

Este trabalho tinha como questão central a análise da relação existente entre o consumo de oxigénio e a frequência de estimulação muscular num esforço aeróbio supra-máximo realizado até à exaustão. Para tal, procedemos ao estabelecimento de um desenho experimental consistente com os objectivos inicialmente definidos.

Apresentados os resultados, passamos agora à sua discussão, tendo em consideração estudos paralelos de outros autores.

A caracterização antropométrica da amostra permitiu encontrar valores relativos ao Índice de Massa Corporal (IMC) de  $24,7 \pm 1,8$  kg/m<sup>2</sup>; estes poderão considerar-se elevados em relação aos parâmetros estabelecidos como norma. Devemos, no entanto, ter em conta a percentagem de massa gorda identificada e o tempo de actividade física realizado semanalmente pelos sujeitos. Segundo a classificação apresentada por Pollock e Wilmore (1993), para sujeitos com idades compreendidas entre os 18 e os 25 anos, o valor da percentagem de gordura identificada no nosso estudo ( $12,3 \pm 2,7\%$ ) situa-se no patamar “*acima da média*”, o que, na referida escala, é referido como sendo um valor baixo. A regularidade na prática de actividade física ( $5,4 \pm 0,5$  horas semanais) constitui também um aspecto importante, que nos permite considerar os sujeitos como fisicamente bem constituídos e possuidores de uma musculatura bem desenvolvida. Assim sendo, a classificação segundo o IMC (relação estatura/massa corporal), não pode aplicar-se às características da amostra seleccionada.

Segundo Léger (1996), embora muitas regras sejam aplicadas, não existe um protocolo e um ergómetro que seja apropriado para todos os sujeitos, sejam eles atletas ou não, indivíduos normais ou obesos, novos ou velhos, etc.

Neste estudo foi utilizado um teste aeróbio proposto por Balke para cicloergómetro. O mesmo é considerado como contínuo, com incrementos de carga progressiva por patamares, sendo um teste supra-máximo (até à exaustão).

Sendo definida como uma prova de avaliação cardio-respiratória supra-máxima, o teste aeróbio de Balke, para cicloergómetro, foi realizado até o momento em que o sujeito atingiu um estado de exaustão tal que o incapacitou de prosseguir com o esforço a 60 rpm. Em média, o tempo de duração do protocolo foi de  $16,0 \pm 2,1$  minutos o que, segundo Maud e Foster (1995), está dentro daqueles que são considerados os

parâmetros mais indicados. Segundo estes autores, um teste máximo não deverá ultrapassar os 20 minutos, considerando-se que, para além destes, a falta de motivação dos sujeitos poderá resultar na obtenção de resultados pouco fiáveis. Atendendo ao tempo médio de duração do protocolo, a análise dos resultados teve por base os catorze minutos iniciais.

Entenda-se que se considera o final do protocolo o momento em que os sujeitos alcançam um estado de exaustão (fadiga) geral do organismo, ao qual se relaciona o aumento do consumo de oxigénio, dos valores de lactato sanguíneo e da frequência cardíaca. Começamos, então, por discutir a variação no consumo de  $O_2$  e a consequente produção de  $CO_2$  ao longo do teste.

No que concerne aos resultados relativos ao consumo de  $O_2$  e produção de  $CO_2$ , durante os catorze minutos de teste, verificamos uma subida substancial nos primeiros minutos do exercício (Barstow, 1994), seguida de uma subida constante estreitamente relacionada com o incremento da carga. De facto, estudos anteriores (Henson et al., 1989; Poole et al., 1994; Whipp et al., 1972; Zoladz et al., 1995; Zoladz et al., 1998) demonstraram a existência de uma relação linear entre a produção de força e o consumo de oxigénio.

Por volta do minuto treze, de acordo com os nossos resultados, é atingido o limiar ventilatório, momento em que os valores de produção de  $CO_2$  se superiorizam aos de consumo de  $O_2$ . Devido, quer à possível fadiga local, quer à contribuição do sistema energético anaeróbio, os valores do quociente respiratório acima da unidade, no final do teste, são indicadores da solicitação da via anaeróbia e, portanto, de esforço máximo (Rowland, 1996). Não verificamos, no entanto, uma estabilização no consumo de  $O_2$  após o limiar ventilatório para a maioria dos sujeitos, o que está de acordo com os resultados de Zoladz et al. (1998). Estes autores referem que, se o aumento de carga é lento, o consumo de oxigénio tenderá também a aumentar quando é ultrapassado o limiar de troca de gases. Armstrong et al. (1996) demonstram também que o exercício realizado para além deste ponto é suportado pela fonte anaeróbia, daí resultando a acumulação de ácido láctico.

Os valores da concentração de lactato no sangue ( $> 8 \text{ mmol.L}^{-1}$ ), verificados cinco minutos após o teste, são também indicadores do estado de exaustão global do

organismo, permitindo considerar, segundo Maud e Foster (1995), que o  $VO_2$ máx foi atingido.

De acordo com investigações anteriores não foram encontrados resultados conclusivos acerca da influência dos níveis de lactato no consumo de oxigénio ao longo do esforço. Os nossos resultados não indicam a existência de qualquer correlação entre o  $VO_2$ máx ou a média de  $VO_2$  no último minuto, e os valores de lactato sanguíneo obtidos no final do teste. Também num estudo desenvolvido por Lúcia et al. (2002), em que os sujeitos realizaram um teste no cicloergómetro (com incrementos de cargas de 5 W de 15 em 15 segundos, começando com uma carga de 20 W) pedalando a uma velocidade situada entre os 70 a 80 rpm, não foram encontradas correlações entre a variação no  $VO_2$  e a acumulação de lactato sanguíneo. Em estudos realizados por Poole et al. (1994) e Gaesser (1994), os resultados indicam que o nível elevado de lactato, *per si*, não aumenta quer o consumo muscular de  $O_2$ , quer o consumo geral de  $O_2$ .

De acordo com Davis e Kasch (1975), os valores de  $VO_2$ máx são aproximadamente 10% inferiores no cicloergómetro, comparativamente com a passadeira rolante. Tal facto deve-se aos grupos musculares envolvidos e a uma menor percentagem de utilização da massa muscular total.

Os resultados relativos aos valores de consumo máximo de oxigénio ( $VO_2$ máx), demonstram a existência de diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre os valores relativos medido e calculado. Tal não deveria de ocorrer, pelo que, consideramos a fórmula proposta como não sendo a mais indicada para que se obtenha, através do método indirecto, um valor de  $VO_2$ máx correcto. Resultando em valores considerados abaixo dos reais, o uso do método indirecto não parece ser fiável para avaliar este parâmetro.

No que respeita à monitorização da frequência cardíaca, os resultados indicam um aumento progressivo e constante ao longo de todo teste.

Maud e Foster (1995) consideram, para esforços com consumo máximo de oxigénio, valores de frequência cardíaca acima de 85% da  $FC$ máx, quando esta é calculada através da idade, tal como aconteceu no nosso estudo. Estes valores, quando correlacionados com os valores de consumo de  $O_2$  indicam a existência de uma elevada correlação ( $r = 0.981$ ). Ainda mais elevada ( $r = 0.987$ ) é a que encontramos entre a  $FC$  e

produção de CO<sub>2</sub>. Os resultados vão de encontro aos obtidos por outros estudos, que demonstram que a frequência cardíaca aumenta em proporção directa à captação de O<sub>2</sub> durante um exercício prolongado e com uma taxa de trabalho constante (Brenzelmann, 1983; Kenny, 1988; Powers, 1982; Rubin, 1987). Herman (2003), sugere mesmo que a FC aparenta ser um método fiável para a prescrição de exercício abaixo do limiar anaeróbio.

No que respeita à avaliação da percepção do esforço não foram encontradas, no presente estudo, correlações significativas com o VO<sub>2</sub>máx atingido ou com concentração de lactato sanguíneo no final do teste. Outras investigações (Stoudemire et al., 1996) porém, observaram que ajustando a intensidade para atingir um alvo de percepção subjectiva de esforço, se obtiveram resultados que indicam valores de lactato e VO<sub>2</sub> constantes.

Assim sendo, podemos considerar que o protocolo realizado induziu nos sujeitos um estado de fadiga geral do organismo, podendo o mesmo, portanto, constituir um importante método de estudo da resposta fisiológica em exaustão.

Interessa também avaliar até que ponto a exaustão pode ser traduzida na fadiga muscular localizada.

Para podermos discutir os dados relativos ao registo electromiográfico, cabe-nos, antes de mais, justificar a selecção feita relativamente aos músculos estudados, selecção esta subjacente aos objectivos propostos.

Relativamente ao *vastus lateralis*, encontra-se entre os três músculos mais activos durante a pedalada, juntamente com o *vastus medialis* e o *soleus* (Ericson et al., 1986). Para além das biopsias (Essen, 1977), pesquisas envolvendo EMG (Nilsson et al., 1977) sugeriram-no como sendo o mais fortemente envolvido nessa acção. Por outro lado, o *vastus lateralis* é também o músculo mais comumente usado em estudos desta natureza (Arnaud et al., 1997; Hausswirth et al., 2000; Jammes et al., 1998; Jammes et al., 2001; Takaiski et al., 1996).

No decorrer do esforço em causa, pretendíamos também averiguar a influência dos membros superiores. A opção pela selecção músculo *biceps brachii*, decorreu não só do seu posicionamento, uma vez que permite facilmente a captação da actividade

electromiográfica, com também da análise do seu comportamento durante a pedalada intensa.

Passando agora à análise do comportamento de cada um dos músculos durante o protocolo, o estudo dos valores da amplitude corrigida do músculo *vastus lateralis* permitiu identificar, ao longo dos 14 minutos de teste, um aumento constante no recrutamento de fibras musculares, com uma subida mais acentuada nos três últimos patamares. Tais resultados parecem ir ao encontro dos estudos efectuados por Bigland-Ritchie et al. (1974) e Seburn et al. (1992), nos quais se verificou que a actividade eléctrica integrada (parâmetro referido como AEMG no nosso estudo) se relaciona linearmente com aumentos na intensidade do trabalho.

Nas suas investigações, Bigland-Ritchie et al. (1974), Miyashita et al. (1981), Potvin et al. (1993) e Wittekopf (1975) referem também que existe uma elevação na amplitude do EMG à medida que um músculo se fadiga. Outros estudos têm destacado este aumento no sinal EMG; é o caso da investigação levada a cabo por Miyashita et al. (1981). Analisando os músculos *vastus medialis*, *vastus lateralis* e *rectus femuris* durante a sobrecarga incremental em cicloergómetro, verificaram que os primeiros aumentaram a sua actividade quase que linearmente com a carga, sendo que na fadiga do *rectus femuris* este aumento se passa a traduzir por uma curva.

No que concerne ao aumento dos valores de MPF e AEMG do início para o final do teste, podemos apontar para a existência de uma maior mobilização de fibras aquando do término do protocolo, acompanhada por uma velocidade superior de condução do impulso. Para Helal et al. (1987), o aumento dos valores de MPF poderão também indicar o recrutamento de fibras do tipo II.

Não podemos, de acordo com os resultados obtidos no nosso estudo, denunciar a ocorrência de fadiga neuromuscular. Para tal, teríamos de observar um declínio na velocidade de condução do impulso (Taylor, 1994) e um aumento no recrutamento de unidade motoras (Enoka e Stuart, 1992). Verificando-se apenas um aumento no AEMG os nossos dados eletromiográficos poderão, no entanto, sugerir uma resistência considerável à fadiga das fibras motoras recrutadas pelos menos no que respeita ao nível de intensidade em questão.

Torna-se pois discutível considerar o aparecimento de uma fadiga local do músculo *vastus lateralis* associada à fadiga geral do organismo.

O registo electromiográfico do músculo *biceps brachii* apenas nos permitiu identificar um aumento progressivo do recrutamento de unidades motoras na parte final do protocolo. Assim, consideramos que, à medida que o sujeito prolonga o esforço, atingindo a exaustão, poderá haver uma tentativa de compensar o trabalho dos membros inferiores com os membros superiores.

Por sua vez, já o aumento dos valores de AEMG e a concomitante diminuição dos valores de MPF indicam, segundo Hanon et al. (1998), o estado de fadiga do músculo *biceps brachii*, com a alteração nos valores de MPF para baixas frequências, alteração esta atribuída à diminuição da velocidade de condução do potencial de acção no músculo - devida ao aumento de acidez (Hagg, 1992).

Mortimer et al. (1970) e Tesch et al. (1983) sugeriram também que alterações no MPF para baixas frequências poderão ser atribuídas à acumulação local de metabolitos, como é o caso do ácido láctico.

No nosso estudo encontrámos uma correlação negativa ( $r = -0.889$ ;  $p < 0.01$ ) entre o MPF e o lactato sanguíneo para o músculo *vastus lateralis*. Estes resultados vão ao encontro dos obtidos por Bouisson et al. (1989), cuja investigação demonstra que, durante um exercício dinâmico supramáximo (pedalando a uma intensidade de 375 W) realizado por oito sujeitos, a acumulação de lactato muscular está correlacionada com a diminuição do MPF. No entanto, outros estudos (Gamet et al., 1993), indicam que o MPF poderá variar de sujeito para sujeito. Jansen et al. (1997) apontam, como possível causa da discrepância observada em pesquisas anteriores, a intensidade usada durante os diferentes protocolos. Os mesmos autores referem a necessária prudência aquando do estabelecimento de relações entre estas variáveis. Interessa também referir que no nosso estudo não foi verificada esta correlação para o músculo *biceps brachii*. Tal estará possivelmente relacionado com o facto de este não ser o músculo directamente exercitado durante o protocolo.

Na revisão da literatura por nós efectuada não foram encontrados registos que mostrassem a possível correlação EMG entre o comportamento dos grupos musculares estudados. O mesmo foi verificado para o desempenho do *biceps brachii* no esforço em causa. O nosso estudo encontrou uma correlação elevada ( $0,858$ ;  $p < 0.01$ ) da amplitude corrigida, indicando um aumento em paralelo do recrutamento de fibras para os dois

músculos. Considera-se, no entanto, uma maior correlação para a parte final do teste, onde as duas variáveis aumentaram de forma constante.

Em investigações anteriores, tanto Shinohara e Moritani (1992) como Borrani et al. (2001), demonstraram que a actividade eléctrica do músculo aumenta em paralelo com o aumento de oxigénio, sugerindo o recrutamento progressivo de fibras musculares adicionais à medida que outras fadigam. Tendo por base os nossos resultados, verificamos uma elevada correlação ( $r = 0,966$ ;  $p < 0.01$ ) da amplitude do *vastus lateralis* com o consumo de  $O_2$ , o que indica que o aumento do recrutamento de fibras musculares está linearmente relacionado com o consumo de oxigénio.

Estes resultados vão também ao encontro dos estudos de Arnaud, et al. (1997), Jammes et al. (1997) e Jammes et al. (1998), que concluíram que a actividade global electromiográfica se ajustada extremamente ao  $VO_2$ .

Moritani et al. (1978), Glass et al. (1997) e Takaishi et al. (1992) identificaram, em estudos anteriores com sujeitos saudáveis (não profissionais) a existência de um ponto (limiar EMG), durante o protocolo de exercício, em que não se verificou linearidade entre o consumo de  $O_2$  e a amplitude electromiográfica no músculo quadríceps.

Segundo Helal et al. (1987), Petrofsky et al. (1977), Lucía et al. (1998) o limiar de EMG ( $EMG_1$ ) ocorre durante a transição do metabolismo aeróbio para anaeróbio, por volta dos 65 – 70% de  $VO_{2máx}$ , em indivíduos saudáveis. Nestes estudos, a transição aeróbio-anaeróbio foi expressa usando os parâmetros ventilatórios ou medições de lactato. Na verdade, o  $EMG_1$  pode ocorrer como o resultado de uma mudança no padrão de recrutamento das unidades motoras. A verificar-se, tal aconteceria predominantemente com unidades motoras de contracção lenta que dariam lugar a unidades motoras de contracção rápida, o que poderia contribuir para a acumulação de lactato sanguíneo durante o exercício (Nagata et al., 1981; Viitasalo et al., 1985; Takaishi et al., 1992). Adicionalmente, o limiar de ácido láctico correlacionar-se-ia com o início da fadiga neuromuscular (Moritani et al., 1984).

No nosso estudo, a análise dos 4 minutos levou-nos a verificar a existência de uma correlação, embora moderada ( $r = 0,610$ ;  $p < 0.01$ ), entre o aumento no consumo de oxigénio e o recrutamento de fibras musculares. A reduzida correlação que encontramos no início do teste poderá ser explicada pelo rápido incremento no consumo de  $O_2$  durante o primeiro minuto do mesmo, sendo que a partir deste ponto a correlação

toma valores mais elevados. Nos últimos 4 minutos estudados, o recrutamento de unidades motoras correlaciona-se com o consumo de oxigénio, embora no último minuto isso pareça não acontecer.

O estudo dos últimos minutos de teste parece estar de acordo com os resultados de algumas pesquisas anteriores (Lucía et al., 2002; Barstow, 2000; Hansen et al., 1988; Jones, 1999; Roston et al., 1987; Zoladz et al., 1995; Zoladz et al., 1998) que mostram um aumento não linear no  $\text{VO}_2$ , em cargas de trabalho, altas durante um exercício progressivo. Também segundo Roston et al. (1987), e Zoladz et al. (1995), no desenvolvimento de um teste com carga progressiva, a taxa de relação entre  $\text{VO}_2$  e trabalho começa a ter características curvilineares logo que o limiar ventilatório seja excedido.

No que concerne aos resultados para o consumo de  $\text{O}_2$  e para a amplitude média durante das fases inicial e final do teste, as correlações negativas ( $r = -0.779$ ;  $p < 0.05$ ) por nós encontradas, ainda que moderadas, indicam um menor número de fibras recrutadas para sujeitos melhores adaptados ao esforço aeróbio.

Relativamente ao recrutamento de fibras musculares no *biceps brachii*, foi identificada uma correlação com o consumo de oxigénio, embora com valores inferiores, quando comparada com a encontrada para o *vastus lateralis*. Esta correlação resulta do número constante de fibras musculares recrutadas durante os três a quatro patamares iniciais. Tal pode constatar-se no nosso estudo, nos primeiros quatro minutos do teste, em que não encontramos qualquer correlação. No final do teste, o recrutamento de um maior número de fibras musculares correlaciona-se, no entanto, de forma moderada ( $r = 0.625$ ;  $p < 0.01$ ) com o consumo de oxigénio.

O aumento no consumo de oxigénio, verificado ao longo do teste, e o decréscimo na velocidade de condução do potencial de acção resultante da fadiga nos últimos minutos do protocolo, estabelecem a correlação negativa existente (embora moderada) entre as duas variáveis no músculo *biceps brachii*.

Os nossos estudos indicam ainda para o mesmo músculo a correlação existente o recrutamento de fibras e o consumo médio de  $\text{VO}_2$ , altamente significativa ( $r = -0.914$ ;  $p < 0.01$ ). Assim sendo, parece-nos possível afirmar que a melhor capacidade de



utilização do oxigénio resulta numa menor necessidade de executar trabalho ao nível dos membros superiores.

Ainda tendo por base os resultados do nosso estudo, encontrámos uma correlação elevada ( $r = 0.968$ ;  $p < 0.01$ ) entre a frequência cardíaca e o recrutamento de fibras musculares ao longo do protocolo para o músculo *vastus lateralis*. Anholm et al. (1987) referem um aumento no trabalho cardíaco como a consequência do aumento do ritmo respiratório e do aumento das necessidades metabólicas.

Para o *biceps brachii* a correlação, embora menos significativa ( $r = 0.824$ ;  $p < 0.01$ ), indica para o final do teste, um aumento da frequência cardíaca acompanhado por um maior recrutamento de fibras musculares.