado o teste de *Shapiro Wilk*. Os dados paramétricos (torque e temperatura) foram comparados em relação ao tempo, utilizando-se o teste de análise de variância de um caminho (ANOVA *One-way*), complementado pelo teste de *Post Hoc* de Bonferroni. O comportamento temporal dos dados de frequência cardíaca (não paramétricos) foi analisado utilizando-se o teste de Freedman para medidas repetidas. As análises foram realizadas com a utilização do pacote estatístico SPSS versão 15.0, adotando-se um alfa  $\leq 0,05$ .

### Resultados

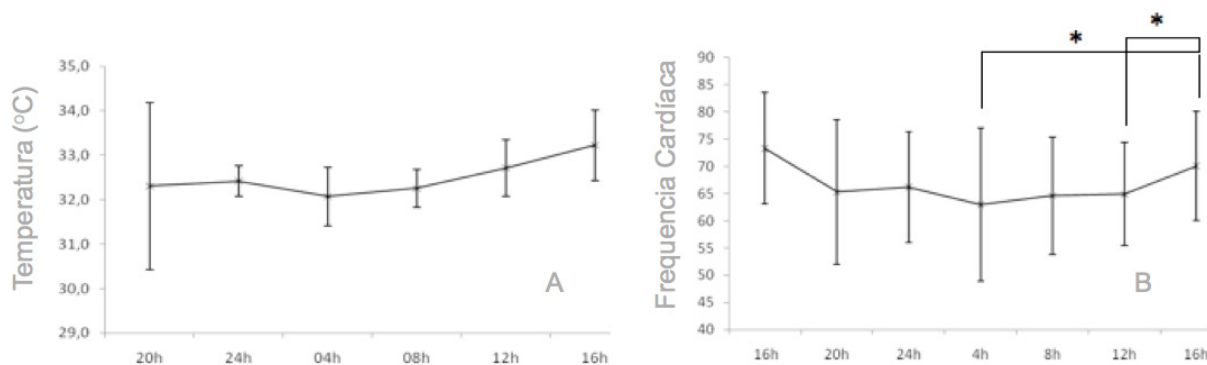
O comportamento do *peak* torque das articulações e dos movimentos de interesse ao longo das 24 horas de registro (a cada quatro horas) é apresentado na Figura 2.



**Figura 2:** Comportamento da força máxima dos músculos extensores de joelho (A), flexores de joelho (B), flexores de braço (C) e extensores de braço (D). \* representa diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$ .

Pode-se observar na figura 2A (torque de extensores de joelho) diferença estatisticamente significativa somente entre os horários das 20h e 04h e, na figura 2B (flexores de joelho), somente entre os horários das 24h e 8h. Nas figuras 2C e 2D (flexores e extensores de cotovelo, respectivamente), não foram observadas diferenças significativas ao longo das 24 horas.

A Figura 3 apresenta a variação da temperatura corporal e a frequência cardíaca ao longo das 24 horas de coleta.



**Figura 3:** Comportamento da temperatura corporal (A) e frequência cardíaca (B). \* representa diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$ .

Na Figura 3A não foi observada diferença significativa entre os valores coletados ao longo das 24 horas. A Figura 3B indica diferença significativa encontrada entre a coleta das 04h e 16h e também entre os valores registrados às 12h e 16h ( $p \leq 0,05$ ).

## Discussão

O presente estudo objetivou analisar o efeito da variação circadiana sobre a capacidade de produção de torque concêntrico dos grupos musculares extensores e flexores de joelho e cotovelo em homens fisicamente ativos. Apesar das variáveis mensuradas terem apresentado poucas diferenças significativas ao longo das 24 horas, suas oscilações ocorreram de forma bastante semelhante.

Os resultados deste estudo assemelham-se aos encontrados por Waterhouse *et al.*<sup>5</sup>, que relataram também a ocorrência do pico de força muscular próximo ao valor máximo da temperatura corporal. Reilly e Garret<sup>20</sup> igualmente encontraram uma relação aparente entre temperatura corporal e a produção de força muscular, sendo, em seu estudo, observados picos máximos de ambas as variáveis no período da tarde (16h) e mínimos no período da noite (24h). Teo, Newton e McGuigan<sup>30</sup> inferem que, em geral, desempenhos máximos são observados no início da noite em consonância com o pico de temperatura corporal.

Talvez essa relação possa ser justificada por uma facilitação da condução neural em direção ao músculo ativo, decorrente do aumento da temperatura neural. Racinais *et al.*<sup>22</sup> investigaram os efeitos da temperatura corporal sobre a contratilidade isométrica dos extensores de joelho em onze homens treinados em força. Seus resultados indicam que a oscilação da temperatura corporal sofre influência segundo a hora do dia (em ambiente laboratorial controlado), o que possivelmente influenciou na variabilidade da atividade eletromiográfica observada e, conseqüentemente, na variação de força ao longo de 24 horas. Tal suposição também é apresentada por Deschenes *et al.*<sup>23</sup>, que sugerem, além da modificação dos padrões de condução nervosa, a participação de maiores unidades motoras durante a ação muscular máxima, em temperaturas corporais mais elevadas.

Apesar de existirem diversos estudos que corroboram os resultados aqui apresentados (Wyse *et al.*<sup>24</sup>, Giacomoni *et al.*<sup>17</sup>, Moussay *et al.*<sup>25</sup> [analisando frequência de pedalada em laboratório], Coldwells, Atkinson e Reilly<sup>6</sup>), são observados na literatura estudos como o Cabri *et al.*<sup>26</sup> e o de Deschenes *et al.*<sup>27</sup>, ambos discordantes do presente trabalho.

Com relação à frequência cardíaca de repouso, foi encontrada diferença significativa entre os horários das 4h e 16h e entre as 12h e 16h. Tais achados são semelhantes aos encontrados por Reilly e Brooks<sup>28</sup>, que observaram maior valor dos valores de repouso dessa variável, às 14h, sendo progressivamente reduzida até o horário das 2h, quando apresentou seu menor valor.

Em relação à classificação do cronotipo, todos os sujeitos apresentaram cronotipo intermediário, de acordo com o questionário de matutividade e vespertinidade de Horne e Ostberg<sup>9</sup>, sendo seus valores intermediários aos horários de acordar e de ir dormir e ao grau de disposição em relação às horas do dia, sem influência nos resultados dos testes.

Os achados do presente estudo indicam que, embora não tenham sido encontradas diferenças significativas entre a maior parte dos valores de força muscular máxima, registrados ao longo de 24 horas, técnicos e atletas devem considerar o melhor horário do dia para realizar treinamentos que envolvam direta ou indiretamente força muscular. A escolha do momento de maior temperatura pode potencializar modificações positivas do sistema neuromuscular, aprimorando o desempenho pretendido. Mais estudos devem ser realizados, empregando técnicas mais sensíveis de análise do padrão de funcionamento neuromuscular, assim como parâmetros neuroendócrinos que regem as modificações desse sistema durante o exercício.

## **Conclusão**

O presente estudo encontrou um aumento de produção de força máxima no período da tarde e uma diminuição no período da noite (com exceção do flexores e extensores de cotovelo), sendo semelhantes ao comportamento da temperatura corporal e da frequência cardíaca, corroborando, assim, com os achados descritos na literatura.

A oscilação observada pode estar associada à temperatura corporal, que interfere na velocidade de condução neural e na modificação do padrão de recrutamento de maiores unidades motoras. Outros fatores, como a atividade neuroendócrina, relacionados à maior liberação de melatonina no turno da noite (associada ao declínio de temperatura central e frequência cardíaca) catecolaminas devem ser investigados em estudos futuros.

## Referências

1. Weineck J. *Biologia do esporte*. 7ª ed. Barueri, SP: Manole, 2005.
2. Mello MT, Boscolo RA, Esteves AM, Tufik S. O exercício físico e os aspectos psicobiológicos. *Rev Bras Med Esporte* 2005;11:203-207.
3. Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. Cronobiologia e desempenho humano. In: Garrett J. R., Willian E.; Kirkendall, Donald T. (Orgs.). *A ciência do exercício e dos esportes*. Porto Alegre: Artmed, 2003.
4. Reilly T. Human circadian rhythms and exercise. *Biomedical Engineering* 1990;18:165-180.
5. Waterhouse J, Drust B, Weinert, D, Edwards B, Gregson W, Atkinson G, *et al*. The circadian rhythm of core temperature: origin and some implications for exercise performance. *Chronobiol Int* 2005;22(2):207-225.
6. Coldwells A, Atkinson G, Reilly T. Sources of variation in back and leg dynamometry. *Ergonomics* 1994;37:79-86.
7. Atkinson G, Reilly T. Circadian variation in sports performance. *Sports Med* 1996;21(4):292-312.
8. Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. *Biological rhythms and exercise*. Nova York: Oxford University Press, p. 162, 1997.
9. Horne JA, Ostberg O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *Int J Chronobiol* 1976;4(2):97-110.
10. Benedito-Silva AA, Menna-Barreto L, Marques N, Tenreiro S. A self-assessment questionnaire for determination on morningness-eveningness types in Brazil. *Prog Clin Biol Res* 1990;314B: 89-98.
11. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 1978;40:497-503.
12. Siri WE. Body composition from fluid space and density. In: Brozek J, Henschel JA. (Ed.). *Techniques for measuring body composition*. Washington D.C.: National Academy of Science, p. 223-244, 1961.
13. Ramanathan NL. A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J. Appl. Physiol* 1964;19(3):531-533.
14. Institute of Medicine. *Dietary reference intakes: applications in dietary assessment*. Washington (DC): National Academy Press, 2002.
15. Hart D, Stobbe T, Till C, Plumer R. Effect of trunk stabilization on quadriceps femoris muscle torque. *Physical Therapy* 1984;64 (9):1375-1380.
16. Carvallho P, Cabri J. Avaliação isocinética da força dos músculos da coxa em futebolistas. *Revista Portuguesa de Fisioterapia no Desporto* 2007;1:4-12.
17. Giacomoni M, Edwards B, Bambaiechi E. Gender differences in the circadian variations in muscle strength assessed with and without superimposed electrical twitches. *Ergonomics* 2005;48:1473-1487.
18. Silva Neto M, Simões R, Grangeiro Neto JA, Cardone CP. Avaliação isocinética da força muscular em atletas profissionais de futebol feminino. *Rev Bras Med Esporte* 2010;16:33-35.



19. Sole G, Hamren J, Milosavljevic S, Nicholson H, Sullivan SJ. Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88:626-31.
20. Reilly T, Garret R. Investigation of diurnal variation in sustained exercise performance. *Ergonomics* 1998;41(8): 1085-1094.
21. Winget CM, DeRoshia CW, Holley DC. Circadian rhythms and athletic performance. *Med. Sci. Sport. Exerc* 1985;17:498-516.
22. Racinais S, Blanc S, Jonville S, Hue O. Time of day influences the environmental effects on muscle force and contractility. *Med. Sci. Sports Exerc* 2005;37:256-261.
23. Deschenes MR, Kraemer WJ, Bush JA, Doughty TA, Kim D, Mullen KM, Ramsey K. Biorhythmic influences on functional capacity of human muscle and physiological responses. *Med. Sci. Sports Exerc* 1998;30:1399-140.
24. Wyse JP, Mercer TH, Gleeson NP. Time-of-day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. *Br J Sports* 1994;28(3):167-70.
25. [Moussay S](#), [Dosseville F](#), [Gauthier A](#), [Larue J](#), [Sesboüe B](#), [Davenne D](#). Circadian rhythms during cycling exercise and finger-tapping task. *Chronobiol Int* 2002;19(6):1137-49.
26. Cabri J, De Witte B, Clarys JP, Reilly T, Strass D. Circadian variation in blood pressure responses to muscular exercise. *Ergonomics* 1988;31(11):1559-65.
27. Deschenes MR, Laurie LB, Meredith PC, Julia EP, John CW. Aged men display blunted biorhythmic variation of muscle performance and physiological responses. *J Appl Physiol* 2002;92:2319–2325.
28. Reilly T, Brooks GA. Selective persistence of circadian rhythms in physiological responses to exercise. *Chronobiol Int* 1990;7:59-67.
29. Afonso LS, *et al.* Frequência cardíaca máxima em esteira ergométrica em diferentes horários. *Rev Bras Med Esporte* 2006;12:318-322.
30. Teo W, Newton MJ, McGuigan MR. Circadian rhythms in exercise performance: Implications for hormonal and muscular adaptation. *Journal of Sports Science and Medicine* 2011;10:600-606.