

# A influência dos ritmos circadianos no desempenho físico

The influence of circadian rhythms in physical performance

MINATI, A.; SANTANA, M.G.; MELLO, M.T. A influência dos ritmos circadianos no desempenho físico. *R. bras. Ci e Mov.* 2006; 14(1): 75-86.

**RESUMO** - A maioria dos componentes do desempenho físico muda ciclicamente em um período de 24 horas (ritmos circadianos). Em repouso, grande parte desses ritmos são controlados endogenamente pelo relógio biológico, seguindo em grande parte o ritmo da temperatura corporal. Os ritmos circadianos têm sido reportados em vários índices de capacidade aeróbia, anaeróbia e para diversas outras variáveis fisiológicas durante diferentes níveis de exercício. O desempenho pode ser influenciado por diversos fatores, tais como a temperatura corporal, o ciclo sono-vigília, a carga de trabalho, o cronotipo, a constituição da dieta, o sexo, etc. A hora ideal para um melhor desempenho físico depende dos ritmos endógenos, da natureza e da intensidade do exercício, e das influências ambientais. Alterações significativas ocorrem nos ritmos endógenos, os quais são dessincronizados quando ocorrem viagens transmeridianas, ou em trabalhos em turno, em que a perda de sono interage na ritmicidade circadiana, afetando mais as funções cognitivas do que as ações motoras grossas. O objetivo do presente estudo foi o de propiciar o conhecimento das diversas influências dos ritmos circadianos sobre o desempenho físico, na procura de esboçar uma possível contribuição para os técnicos, os atletas e as pessoas que praticam atividade física. Esta revisão demonstrou que, muito dos dados referentes ao desempenho das capacidades físicas nos diferentes períodos do dia, não são totalmente conclusivos, sugerindo assim que novas investigações devem ser realizadas na tentativa de consolidar melhor os conhecimentos nesta linha de pesquisa.

**PALAVRAS-CHAVE:** ritmos circadianos, capacidades físicas, temperatura corporal, desempenho físico.

MINATI, A.; SANTANA, M.G.; MELLO, M.T. The influence of circadian rhythms in physical performance. *R. bras. Ci e Mov.* 2006; 14(1): 75-86.

**ABSTRACT** - Several components of physical performance change cyclically over a 24-h period, such cycles have been referred to what is called circadian rhythms. At rest, great part of physiological circadian rhythms are endogenously controlled by body clock, following the rhythm of the body temperature. The circadian rhythms have been reported in many index of aerobic, anaerobic capacity and in some physiological variables during different levels of exercise. The performance can be influenced by the sleep-wake cycle, workload, psychological stressors, chronotype differences, social interactions, the 'postlunch dip' phenomenon, dietary constituents and gender. The optimal time of day to do exercise is determined by endogenous rhythms, nature and intensity of exercise and also by environmental conditions. Endogenous rhythms are desynchronized when transmeridian travels occur and when nocturnal shift work takes place, because the sleep loss will interact with circadian rhythms affecting more cognitive functions than gross motor actions. The aim of the present study was to improve knowledge of circadian rhythms influences upon performance and provide a scientific data base for coaches, athletes and physical active people so they can organize their daily routine in order to reduce physical impairment and facilitate the optimization of results. It's important to note that the available data until this moment are not totally conclusive so that new research are suggested.

**KEYWORDS:** circadian rhythms, physical capacity, body temperature, physical performance.

Alessandra Minati <sup>1</sup>

Marcos Gonçalves de Santana <sup>2</sup>

Marco Túlio de Mello <sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Fisiologia da Universidade Federal de São Paulo – Escola Paulista de Medicina, UNIFESP-EPM.

<sup>2</sup> Departamento de Psicobiologia da Universidade Federal de São Paulo – Escola Paulista de Medicina, UNIFESP-EPM.

<sup>3</sup> Pesquisador do CNPQ.

Recebimento: 17/2/2004  
Aceite: 28/2/2005

Correspondência: Marco Túlio de Mello. Rua Marselhesa, 535 - 04020-060 – São Paulo, SP. E-mail: tmello@psicobio.epm.br

R. bras. Ci. e Mov. 2006; 14(1): 75-86

### Introdução

A evolução dos seres humanos foi propiciada pelo seu ajuste ao meio ambiente em diversos aspectos, sendo eles anatômicos, fisiológicos e comportamentais. No decorrer do processo evolutivo alguns fatores, como a gravidade, a temperatura e o ciclo claro/escuro, tornaram-se fundamentais para o processo de adaptação<sup>47</sup>.

Os ritmos biológicos se referem às mudanças cíclicas que se repetem regularmente em um determinado tempo e estão relacionadas às alterações dos processos fisiológicos. Os ritmos podem ser denominados de circadiano, ou seja, referentes ao dia solar (24 +/- 4 horas), ultradiano (ciclos com menos de 24 horas) ou infradiano (ciclos com mais de 28 horas)<sup>47</sup>.

Para a mensuração dos ritmos biológicos, a técnica estatística mais comum usada nos estudos cronobiológicos, é a análise do COSINOR, que possui a vantagem de conseguir detectar e evidenciar esses ritmos<sup>2</sup>. A acrofase e a batofase ou nadir de um ritmo são, respectivamente, o ponto máximo e o mínimo de uma curva obtida. O ponto médio entre os valores mais altos e os mais baixos de uma curva é chamado de mesor, ao passo que a amplitude de um ritmo é a metade da diferença entre esses pontos<sup>47</sup>.

São vários os componentes endógenos e exógenos influenciam no processo da ritmicidade diária das inúmeras variáveis

fisiológicas. Alguns fatores externos ajudam no ajustamento dos ritmos do ciclo de 24 horas, os quais são chamados de *zeitgebers* (do alemão *zeit* = tempo; *geber* = dar, marcar), ou marcadores de tempo<sup>45,47</sup>.

Os principais ritmos endógenos para examinar o desempenho físico são aqueles relacionados à temperatura corporal e ao ciclo sono-vigília<sup>45</sup>. O ciclo sono-vigília é persistente, pois, mesmo quando humanos e animais são isolados temporalmente, a ritmicidade tende a se aproximar do período das 24 horas. A manutenção desse ritmo, chamado de livre curso, somente é possível pela ação de um relógio intrínseco (núcleo supra-quiasmático) que controla a seqüência e a duração dos processos envolvidos no referente ciclo<sup>42,47</sup>.

A variação circadiana da temperatura corporal e a sua influência no desempenho físico

A temperatura corporal

A temperatura corporal é controlada endogenamente e apresenta uma variação cíclica no decorrer das 24 horas diárias, e freqüentemente é utilizada como um marcador do ritmo biológico.

Vários estudos<sup>2,15,45,47,62</sup> descrevem que a ritmicidade circadiana da temperatura assume algumas características básicas na sua mensuração, a qual atinge um mínimo durante o sono por volta das 4:00 horas da manhã e começa a aumentar antes do acordar

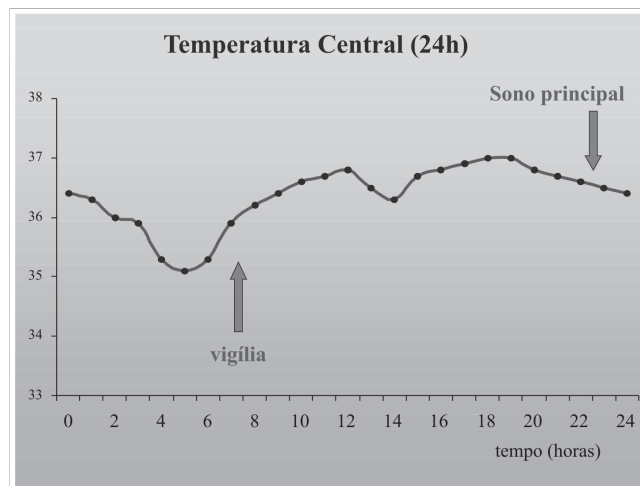


Figura 1 - Gráfico demonstrando as alterações da curva da temperatura corporal central no decorrer de 24 horas seguindo um padrão de sono/vigília (adaptado de Menna-Barreto)<sup>39</sup>.

até atingir a sua acrofase ou seu pico máximo por volta das 18:00 horas (Figura 1). A variação diurna da temperatura atinge o seu mínimo com cerca dos 36 °C pelo início da manhã e um máximo dos 38,5 °C no início da noite, dependendo do indivíduo, sendo que a sua amplitude é de 0.4 a 0.5° C nos adultos jovens.

Em relação aos aspectos termorregulatórios o corpo pode ser dividido em uma parte central e uma periférica. A temperatura central fica relativamente constante a aproximadamente 37° C e é usualmente indicada por medidas da temperatura do tímpano, retal, oral, coleta de urina<sup>46</sup> e pela telemetria por meio de sensor (pílulas)<sup>16</sup>.

A temperatura corporal é regulada por um grupo de células localizadas na porção anterior do hipotálamo, as quais detectam sutis mudanças da temperatura sanguínea<sup>37</sup>.

A estabilidade relativa da temperatura central é mantida independente das mudanças nas condições ambientais. Já a temperatura periférica do corpo é mais variável e sujeita a alterações, havendo normalmente um gradiente de 4° C entre a temperatura central e a da média da pele, o que permite trocas de calor entre o organismo e o meio ambiente. Este processo é acelerado durante o exercício, quando cerca de 80% da energia usada nas contrações musculares podem ser dissipadas sob a forma de calor entre os tecidos<sup>16</sup>.

### A temperatura corporal e o desempenho físico

Embora o desempenho físico e o esportivo sejam determinados por uma série de fatores, inúmeros autores<sup>11,15,26,42,45,47,50,62</sup> sugerem que há muitas evidências indicando que a capacidade do desempenho está intimamente relacionada com a hora em que a temperatura corporal atinge o seu pico. Colaborando com essas afirmações, outros estudos<sup>31,40</sup> relatam que a média mínima do desempenho físico, assim como a velocidade dos processos mentais, parece diminuir durante as horas em que a temperatura se apresenta mais baixa.

Em uma revisão, Winget et al.<sup>62</sup> (1985) descrevem que a hora do pico da temperatura corporal coincide com a hora do pico dos ritmos circadianos do consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>), da taxa de ventilação (VE) e da taxa metabólica, todos ocorrendo entre as 15:00 e as 21:00 horas.

Mais recentemente, Carrier e Monk<sup>11</sup> (2000) sugerem que o ritmo circadiano endógeno do desempenho físico seria controlado pelo mesmo marcador que direciona o ritmo endógeno da temperatura corporal, e que esses marcadores também dirigem outros ritmos fisiológicos, incluindo o cortisol plasmático e a melatonina.

A melatonina, hormônio secretado pela glândula pineal a partir da serotonina, é um importante marcador de inúmeros processos fisiológicos. Sua produção é regulada por uma via multisináptica do relógio biológico, localizada no núcleo supra-quiasmático hipotalâmico, sendo secretada em condições normais entre 21:00 e 07:00 horas. Além de induzir o sono, acredita-se que a melatonina seja um poderoso antioxidante e responsável pelo controle da maioria, se não por todos, os ritmos circadianos<sup>4,37,46</sup>.

Carrier e Monk<sup>11</sup> (2000) descrevem que existem correlações predominantemente positivas entre o bom desempenho e a temperatura mais alta e a melhor vigília subjetiva, assim como correlações predominantemente negativas entre o bom desempenho e os altos níveis do cortisol e da melatonina. As evidências sugeridas por Reilly et al.<sup>46</sup> (1997) é de que o controle da temperatura corporal vai muito além da perda ou do ganho de calor, pois está ligada intimamente as variações circadianas endógenas.

### Os ritmos circadianos em repouso

Inúmeros estudos<sup>15,45,47,62</sup> relatam que, sob condições de repouso, a maioria dos parâmetros fisiológicos demonstram variações cíclicas que correspondem, de uma maneira geral, com o dia de 24 horas. Estes ritmos circadianos têm sido estabelecidos para a temperatura corporal, a frequência cardíaca, o fluxo de sangue, a pressão sanguínea, o VO<sub>2</sub>, o volume expirado de dióxido de carbono (VCO<sub>2</sub>), a resistência pulmonar, as variáveis metabólicas, além de algumas secreções hormonais e estados subjetivos de humor.

#### *Os ritmos circadianos cardiovasculares*

A frequência cardíaca varia com uma amplitude entre os 5 e os 15% dentro das 24 horas diárias, dependendo da extensão da influência de fatores exógenos como o sono, a postura, o nível de atividade e a dieta

alimentar. A sua acrofase, sob condições de atividades controladas, ocorre usualmente por volta das 15:00 horas<sup>2,45,46,62</sup>.

Em um estudo prévio, Winget et al.<sup>62</sup> (1985) descreveram que o ritmo circadiano da pressão sanguínea atinge o pico durante a tarde em associação com o ritmo circadiano da resistência capilar. As revisões de Reilly<sup>45</sup> (1990) Atkinson e Reilly<sup>2</sup> (1996), Reilly et al.<sup>46</sup> (1997), Reilly et al.<sup>47</sup> (2000) consideram muito difícil o controle da pressão sanguínea devido às numerosas influências exógenas, o que a torna sua curva não necessariamente igual à curva clássica dos ritmos endógenos como o da temperatura corporal.

De qualquer forma, um componente endógeno está presente nessas variáveis, provavelmente devido aos efeitos combinados da temperatura central e da adrenalina plasmática, considerando que ambas irão aumentar a frequência cardíaca e a pressão sanguínea durante o dia<sup>47</sup>.

#### *Os ritmos circadianos respiratórios*

Os dois indicadores da resistência aérea pulmonar (volume da expiração forçada e pico do fluxo expiratório) variam de acordo com a hora do dia, caindo a um mínimo entre as 03:00 e as 08:00 horas<sup>2,47</sup>.

Smolensky et al.<sup>35</sup> (1986) reportaram que os pacientes asmáticos exibem maior amplitude nos ritmos das vias aéreas dependendo da gravidade da doença. Os sintomas da asma são exacerbados durante a noite e nas primeiras horas da manhã devido às mudanças no funcionamento dos diversos parâmetros fisiológicos.

#### *Os ritmos circadianos nas variáveis metabólicas*

Dentre os ritmos circadianos estudados, o VO<sub>2</sub> em repouso apresenta uma resposta mínima por volta das 4:00 horas e atinge o seu pico entre as 15:00 e as 19:00 horas. Esta parece ser influenciada em parte pela temperatura corporal, sendo que mudanças nos níveis das catecolaminas circulantes podem também exercer alguma influência sobre o ritmo do consumo de oxigênio<sup>2,47,62</sup>.

Por outro lado, a glicose sanguínea, que é relativamente estável dentro das 24 horas, usualmente apresenta um ritmo de pequena amplitude ultradiana, com níveis de pico correspondente às três refeições diurnas e um quarto aumento no final do ciclo do sono<sup>47</sup>.

#### *Os ritmos circadianos nas secreções hormonais*

A secreção das glândulas endócrinas, particularmente os hormônios tróficos da hipófise anterior exibem um ritmo circadiano. Algumas secreções endócrinas como hormônio do crescimento (GH), testosterona, cortisol e prolactina atingem seu pico durante o sono e sua liberação é influenciada também pelo nível habitual de atividade física.

Existe um consenso entre vários autores<sup>4,29,32,48</sup> de que o exercício nas intensidades apropriadas é um potente estímulo para a secreção do GH e do cortisol. A magnitude da resposta do GH ao exercício ocorre independente da hora do dia, diferente da do cortisol, o que segundo Kanaley et al.<sup>32</sup> (2001) parece ser devido à influência do seu ritmo circadiano.

Os ritmos das catecolaminas, da adrenalina e da noradrenalina são os que mais se correlacionam com o desempenho físico pela sua participação na produção e dissipação do calor<sup>2,48,56,62</sup>. Estudos demonstram que, a resposta simpático-adrenérgica para o exercício, se relaciona mais proximamente com as intensidades relativas dos exercícios do que as absolutas. Enquanto a noradrenalina aumenta acentuadamente em intensidades que excedem os 50% do consumo máximo de oxigênio, os níveis de adrenalina permanecem inalterados até que a intensidade do exercício exceda aproximadamente os 60 % do consumo máximo de oxigênio<sup>37</sup>.

#### *Os ritmos circadianos nos estados subjetivos de humor*

O humor e o estado de alerta subjetivo podem ser importantes para o desempenho físico humano, já que eles podem alterar a predisposição do indivíduo para o trabalho físico extenuante. As evidências sugerem que o estado de alerta e os estados positivos de humor atingem o pico usualmente no início da noite<sup>2</sup>.

#### **Os cronotipos**

A maioria dos parâmetros biológicos e comportamentais apresentam uma ritmicidade circadiana sincronizada com o ciclo claro/escuro<sup>43,60</sup>. Desta forma, a ciência chamada cronobiologia tem desempenhado um papel fundamental no estudo das características temporais dos organismos, ao

dividir a população em três cronotipos básicos (*matutinos moderados e extremos, vespertinos moderados e extremos, e indiferentes*). Esta classificação tem por finalidade avaliar as diferenças individuais na prevalência pelos horários de sono e de vigília<sup>46</sup>.

A avaliação da preferência no horário de dormir e de acordar, ou o enquadramento na tipologia circadiana, é usualmente coletado pela aplicação do questionário de matutividade e vespertinidade<sup>28</sup>. Tal questionário foi validado em diversas linguagens atendendo à necessidade cultural de cada país, como por exemplo França<sup>17</sup>, Japão<sup>54</sup>, Brasil<sup>7</sup> e Alemanha<sup>20</sup>.

De forma geral, mais recentemente Reilly et al.<sup>47</sup> (2000) afirmam que o cronotipo individual parece não influenciar significativamente o desempenho físico. Este fato pode estar ocorrendo devido aos estudos sobre o assunto não terem indivíduos com cronotipos extremos, pois a maioria dos voluntários estudados se enquadram em uma tipologia indiferente.

### O ritmo circadiano no desempenho físico

#### *As variações pela hora do dia*

Os substratos metabólicos bioquímicos são grandemente determinados por influências exógenas e pelas horas das refeições, as quais parecem ser mais importantes na determinação dos efeitos da hora do dia sobre o metabolismo, do que da sua variação endógena circadiana.

Normalmente o ritmo das variáveis do desempenho exibe variabilidade intrasubjetiva maior do que as fisiológicas, pois o desempenho é influenciado por fatores volitivos tais como a vigília e a motivação, em que a motivação pode sobrepor a variação diurna e produzir uma resposta de desempenho uniforme no decorrer das 24 horas diárias<sup>62</sup>.

Em uma outra visão, Winget et al.<sup>62</sup> (1985) citam um modelo em que as mudanças do desempenho estão moduladas pela relação do U invertido (efeito de Yerkes-Dodson). Neste modelo, o desempenho e a vigília melhoram com o despertar até um limiar, a partir do qual começa a decair à medida que as horas de vigília aumentam. Carrier e Monk<sup>11</sup> (2000) denominam essa relação da quantidade de horas em vigília do processo homeostático, e sugerem que a

eficiência do desempenho pode ser influenciada tanto por ele quanto pelas informações recebidas do sistema de temporização circadiana localizado no sistema nervoso central.

A maioria dos ritmos do desempenho físico atinge um platô entre as 12:00 e as 21:00 horas, para então declinar para um mínimo entre as 3:00 e as 6:00 horas. Os estudos medindo os desempenhos motores importantes para os esportes demonstraram que a maioria das medidas variou com a hora do dia, em concordância próxima com a variação da temperatura corporal<sup>45</sup>.

Reilly et al.<sup>46</sup> (1997) descrevem que, os maiores aumentos do condicionamento físico, ocorrem quando as sessões do treinamento árduas são marcadas para o início da noite. Isto parece ser o resultado da adoção de taxas de trabalhos maiores nesse período mais do que qualquer aumento da resposta ao treinamento em si. O exercício no começo da noite pode ser mais seguro e causar menos desconforto, o que em parte pode ser justificado pela diminuição da resistência aérea e ao aumento da capacidade da difusão pulmonar.

#### *Os estados subjetivos de humor e o desempenho psicomotor*

O desempenho psicomotor envolve uma série de tarefas as quais incluem o tempo de reação, a vigilância, as tarefas que apresentam demandas particulares das informações sensoriais, as tomadas de decisão, a destreza, além da utilização das memórias de curto e de longo prazo<sup>46,62</sup>.

Os estados psicológicos subjetivos do humor, do bem estar, do estado de alerta e da fadiga mínima, exibem ritmos circadianos que usualmente atingem o seu pico à tarde e no início da noite. Conseqüentemente, nesses horários, os distúrbios do humor são menores, o que é importante para o desempenho, pois representam índices de vigília, além de poderem alterar a motivação e a predisposição de um indivíduo para um exercício físico árduo<sup>2,46,62</sup>.

Os ritmos circadianos da performance psicomotora, particularmente as tarefas envolvendo operações cognitivas, parecem especialmente direcionadas a sofrer um declínio transiente, tanto da vigília quanto do desempenho, no período após o almoço. Alguns

aspectos do desempenho se deterioram nesse horário, sem necessariamente haver uma diminuição correspondente da temperatura corporal, mesmo se nenhuma ingestão alimentar existir no horário do almoço, embora a refeição o pareça potencializar<sup>41,30,47</sup>.

Winget et al.<sup>62</sup> (1985) consideram que essa queda do desempenho é mais pronunciada quando o trabalho começa mais cedo e é associada com uma queda correspondente dos níveis da adrenalina. Este declínio no desempenho poderia ser explicado por um aumento transiente da fadiga ou da diminuição da vigília.

#### *Os ritmos circadianos e a flexibilidade*

A flexibilidade articular (amplitude de movimento) apresenta uma determinada ritmicidade circadiana, embora grandes diferenças interindividuais em relação ao horário de pico possam ocorrer, variando a ocorrência do seu pico máximo entre as 12:00 e as 24:00 horas<sup>62</sup>. Gifford<sup>19</sup> (1987) observou uma variação circadiana da flexão e da extensão da região lombar, assim como da flexão do tronco, com amplitudes significativas dentro das 24 horas diárias.

É importante levar em consideração o efeito do “encolhimento espinal” que ocorre nos discos intervertebrais que resultam na perda da estatura, se bem que este processo seja revertido à noite durante o sono<sup>33,46,58</sup>. Interessantemente, Voss & Bailey<sup>59</sup> (1997) descrevem que técnicas de alongamento parecem não reduzir a variabilidade circadiana da flexibilidade.

Outra relação importante que tem sido considerada é a de que a rigidez muscular aumenta a medida que a temperatura corporal diminui e, portanto, a sua curva pode ser relacionada com a queda da temperatura ao final do dia, embora a influência de fatores exógenos, como por exemplo a quantidade da atividade física realizada, deva ser considerada<sup>2,45</sup>.

#### *Os ritmos circadianos e a força muscular*

Uma variável muito explorada nos estudos cronobiológicos é a capacidade física da força, a qual tem sido bastante utilizada por ser um excelente marcador biológico para o desempenho físico, proporcionado pela facilidade da sua mensuração e a relação existente entre o seu ritmo com os outros ritmos fisiológicos, especialmente o da

temperatura corporal. Apesar da especificidade de cada esporte, a força muscular consistentemente atinge o seu pico ao início da noite, independentemente do grupo muscular medido ou da velocidade da contração<sup>2,46</sup>.

Exemplificando, o ritmo da força de preensão manual isométrica atinge seu pico entre as 14:00 e as 19:00 horas com uma amplitude de 6% dentro da média das 24 horas<sup>2,46</sup>, sendo que a variação máxima e a mínima pode ser três vezes maior do que a normal nos pacientes com artrite reumatóide<sup>6,21</sup>.

Reilly et al.<sup>45</sup> (1990) descreveram em seus estudos dois picos de força, um no final da manhã e outro ao fim da tarde e início da noite. O desempenho apresenta um declínio transiente entre esses horários do dia, ocorrendo uma queda do desempenho após o almoço mesmo nos protocolos experimentais que fazem correções equacionais<sup>10,47</sup>. Vários estudos<sup>2,13,18,46</sup> descrevem que o pico da força isométrica de outros grupos musculares, como a força da flexão do cotovelo e a força do dorso, também ocorrem ao início da noite quando comparados com o período da manhã.

Abordando o controle motor, Winget et al.<sup>62</sup> (1985) relataram a existência de uma significativa variação diurna do tremor postural dos dedos (6-14 Hz), o qual apresenta o pico máximo pelas 11:00 horas, o que pode ser resultante do ritmo circadiano das catecolaminas.

#### *Os ritmos circadianos e potência anaeróbia*

Os ritmos circadianos da potência anaeróbia têm sido identificados em medidas laboratoriais e em testes convencionais de atividade dinâmica de curta duração. Hill e Smith<sup>27</sup> (1991), por meio de uma versão modificada do teste de Wingate, mediram a capacidade e potência anaeróbia em 4 horários diferentes do dia, em que o pico da potência foi relatado como sendo maior no período da noite. Resultados similares foram encontrados também para a potência média dentro do período de 30 segundos neste teste. Entretanto, descrições feitas por Reilly e Down<sup>52</sup> (1992) não encontraram uma alteração significativa no pico da potência ou na potência média do teste de Wingate, o que pode ter sido influenciado pelas diferenças dos protocolos pré-teste.

Critérios mais simples de desempenho, tais como a duração em que uma taxa de trabalho de alta intensidade pode ser mantida, apresentam variação conforme a hora do dia. Vários estudos<sup>5,23,45,49</sup> relatam trabalhos mais longos e picos maiores da produção do lactato sanguíneo, que ocorrem quando as sessões de exercícios de alta intensidade são realizados a noite. Os autores, nestes estudos, concluem que o desempenho noturno é superior e pode ser atribuído a uma maior tolerância às altas intensidades (95% VO<sub>2</sub>max – 95% do consumo máximo de oxigênio) nesses horários, a qual está proximamente associada com a acrofase da temperatura corporal.

A hora do dia também influencia a realização dos esforços explosivos como o salto horizontal em pé e o teste de corrida na escada, que apresentam uma acrofase ao fim da tarde<sup>51, 52</sup>.

Johnson et al.<sup>31</sup> (1982) descrevem que poucos são os estudos que examinam tarefas esportivas que apresentem variação circadiana na demanda tanto para a velocidade quanto para a força. Um dos poucos estudos foi conduzido por Atkinson e Speirs<sup>3</sup> (1998) com jogadores de tênis analisando o primeiro e segundo serviços. Os autores concluem que o tempo do dia não influenciou a performance nos serviços de tênis, sugerindo também pelos dados uma característica não linear na relação entre a velocidade e a precisão nos serviços.

### As respostas fisiológicas ao exercício

#### *As variáveis cardiovasculares e ventilatórias*

As freqüências cardíacas durante o exercício variam com a hora do dia e são consistentemente mais baixas à noite, independentemente da taxa de trabalho. Embora esse padrão temporal seja aparente na recuperação das freqüências cardíacas após uma sessão de exercícios, a sua resposta ao exercício máximo apresenta uma amplitude reduzida quando comparada à do ritmo em repouso<sup>45</sup>.

Alguns autores<sup>15,25,45</sup> relatam que tanto a pressão sistólica quanto a diastólica não parecem variar com a hora do dia após uma sessão de exercício, embora Cabri et al.<sup>8</sup> (1988) tenham descrito anteriormente uma variação circadiana na pressão diastólica pós exercício com a acrofase entre as 00:00 e as 02:00 horas. De qualquer forma, parece ser um consenso que as condições pré-exercício podem mascarar as variações da pressão sanguínea.

#### *Os parâmetros metabólicos*

Vários estudos, envolvendo os programas de exercícios aeróbios submáximos<sup>12,22,34,35,44,57</sup>, descrevem resultados em que as taxas metabólicas do Vo<sub>2</sub> aparecem como sendo maiores nos períodos da tarde e da noite.

Reilly et al.<sup>47</sup> (2000) descrevem que uma ritmicidade nas respostas no VO<sub>2</sub> com uma intensidade abaixo dos 150W foi evidente independentemente das mudanças da massa corporal. Por outro lado, nenhuma variação circadiana foi encontrada para as taxas do VCO<sub>2</sub>, ou para as taxas das trocas respiratórias (RER) durante o exercício.

#### *As taxas de esforço percebido*

As variações circadianas nas reações subjetivas ao exercício podem ser uma alternativa para explicar os ritmos dos desempenhos nos exercícios máximos em relação à taxa de esforço despendida em cada atividade<sup>2,47,53</sup>. Embora Reilly et al.<sup>46</sup> (1997) tenham sugerido que as taxas subjetivas reportadas como sendo maiores à noite, podem ter sido devido às maiores intensidades dos exercícios e não a qualquer variação circadiana das taxas do esforço percebido.

Em um estudo prévio, Hill et al.<sup>24</sup> (1989) analisaram o desempenho dos exercícios acima e abaixo do limiar ventilatório. Nas intensidades abaixo do limiar ventilatório, a taxa do esforço percebido foi a mesma tanto pela manhã quanto no período da tarde. Acima do limiar a taxa do trabalho foi percebida como menos extenuante no período da manhã, sendo que cerca de 20% dessa diferença pode ser explicada pela menor demanda ventilatória nesse período.

Reilly<sup>45</sup> (1990) reportou em seu estudo que, quando os indivíduos se exercitaram em níveis expressos em relação ao VO<sub>2</sub>max mais do que pela freqüência cardíaca, as taxas do esforço percebido demonstram uma variação circadiana, mas somente durante os exercícios de alta intensidade. Reilly et al.<sup>46</sup> (1997) relatam ainda que o exercício de baixa intensidade, realizado muitas vezes no período que compreende as 24 horas, pode mediar um aumento transiente da taxa do esforço percebido após o almoço, sem um aumento correspondente da freqüência cardíaca submáxima.

Outro ponto abordado é a percepção da dor, a qual parece ser mediada por mecanismos

endógenos que, supõe-se, estejam separados daqueles relacionados com a percepção do esforço<sup>46,62</sup>.

### As diferenças individuais nos ritmos do desempenho

A acrofase do ritmo da temperatura oral ocorre sutilmente mais cedo nos matutinos quando comparados aos vespertinos. Tem sido reportado para os matutinos um avanço de fase para ritmos em alerta subjetivo, bem como uma tendência mais pronunciada para a queda do desempenho físico após o período do almoço, quando comparados com os indivíduos vespertinos e indiferentes<sup>46</sup>.

Atkinson e Reilly<sup>46</sup> (1996) relatam que as variações diurnas da frequência cardíaca submáxima, da taxa de esforço percebido e do VO<sub>2</sub>, não foram afetados pelo cronotipo individual. Entretanto, o VO<sub>2</sub>max (consumo máximo de oxigênio) nos tipos vespertinos foi melhor à noite, enquanto o dos tipos matutinos não foi afetado pela hora do dia. Entretanto, Hill et al.<sup>25</sup> (1988) já haviam descrito anteriormente que, embora os vespertinos tenham apresentado maior VO<sub>2</sub>max à noite, as variações diurnas na maioria das respostas ao exercício foram as mesmas para ambos os tipos de cronotipo.

### O sono e o exercício físico

O sono é consistido por um ciclo de estágios bem definidos que ocorrem a cada 90 minutos. Existem dois tipos de sono que são o Sono de Movimentos Rápidos dos Olhos (MOR) ou REM (rapid eye movements) ou paradoxal, que compõe grosseiramente 20% do tempo total do sono, e o sono não-REM que é subdividido em 4 partes (estágios 1,2,3 e 4)<sup>97</sup>.

Os modelos teóricos que buscam explicar os efeitos do exercício sobre o sono estão associados às hipóteses termorregulatórias, às conservação de energia e à da restauração corporal, sendo que estas duas últimas se baseiam nos mecanismos homeostáticos reguladores do sono, sugerindo que a duração total do episódio do sono aumenta em função do aumento do gasto energético<sup>36,46</sup>.

Martins et al.<sup>36</sup> (2000) descrevem que, a importância do sono adequado na recuperação corporal entre as sessões de treinamento, torna-se mais evidente em vista da associação entre a secreção do GH e o sono de ondas lentas (NREM – não REM).

Youngstedt et al.<sup>63</sup> (1997), numa visão geral, concluíram no seu trabalho que os benefícios do exercício sobre a qualidade do sono seriam pequenos para pessoas que já costumam dormir bem.

### Os distúrbios dos ritmos

Os seres humanos frequentemente precisam de lidar com os distúrbios nos ritmos quando o sistema da troca dos turnos é adotada no trabalho, ou quando zonas de fuso horário são atravessadas devido a viagens para as diferentes partes do mundo.

Deve ser notado que a troca de turno no trabalho e o cruzamento das zonas de fuso horário não são cronobiologicamente idênticas. A consideração da troca de turno é mais complexa pelo fato de não ser um evento isolado. Quando múltiplas zonas são cruzadas uma pessoa é normalmente exposta a todos os zeitgebers do novo meio ambiente, já durante cada rotação de turno qualquer mudança na fase do ritmo de uma pessoa ocorre enquanto alguns zeitgebers ainda estão associados com o dia (ex.: ciclo claro/escuro)<sup>2</sup>.

Quanto as viagens transmeridionais há poucas evidências que sugiram que, o exercício por ele mesmo, possa alterar a velocidade do ajustamento do relógio biológico humano. Parece que, combinar uma exposição à luz com um exercício em local aberto e relaxamento com ausência de luz, pode ser uma forma de facilitar esse ajustamento nos atletas<sup>2</sup>. Tal trabalho foi desenvolvido com os atletas paraolímpicos brasileiros que disputaram as paraolimpíadas em Sidney 2000. O trabalho da adaptação ao fuso horário de Sidney obteve excelentes resultados e, com certeza, contribuiu para o número de medalhas obtidas pela equipe paraolímpica brasileira<sup>38</sup>.

### Discussão

A variação dos ritmos circadianos é evidente nas funções fisiológicas sob condições de repouso, sendo que o exercício impõe uma perturbação nesse sistema. A existência e a influência do relógio biológico, que normalmente é ajustado dia a dia pela regularidade do nosso estilo de vida e pelas formas a que este vai nos expor aos ritmos ambientais, pode fazer a diferença entre o sucesso e o fracasso em um contexto competitivo.



O desempenho atlético resulta da integração dos vários processos dinâmicos fisiológicos que contribuem em graus diferentes aos vários tipos de atividades. A melhor hora para a otimização do desempenho para um determinado evento vai depender da importância relativa que cada sistema fisiológico possui, já que os diferentes componentes rítmicos atingem o seu pico em horários diferentes do dia.

É consenso entre os pesquisadores que as mensurações dos desempenhos motores importantes para os esportes demonstram que a maioria das medidas está em concordância próxima com a variação da temperatura corporal. Para exemplificar, pode-se observar que os recordes mundiais nos esportes são usualmente quebrados por atletas competindo no início da noite, exatamente no horário no qual a temperatura corporal é maior<sup>47</sup>.

Normalmente ficamos cientes dos nossos ritmos circadianos somente quando os vários mecanismos da manutenção do tempo que sustentam esses ritmos estão dessincronizados. De qualquer forma, não podemos falar de um único e simples ritmo para o desempenho físico, já que, além das influências da temperatura corporal, do ciclo sono-vigília e dos diferentes horários de pico das diversas variáveis fisiológicas, outros fatores tais como a motivação, a alimentação e as próprias interações sociais podem gerar um grande impacto no nível do desempenho e influenciar os seus resultados.

Além disso, existe a dificuldade experimental de quantificar os ritmos circadianos e a sua influência no desempenho, já que pode haver perda de dados durante o sono, ou ocorrem distúrbios do sono entre os testes, o que pode gerar alguma confusão na análise dos resultados<sup>62</sup>. O controle das condições ambientais também é extremamente difícil, o que, sob condições laboratoriais e em testes simulados, tem levado os pesquisadores a considerar os efeitos da hora do dia no desempenho. Precisamos lembrar ainda que os procedimentos do aquecimento físico antes da realização dos diversos testes talvez tenham mascarado algum ritmo que pudesse estar presente.

Observando os estudos realizados encontramos indícios de que o alcance da oscilação circadiana nos parâmetros do exercício geralmente decai de acordo com o

aumento do nível do exercício. Os atletas podem ser orientados para programar o seu treinamento mais árduo no período da noite, já que a maioria dos componentes do desempenho esportivo, com exceção para tarefas da memória de curta duração e da coordenação fina, atinge o seu pico ao início da noite quando da proximidade do valor máximo da temperatura corporal.

Os ritmos diurnos no tempo de reflexo e nos tremores podem ser significativos nos eventos atléticos que requer um controle muscular tais como a arquearia e a ginástica<sup>2</sup>. Monk et al.<sup>41</sup> (1996) sugerem que a queda do desempenho que ocorre logo no início da tarde parece ser um fenômeno endógeno e individualmente determinado. Já a força máxima de um teste, referente a uma contração máxima, pode ser dependente tanto de fatores centrais (ex.: motivação) quanto de periféricos (ex.: neuromuscular), embora ainda não se saiba qual desses fatores é o mais predominante.

Conhecimentos na área da cronobiologia podem ser importantes para que um planejamento meticuloso possa ser feito no sentido de otimizar os resultados do desempenho físico e esportivo. Algumas informações como o melhor horário para transmitir instruções complexas, o melhor horário para um desempenho físico árduo, o aproveitamento das variações circadianas para as programações das refeições, o conhecimento da percepção individual do esforço e das noções sobre os efeitos deletérios da perda de sono podem auxiliar técnicos e atletas a otimizarem o desempenho de treinamento. Para colaborar com os eventos esportivos escalados em horários impróprios e não usuais pode ser vantajoso para o atleta ajustar as horas do sono e da vigília para que assim o evento atlético possa coincidir com a hora de pico alterado dos seus ritmos. De qualquer forma é importante relatar que Reilly et al.<sup>46</sup> (1997) descrevem que parece pouco provável que o treinamento habitual pela manhã durante muitas semanas possa reverter completamente a superioridade vespertina de estímulo para o treinamento.

Presumindo que a magnitude dos efeitos mascaradores do exercício nos ritmos circadianos não variam com a hora do dia, é viável deduzir que os ritmos fisiológicos das variáveis em repouso deveriam ser mantidos

durante o exercício. No entanto, alguns ritmos circadianos em resposta ao exercício respondem diferentemente, alguns deles são mantidos, desaparecem, ou são indetectáveis quanto à amplitude, enquanto outros se tornam mais marcantes. Esses resultados poderiam ser atribuídos a erros experimentais ou a efeitos mascaradores, além do que a intensidade do exercício e a aptidão dos indivíduos poderiam influenciar os ritmos circadianos do exercício. Apesar das muitas conclusões que podem ser tiradas das evidências que atualmente estão disponíveis, novos estudos são necessários no sentido de ampliar os conhecimentos acerca da influência do relógio biológico no desempenho físico e

esportivo, sendo também importante sempre levar em consideração as características individuais.

Outro ponto a se destacar é a importância de se obter um bom nível da adaptação dos ritmos circadianos, principalmente em relação às capacidades físicas dos atletas que irão participar de competições em que os horários habituais de treinos, provas ou jogos, foram alterados por viagens transmeridionais. Uma boa adaptação ao fuso horário para o local da competição poderá auxiliar o rendimento esportivo, tendo como principais respostas a minimização dos erros cognitivos, da fadiga e dos demais prejuízos do desempenho físico.

### Referências Bibliográficas

1. Adan A, Natale V. Gender differences in morningness-eveningness preference. **Chronobiol Int.** 2002; 19(4): 709-720.
2. Atkinson G, Reilly T. Circadian variation in sports performance. **Sports Med.** 1996; 21(4): 292-312.
3. Atkinson G, Speirs L. Diurnal variation in tennis service. **Perceptual Motor Skills.** 1998; 86: 1335-1338.
4. Bailey SL, Heitkemper MM. Circadian rhythmicity of cortisol and body temperature: morning-eveningness effects. **Chronobiol Int.** 2001; 18(2): 249-261.
5. Baxter C, Reilly T. Influence of time of day on all-out swimming. **Br J Sports Med.** 1983; 17(2): 122-127.
6. Bellamy N, Sothorn RB, Campbell J, Buchanan WW. Rhythmic variation in pain, stiffness and manual dexterity in hand osteoarthritis. **Ann Rheum Dis.** 2002; 1(12): 1075-1080.
7. 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.
8. Cabri J, DeWitte B, Clarys JP, Reilly T, Strass D. Circadian variation in blood pressure responses to muscular exercise. **Ergonomics.** 1988; 31(11): 1559-1565.
9. Callard D, Davenne D, Gauthier A, Lagarde D, Van Hoecke J. Circadian rhythms in human muscular efficiency: continuous physical exercise versus continuous rest. A crossover study. **Chronobiol Int.** 2000; 17(5): 693-704.
10. Carrier J, Monk TH. Circadian rhythms of performance: new trends. **Chronobiol Int.** 2000; 17(6): 719-732.
11. Carter H, Jones AM, Maxwell NS, Doust JH. The effect of interdiurnal and diurnal variation on oxygen uptake kinetics during treadmill running. **J Sports Sci.** 2002; 20: 901-909.
12. Coldwells A, Atkinson G, Reilly T. Sources of variation in back and leg dynamometry. **Ergonomics.** 1994; 37(1): 79-86.
13. Coyne MD, Kesick CM, Doherty TJ, Kolka MA, Stephenson LA. Circadian rhythm changes in core temperature over the menstrual cycle: method for noninvasive monitoring. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.** 2000; 279(4): R1316-320.
14. Deschenes MR, Sharma JV, Brittingham KT, Casa DJ, Armstrong LE, Maresh CM. Chronobiological effects on exercise performance and selected physiological responses. **Eur J Appl Physiol.** 1998; 77: 249-256.
15. Edwards B, Waterhouse J, Reilly T, Atkinson G. A comparison of the suitability of rectal, gut and insulated axilla temperatures for measurement of the circadian rhythm of core temperature in field studies. **Chronobiol Int.** 2002; 19 (3): 579-597.
16. Foret J, Benoit O, Royant-Parola S. Sleep schedules and peak times of oral temperature and alertness in morning and evening 'types'. **Ergonomics.** 1982; 25(9): 821-827.

17. Gauthier A, Davenne D, Martin A, Cometti G, Van Hoecke J. Diurnal rhythm of the muscular performance of elbow flexors during isometric contractions. **Chronobiol Int.**1996; 13(2): 135-146.
18. Gifford LS. Circadian variation in human flexibility and grip strength. **Aust J Physiotherapy.** 1987; 33: 3-9.
19. Griefahn B, Künemund C, Bröde P, Mehnert P Zur Validität der deutschen Übersetzung des Morningness-Eveningness-Questionnaires von Horne und Östberg. **Somnologie.** 2001; 5:71-80.
20. Harkness JA, Richter MB, Panayi GS, Van de Pette K, Urger A, Pownall R, et al. Circadian variation in disease activity in rheumatoid arthritis. **Br Med J (Clin Res Ed).** 1982; 284(6315): 551-554.
21. Hill DW. Effect of time of day on aerobic power in exhaustive high-intensity exercise. **J Sports Med Phys Fitness.** 1996; 36: 155-160.
22. Hill DW, Borden DO, Darnaby Km, Hendricks DN, Hill CM. Effect of time of day on aerobic and anaerobic responses to high intensity exercise. **Can J Sports Sci.** 1992; 17(4): 316-319.
23. Hill DW, Cureton Kj, Collins MA. Effect of time of day on perceived exertion at work rates above and below the ventilatory threshold. **Res Q Exerc Sport.** 1989; 60(2): 127-133.
24. Hill DW, Cureton KJ, Collins MA, Grisham SC. Diurnal variations in responses to exercise of "morning types" and "evening types" **J Sports Med.** 1988;28: 213-219.
25. Hill DW, Cureton KJ, Collins MA, Grisham SC. Effect of the circadian rhythm in body temperature on oxygen uptake. **J Sports Med Phys Fitness.** 1988; 28(3): 310-312.
26. Hill DW, Smith JC. Circadian rhythm in anaerobic power and capacity. **Can J Sports Sci.** 1991; 16(1): 30-32.
27. Horne JA, Ostberg O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. **Int J Chronobiol.** 1976; 4(2): 97-110.
28. Jacks DE, Sowash J, Anning J, McGloughlin T, Andres F. Effect of exercise at three exercise intensities on salivary cortisol. **J Strength Cond Res.** 2002; 16(2): 286-289.
29. Javierre C, Ventura JL, Segura R, Calvo M, Garrido E. Is the postlunch dip in sprinting performance associated with the timing of food ingestion? **Rev Esp Fisiol.** 1996; 52(4): 247-253.
30. Johnson MP, Duffy JF, Dijk DJ, Ronda JM, Dyal CM, Czeisler CA. Short-term memory, alertness and performance: a reappraisal of their relationship to body temperature. **J Sleep Res.** 1992; 1: 24-29.
31. Kanaley JA, Weltman JY, Pieper KS, Weltman A, Hartman ML. Cortisol and growth hormone responses to exercise at different times of day. **J Clin Endocrinol Metab.** 2001; 86: 2881-2889.
32. Leatt P, Reilly T, Troup JD. Spinal loading during circuit weight-training and running. **Br J Sports Med.** 1986; 20(3): 119-124.
33. Marth PD, Woods RR, Hill DW. Influence of time of day on anaerobic capacity. **Percept Motor Skills.** 1998; 86: 592-594.
34. Martin L, Thompson K. Reproducibility of diurnal variation in submaximal swimming. **Int J Sports Med.** 2000; 21: 387-392.
35. Martins PJF, Mello MT, Tufik S. Exercício e sono. **Rev Bras Med Esporte.** 2001 7(1): 28-35.
36. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. **Exercise Physiology.** 5ª ed. Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, 2001.
37. Mello MT. (org) Paraolimpíadas Sidney 2000: **Avaliação e prescrição do treinamento dos atletas brasileiros.** São Paulo: Editora Atheneu, 2002.
38. Menna-Barreto, **Cronobiologia,** 2002. Disponível em: <http://www.crono.icb.usp.br>.
39. Monk TH, Buysse DJ, Reynolds CF, Berga SL, Jarrett DB, Begley AE, et a.
40. Circadian rhythms in human performance and mood under constant conditions. **J Sleep Res.** 1997; 6(1): 9-18.
41. Monk TH, Buysse DJ, Reynolds CF, Kupfer DJ. Circadian determinants of the postlunch dip in performance. **Chronobiol Int.** 1996; 13(2): 123-133.
42. Moore RY. Circadian rhythms: basics neurobiology and clinical applications. **Annu Rev Med.** 1997; 48: 253-266.
43. Moore RY, Silver R. Suprachiasmatic nucleus organization. **Chronobiol Int.**1998; 15(5): 475-487.

44. Reilly T. Circadian variation in ventilatory and metabolic adaptations to submaximal exercise. **Br J Sports Med.** 1982; 16:115-116.
45. Reilly T. Human circadian rhythms and exercise. **Biomedical Engineering** 1990; 18: 165-179.
46. Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. **Biological rhythms and exercise.** Oxford University Press: New York, 1997, 162 p.
47. Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. **Chronobiology and physical performance.** In: Garret WE., Kirkendall DT (ed). Exercise and sport science. 1ed. Philadelphia: Williams & Wilkins, 2000. Cap.24,p.351-372.
48. Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. Exercise, circadian rhythms and hormones. **Sports Endocrinology.** 2000, p. 391-420.
49. Reilly T, Baxter C. Influence of time of day on reactions to cycling at a fixed high intensity. **Br J Sports Med.** 1983; 17(2): 128-130.
50. Reilly T, Brooks GA. Exercise and the circadian variation in body temperature measures. **Int J Sports Med.** 1986; 7(6): 358-362.
51. Reilly T, Down A. Circadian variation in the standing broad jump. **Percept Motor Skills.** 1986; 62: 830.
52. Reilly T, Down A. Investigation of circadian rhythm in anaerobic power and capacity of the legs. **J Sports Med Phys Fitness.** 1992; 32(4):343-347.
53. Reilly T, Garret R. Investigation of diurnal variation in sustained exercise performance. **Ergonomics.** 1998; 41(8): 1085-1094.
54. Shihara K, Saitoh T, Inoue Y, Miyata Y. Validity of the Japanese version of the Morningness-Eveningness Questionnaire. **Percept Mot Skills** 59:863-866, 1984.
55. Smolensky MA, Barnes PJ, Reinberg A, McGovern JP. Chronobiology and asthma. Day-night differences in bronchial patency and dyspnea and circadian rhythm dependencies. **J Asthma.** 1986; 23(6): 321-343.
56. Stephenson LA, Winger CB, O'Donovan BH, Nadel, ER. Circadian rhythms in sweating and cutaneous blood flow. **Amer J Physiol.** 1984; 246: R321-324.
57. Torii J, Shinkai S, Hino S, Kurokawa Y, Tomita N, Hirose M, et al. Effect of time of day on adaptative response to a 4-week aerobic exercise program. **J Sports Med Phys Fitness.** 1992; 31: 348-352.
58. Tyrrell AR, Reilly T, Troup JD. Circadian variation in stature and the effects of spinal loading. **Spine.** 1985; 10(2): 161-164.
59. Voss LD, Bailey BJ. Diurnal variation in stature: is stretching the answer? **Arch Dis Child.** 1997; 77(4): 319-322.
60. Wehr TA. A 'clock for all seasons' in the human brain. **Prog Brain Res.** 996; 111: 321-342.
61. Wever RA. Sex differences in human circadian rhythms: intrinsic periods and sleep fractions. **Experimentia.** 1984; 40(11): 1226-1234.
62. Winget CM, DeRoshia CW, Holley DC. Circadian rhythms and athletic performance. **Med Sci Sports Exerc.** 1985; 17 (5): 498-516.
63. Youngstedt SD, O'Connor PJ, Dishman RK. The effects of acute exercise on sleep: A quantitative synthesis. **Sleep.** 1997; 20(3): 203-214.