

ASPECTOS FISIOLÓGICOS RELACIONADOS COM A ECONOMIA DE MOVIMENTO

Benedito Sérgio Denadai

Departamento de Educação Física do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista -
Campus de Rio Claro
Apoio CNPq

Embora os exercícios de média e longa duração sejam altamente dependentes da energia produzida pelo metabolismo aeróbio, estudos mais recentes têm verificado que o Consumo Máximo de Oxigênio ($VO_2\text{max}$), pode não ser um bom preditor da performance da atividade de endurance. Esta baixa capacidade de predição de performance fica mais evidente, ainda, quando se analisam grupos de ciclistas (COYLE, 1988) ou corredores (COSTILL et alii. 1973) que apresentam valores similares de $VO_2\text{max}$, sugerindo que outros fatores podem ser responsáveis pela diferença de performance encontrada dentro destes grupos.

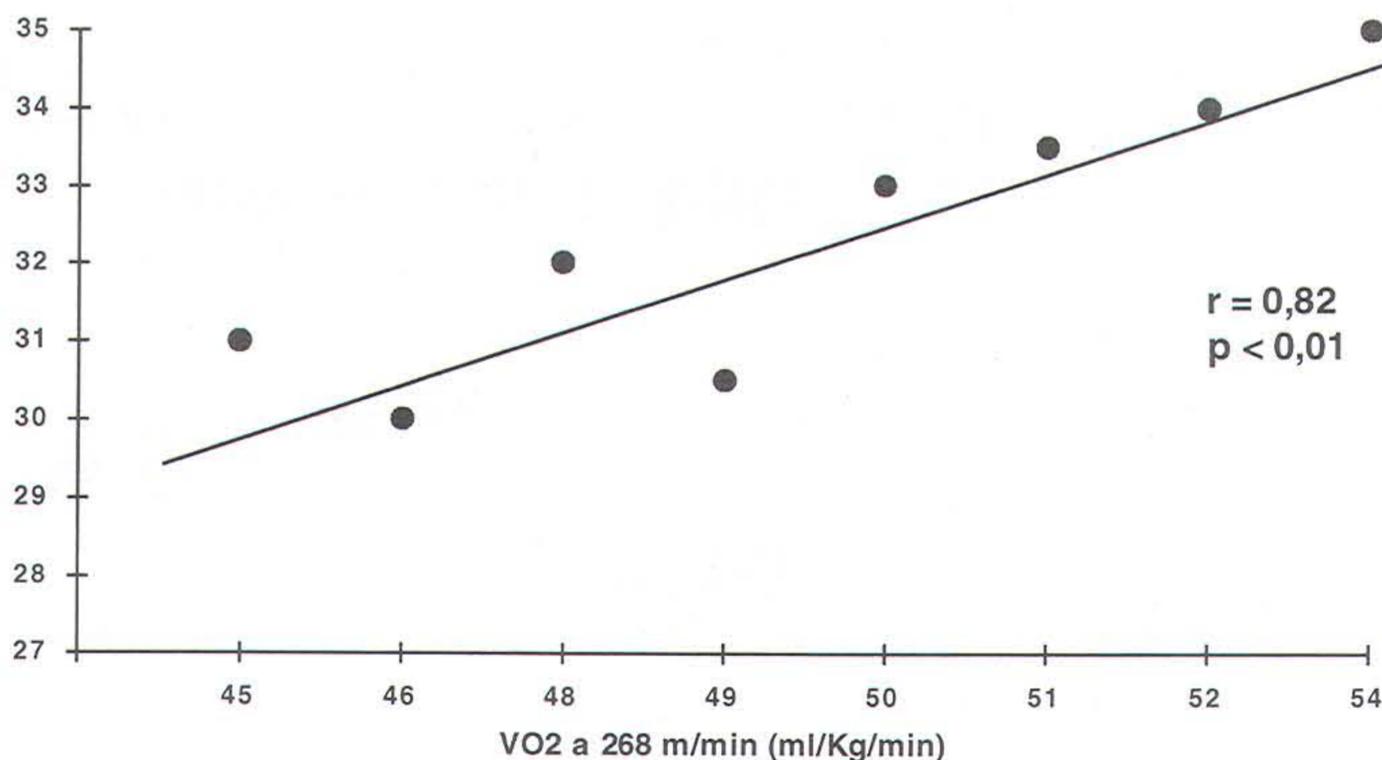
Dentre estes fatores, a Economia de Movimento (EM) tem sido apontada como um índice capaz de realizar a predição da performance em eventos de longa duração, mesmo quando os indivíduos apresentam valores similares de $VO_2\text{max}$ (CONLEY et alii. 1980; MORGAN et alii. 1989; COYLE, 1995) (Figura 1).

Genericamente, a EM pode ser definida como sendo o custo de oxigênio (VO_2) para uma dada atividade submáxima. Nas atividades onde o trabalho externo pode ser quantificado, como no

ciclismo estacionário, pode-se utilizar o termo Eficiência. Entretanto, quando o trabalho não é quantificado, como na corrida, tem-se utilizado simplesmente o termo Economia ou Economia de Corrida (EC) (MORGAN & CRAIB, 1992; PATE et alii. 1992; BERRY et alii. 1993; COYLE, 1995). Alguns autores têm mostrado que a EM pode variar em até 15%, mesmo em grupos de ciclistas bem treinados (COYLE et alii. 1991) ou em corredores de elite (MORGAN et alii. 1991).

Mesmo se conhecendo que a EM pode variar sensivelmente entre os indivíduos, com uma nítida vantagem para os mais econômicos (menor gasto energético), principalmente durante atividades de longa duração, os fatores que influenciam a EM ainda não são completamente compreendidos. A proposta deste estudo é realizar uma análise sobre os principais aspectos que influenciam a EM, e tendo em vista que estes aspectos podem apresentar influências diferentes sobre a Economia de Corrida e sobre a Eficiência no Ciclismo, eles serão abordados separadamente para a corrida e para o ciclismo estacionário.

FIGURA 1 - Relação entre o consumo de oxigênio (VO_2) submáximo durante a corrida a 268 m/min e o tempo na prova de 10 Km, em corredores com níveis similares de VO_{2max} . Adaptado de MORGAN & CRAIB (1992).



Fatores que Influenciam a Economia de Movimento na Corrida

Idade

A idade parece ser o fator que determina as maiores modificações na EC. Esta influência pode ser notada, tanto durante a fase de crescimento, como também durante o processo de envelhecimento do organismo (ASTRAND, 1952 ; DANIELS et alii. 1978; KRAHENBUHL et alii. 1989).

Um dos estudos mais clássicos sobre o efeito da idade na EC, foi realizado por ASTRAND (1952). Em um estudo transversal, comparando indivíduos dos 4 aos 18 anos, o autor verificou que o VO_2 ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$), obtido em fase estável durante diferentes velocidades de corrida (2,22 a 3,61 m/seg), caía constantemente com a idade, mostrando que o crescimento determina a melhora da EC.

Concordando com estes dados, DANIELS et alii (1978) verificaram durante um estudo longitudinal, onde os sujeitos foram seguidos dos 10 aos 18 anos, que o VO_{2max} ($ml. Kg^{-1}.min^{-1}$) não se modificou significativamente, enquanto a EC aumentou constantemente durante os 8 anos de

observação. Neste estudo, porém, não foi possível isolar um provável efeito do treinamento sobre a EC, já que durante todo o período (8 anos), os indivíduos realizaram regularmente um treinamento de corrida.

Para estudar apenas o efeito do crescimento, KRAHENBUHL et alii (1989) acompanharam um grupo de indivíduos dos 10 aos 17 anos, que realizaram apenas as atividades típicas da idade. No estudo verificou-se que mesmo com ausência de treinamento, a EC aumentou com a idade, levando os autores a concluir que a melhora da EC pode-se dar apenas em função do crescimento, não sendo necessário a realização de um programa de corrida. Outro dado interessante do estudo, é o fato de que os sujeitos mais econômicos aos 10 anos, continuaram sendo os mais econômicos aos 17 anos, o mesmo ocorrendo com os menos econômicos. Deste modo, pode-se verificar que a melhora da EC, dos 10 aos 17 anos, ocorre de modo muito semelhante entre os indivíduos, havendo pouca influência das atividades realizadas nesta faixa etária.

As razões pelas quais as crianças são menos econômicas do que os adultos, ainda não são completamente compreendidas. Entretanto, alguns

fatores podem explicar, pelo menos em parte, esta diferença :

a) Maior equivalente ventilatório de O_2 (VE/VO_2) nas crianças para uma mesma velocidade de corrida, determinado um maior gasto energético da musculatura respiratória (ROWLAND, 1989).

b) Maior frequência de passadas nas crianças, para compensar a menor amplitude de passadas, que são impostas pelo menor tamanho dos membros inferiores (UNNITHAN & ESTON, 1990).

c) Maior metabolismo basal nas crianças (McDOUGALL et alii. 1983).

É interessante ressaltar que embora o VO_2 max não se modifique, principalmente nos meninos, dos 10 aos 18 anos (DENADAI, 1995), existe uma melhora constante na performance da corrida nesta faixa etária, independente de treinamento. Uma importante justificativa para isso, pode ser a melhora da EC que ocorre com o processo de crescimento.

Ao contrário do que ocorre durante a maturação do organismo, com o processo de envelhecimento existe uma diminuição da EC. PATE et alii (1992) estudando 188 sujeitos de ambos os sexos, com idade entre 20 e 60 anos, encontraram que o VO_2 ($ml.Kg^{-1}.min^{-1}$) obtido durante a corrida (161 m/min), foi positivamente correlacionado com a idade, indicando que os corredores mais novos são mais econômicos do que os mais velhos. De acordo com os autores, esta diminuição da EC com a idade, pode ocorrer em função de pelo menos dois aspectos: a) redução da elasticidade muscular e ; b) um menor relaxamento da musculatura antagonista durante a corrida, como o sugerido por LARISH et alii (1987). Estas mudanças podem resultar na redução da habilidade em estocar e utilizar energia elástica durante a corrida, determinando um aumento do gasto energético.

Com relação à idade, pode-se concluir que a EC apresenta um comportamento que é pelo menos bifásico : a) um aumento durante a idade pré-pubere e adolescência ; b) e uma diminuição

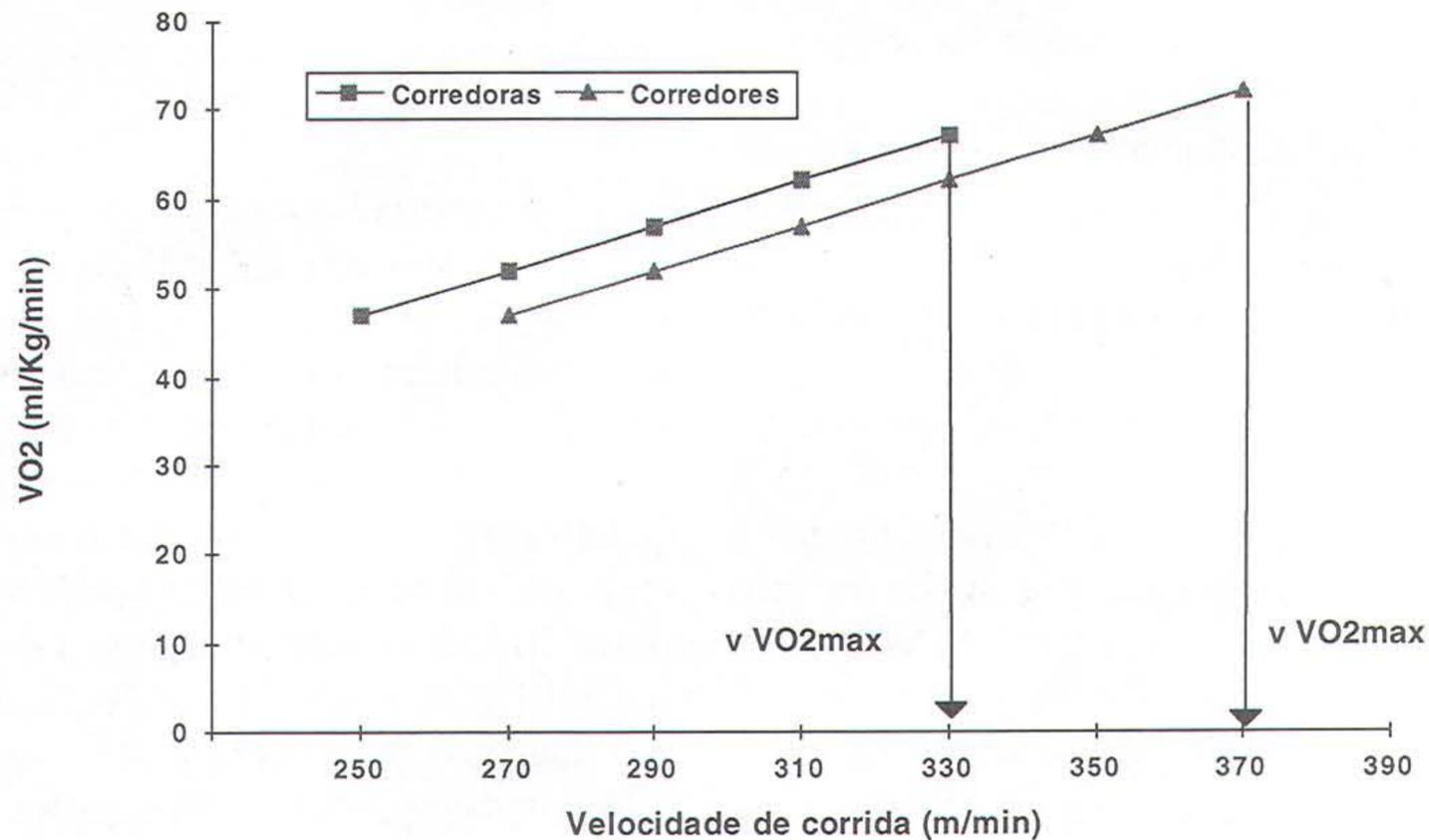
entre os 20 e 60 anos. A possibilidade da EC se manter constante durante um determinado período da idade adulta, como verificado em outras variáveis fisiológicas, ainda precisa ser melhor investigada.

Sexo

A possível diferença que possa existir na EC entre homens e mulheres, vem sendo investigada, apresentando, porém dados que ainda são contraditórios. Alguns estudos não apontam diferenças entre os sexos (DAVIES & THOMPSON, 1979 ; HAGAN et alii. 1980), enquanto outros mostram que os homens são mais econômicos (BRANSFORD & HOWLEY, 1979 ; BHAMBANI & SINGH, 1985). De acordo com DANIELS & DANIELS (1992), estes dados conflitantes ocorrem porque as comparações têm sido feitas entre sujeitos sedentários ou com níveis de treinamento diferenciados. Além disso, a velocidade empregada em alguns estudos, tem sido bem menor do que aquelas utilizadas pelos indivíduos durante o treinamento ou competição. Para controlar estes possíveis fatores intervenientes, DANIELS & DANIELS (1992) compararam a EC em diferentes velocidades (248 a 390 m/min), entre corredores e corredoras de elite. Como pode-se verificar na Figura 2, os corredores de elite são mais econômicos (6 a 7%) do que as corredoras, quando comparadas em velocidades comumente utilizadas em treinamento de alto nível. É interessante ressaltar que a maior velocidade equivalente ao VO_2 max (vVO_2 max) encontrada nos homens, é influenciada tanto pelo maior VO_2 max como também pela maior EC. Em função disso, DANIELS & DANIELS (1992) propõem que a vVO_2 max parece ser um preditor de performance mais adequado do que o VO_2 max ou a EC utilizados isoladamente.

BRANSFORD & HOWLEY (1979) propõem que a menor EC nas mulheres pode ocorrer em função destas apresentarem um maior deslocamento vertical do corpo durante a corrida, determinando assim um maior gasto energético. Além

FIGURA 2 - Relação entre consumo de oxigênio (VO_2) e velocidade de corrida em corredoras e corredores de elite. A velocidade equivalente ao VO_{2max} ($v VO_{2max}$) e a economia de corrida em todas as velocidades comuns, são significativamente maiores no corredores. Adaptado de DANIELS & DANIELS (1992).



disso, CURETON & SPARLING (1980) verificaram que 32-44% da variação total existente na EC, entre homens e mulheres, pode ser explicada pelas diferenças na composição corporal, ou seja, pelo maior % de gordura das mulheres.

Massa Corporal

Diferentemente da natação e do ciclismo, que são atividades onde não existe a sustentação da massa corporal durante o exercício, a corrida se caracteriza como uma atividade onde o corpo tem que ser sustentado e deslocado pelos membros inferiores. Por esta razão, o custo aeróbio da corrida é frequentemente normalizado pela massa corporal total, isto é, o VO_2 é expresso em $ml.Kg^{-1}.min^{-1}$. A partir disso, é comum assumir-se que a demanda energética da corrida não é mais influenciada pela massa corporal, tendo em vista que a correção foi realizada. Alguns estudos, porém, encontram dados que não sustentam esta afirmação.

Embora existam dados contraditórios (DAVIES & THOMPSON, 1979), a maioria dos autores tem encontrado uma relação inversa entre

massa corporal e o VO_2 submáximo durante a corrida (WILLIAMS et alii. 1987 ; BERGH et alii. 1991 ; PATE et alii. 1992), indicando que os corredores mais pesados, são mais econômicos do que os corredores mais leves. Parte desta relação inversa tem sido atribuída às diferenças existentes na distribuição da massa nos segmentos corporais (CAVANAGH & KRAM, 1985). Como os sujeitos mais leves parecem possuir um percentual maior da sua massa nas extremidades do corpo, eles teriam um maior trabalho muscular para acelerar seus membros inferiores, apresentando assim maior gasto energético. Esta teoria é sustentada por estudos que adicionaram uma determinada sobrecarga externa ao corpo durante a corrida, onde se verifica um maior VO_2 quando esta sobrecarga é colocada nas pernas, do que quando colocada no tronco (KEREN et alii. 1981 ; MYERS & STEUDEL, 1985).

Com isso, é possível concluir que os indivíduos mais pesados são mais econômicos, por unidade de massa corporal, do que os indivíduos mais leves. Baseados nesta relação, BERGH et alii (1991) sugerem que seria mais apropriado expres-

sar a demanda aeróbia da corrida em $\text{ml.Kg}^{-0.75} \cdot \text{min}^{-1}$, do que em $\text{ml.Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Frequência Cardíaca e Ventilação Pulmonar

O gasto energético determinado pelo trabalho do miocárdio e da musculatura respiratória pode ser responsável respectivamente, por 1-2% e 7-8% do consumo total de energia durante o exercício (MILLIC-EMILLI et alii. 1962 ; KITAMURA et alii. 1972).

Alguns estudos descrevem uma relação positiva entre a frequência cardíaca (FC) e ventilação pulmonar (VE) com o VO_2 submáximo durante a corrida, indicando que uma melhor EC está associada a uma menor FC e VE (PATE et alii. 1992).

PATE et alii (1992) propõem que este comportamento deva ser analisado a partir de pelo menos duas perspectivas. Assumindo-se que o VO_2 da musculatura periférica, por unidade de massa corporal, não varia significativamente entre os indivíduos, as variações na EC podem ser atribuídas, em parte, às diferenças no trabalho do miocárdio e da musculatura respiratória. Por outro lado, se o VO_2 da musculatura periférica apresentar variações, as diferenças na FC e VE, devem ser interpretadas apenas como um mecanismo de suporte às alterações periféricas. Até o momento não é possível determinar quais dos mecanismos, ou se ambos, estão operando.

Tipo de Fibra Muscular

As fibras musculares podem ser classificadas basicamente como sendo de contração lenta (Tipo I) ou de contração rápida (Tipo II). A máxima velocidade de encurtamento do sarcômero (V_{max}) da fibra do Tipo II em humanos, é 3-5 vezes maior do que aquela encontrada na fibra do Tipo I (FITTS et alii. 1989). A eficiência muscular, definida como sendo a quantidade de trabalho realizado pela fibra muscular em relação ao seu gasto energético, é maior quando a velocidade de

contração é de aproximadamente 1/3 da V_{max} , para os dois tipos de fibra (COYLE, 1995). Assim, quando as contrações são realizadas isometricamente ou em baixas velocidades, as fibras do Tipo I são mais eficientes do que as do Tipo II (WENDT & GIBBS, 1973).

A relação entre % do tipo de fibra muscular e EC apresenta ainda informações contraditórias. WILLIAMS & CAVANAGH (1987) não encontraram correlação entre % de fibra do Tipo I e VO_2 submáximo, em corredores com grande variabilidade na EC. Por outro lado, BOSCO et alii (1987) encontraram correlação positiva ($r = 0,60$; $p < 0,01$) entre % fibra Tipo II e VO_2 durante a corrida submáxima. Os autores propõem que as fibras do Tipo I podem reter mais energia elástica, reduzindo o consumo energético do sistema oxidativo. Deve-se salientar entretanto, que não estão disponíveis ainda informações sobre o uso da energia elástica durante a corrida.

Treinamento

Embora o treinamento possa potencialmente melhorar a EC, otimizando o controle central do recrutamento das unidades motoras, alterando o estilo de corrida e/ou melhorando a eficiência mecânica, as informações sobre a influência do treinamento na EC, ainda são divergentes, tanto quando se analisam estudos transversais ou longitudinais.

Enquanto alguns autores mostram que os corredores de elite apresentam uma melhor EC, quando comparados a corredores de menor performance ou a indivíduos sedentários (BRANSFORD & HOWLEY, 1979 ; POLLOCK et alii. 1980), outros não encontram estas diferenças (DOLGENER, 1982 ; KRAHENBUHL & PANGRAZI, 1983). Este antagonismo é evidente, também, quando se comparam atletas com diferentes regimes de treinamento, com os corredores de longa distância apresentando uma EC que é melhor (POLLOCK, 1977 ; DANIELS, 1985) ou igual (DOLGENER, 1982 ; SVENDENHAG & SJODIN, 1984) aos corredores de meia-distância

e velocistas. Estas comparações transversais devem ser analisadas com ressalvas, já que a EC pode ser influenciada por fatores genéticos ou pela velocidade de corrida empregada nos estudos (DANIELS, 1985 ; PATE et alii. 1992), não refletindo necessariamente, deste modo, uma adaptação isolada do treinamento.

Do mesmo modo que nos estudos anteriores, a análise dos resultados das pesquisas longitudinais, apresenta também informações contraditórias. Enquanto autores como PATTON & VOGEL (1977), CONLEY et alii (1981) e SJODIN et alii (1982) encontraram melhora de 3 a 13% na EC com o treinamento, outros não observaram melhora significativa (DANIELS et alii. 1978 ; WILCOX & BULBULIAN, 1984 ; LAKE & CAVANAGH, 1990). Deve-se ressaltar que a duração dos estudos que não encontraram efeito do treinamento, foi de 6-8 semanas, enquanto os que observaram melhora foi de 14 semanas a 6 meses. Assim, é possível especular-se que existindo realmente melhora da EC com o treinamento, o tempo necessário para que esta adaptação ocorra, é bem maior do que o necessário para a melhora do $VO_2\text{max}$ e do Limiar Anaeróbio (4-6 semanas).

$VO_2\text{max}$

PATE et alii (1992) analisando um grupo ($n = 188$) de corredores habituais, encontraram baixa correlação ($r = 0,26$), porém estatisticamente significativa ($p < 0,001$) entre $VO_2\text{max}$ e VO_2 submáximo durante a corrida de baixa velocidade (161 m/min). MORGAN & DANIELS (1994) obtiveram resultados semelhantes entre corredores de elite, porém com uma correlação mais expressiva ($r = 0,59$; $p < 0,01$) (Figura 3). PATE et alii (1992) propõem que parte da associação inversa entre EC e $VO_2\text{max}$, pode ser explicada pela utilização dos diferentes substratos energéticos. Em seu estudo, os autores encontraram uma relação inversa ($r = -0,35$; $p = 0,002$) entre $VO_2\text{max}$ e o R (quociente respiratório) obtido durante a corrida submáxima, indicando que nesta condição, os indivíduos com maior $VO_2\text{max}$ utilizaram um maior percentual de

gordura. Como o metabolismo da gordura requer uma quantidade maior de O_2 por unidade de energia produzida, os autores propõem que os corredores com um $VO_2\text{max}$ mais elevado, necessitaram de um VO_2 submáximo maior durante a corrida. Deve-se salientar que, neste estudo, a intensidade da corrida (161 m/min) correspondeu em média a 68% do $VO_2\text{max}$, apresentando porém grande variação individual (46 - 91% $VO_2\text{max}$). Por outro lado, na investigação conduzida por MORGAN & DANIELS (1994), a variação da intensidade relativa da corrida foi bem menor (3 - 4%), fazendo com que o R e conseqüentemente a utilização dos substratos, fosse responsável por uma pequena variabilidade da EC ($< 4\%$), questionando a influência da participação deste fator sobre a EC.

Outra teoria utilizada para explicar a relação inversa, entre $VO_2\text{max}$ e EC, é a da distribuição segmental da massa no corpo. Alguns autores propõem que os sujeitos que apresentam um percentual maior de sua massa corporal nos membros inferiores, teriam um $VO_2\text{max}$ mais elevado, tendo em vista uma maior massa muscular ativa durante a corrida. Como já discutido anteriormente, esses mesmos sujeitos podem apresentar um VO_2 submáximo maior para acelerar seus membros inferiores, possuindo assim um gasto energético mais elevado.

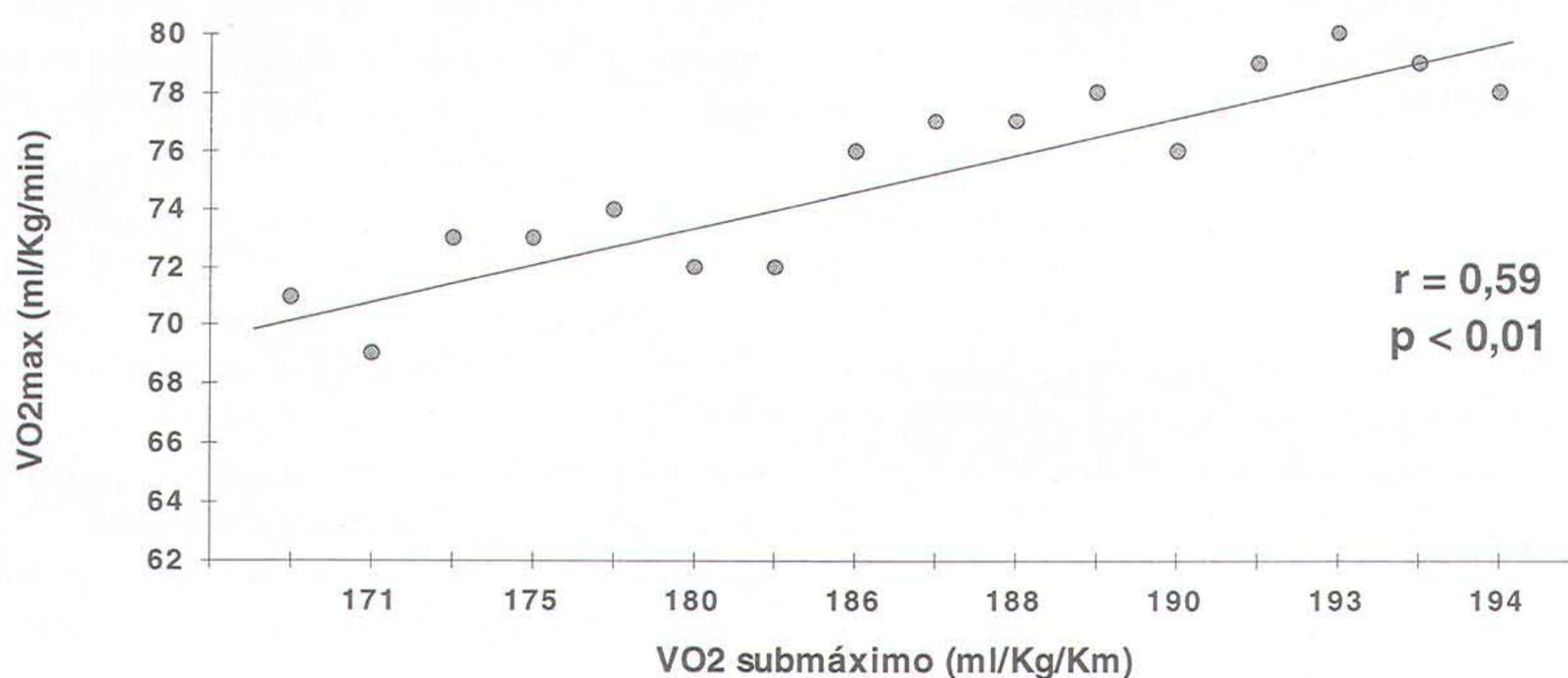
Embora estas hipóteses precisem, ainda, ser melhor investigadas, os dados existentes, por mais paradoxal que possa parecer, mostram que os indivíduos que apresentam um maior $VO_2\text{max}$, podem ser menos econômicos.

Fatores que Influenciam a Economia de Movimento no Ciclismo Estacionário

No ciclismo estacionário, o termo Eficiência pode ser utilizado em substituição a Economia de Movimento, já que nesta atividade é possível quantificar o trabalho externo realizado. Nestas condições, pode-se expressar a Eficiência obtida durante o exercício de quatro diferentes formas :

Eficiência Bruta = trabalho externo reali-

FIGURA 3 - Relação entre o consumo de oxigênio (expresso em função da distância percorrida) e o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) em corredores de elite. Adaptado de MORGAN & DANIELS (1994).



zado / gasto energético X 100%

Eficiência Líquida = trabalho externo realizado / (gasto energético da carga - gasto energético de repouso) X 100%

Eficiência de Trabalho = trabalho externo realizado / (gasto energético na carga - gasto energético para pedalar 0 W) X 100%

Eficiência Delta = trabalho externo realizado acima da carga anterior / (gasto energético da carga realizada - gasto energético da carga anterior) X 100%

Esta classificação é importante, já que o cálculo de cada tipo de Eficiência, está sujeito a diferentes influências. Diferentemente da Eficiência Bruta (EB), a Eficiência Líquida (EL) não sofre influência do metabolismo de repouso, o qual pode ser responsável por variações da Eficiência durante o exercício. O cálculo da Eficiência de Trabalho (ET), além de não sofrer a influência do gasto energético de repouso, retira também o gasto energético utilizado para que sejam movimentados os membros inferiores. Finalmente, a Eficiência Delta (ED) também não sofre as influências existentes sobre a EB e EL, refletindo de modo bem próximo o cálculo da Eficiência Muscular (GAESSER & BROOKS, 1975 ; COYLE, 1995).

Massa Corporal

Como o ciclismo estacionário é uma atividade onde não existe a sustentação do corpo, poder-se-ia esperar, inicialmente, que a massa corporal tivesse um efeito negligenciável sobre o VO_2 durante o exercício, e, conseqüentemente, sobre a Eficiência. Este comportamento, inclusive, tem sido encontrado por alguns autores (ASTRAND, 1960 ; WILLIAMS et alii. 1966). Nestes estudos, porém, os indivíduos analisados apresentavam uma massa corporal relativamente homogênea e/ou o número de sujeitos estudados foi pequeno, o que potencialmente pode ter influenciado nos resultados (BERRY et alii. 1993).

Na tentativa de controlar estes fatores, BERRY et alii (1993) estudaram a influência da massa corporal sobre a Eficiência, em um grupo relativamente grande de mulheres ($n = 50$), que apresentavam uma grande variação da massa corporal (41,5 - 98,9 Kg) e não eram obesas. Neste estudo, verificou-se uma correlação negativa, em todas as cargas analisadas (25, 50, 75 e 100 W), entre a massa corporal e a EB (100 W - $r = -0,69$) e EL (100 W - $r = -0,48$). Por outro lado, quando se retiraram os efeitos do metabolismo de repouso, do trabalho para se movimentarem as pernas, e

da energia gasta na carga anterior, ou seja, se calculou a ET e a ED, as correlações não foram encontradas. Resultados semelhantes foram encontrados em sujeitos obesos quando comparados a não obesos (ANTON-KUCHLY et alii. 1984).

BERRY et alii (1993) propõem que a associação entre massa corporal e EB e EL, pode ser explicada pelo maior VO_2 necessário para movimentar as pernas, o que é confirmado pela ausência de correlação entre a massa corporal e a ET e ED, e também pela correlação encontrada em seu estudo ($r = 0,64$; $p < 0,01$) entre o volume da perna e o VO_2 para pedalar 0 W (Figura 4). Esta hipótese é sustentada por estudos que adicionaram sobrecarga ao tornozelo durante o ciclismo estacionário, encontrando aumento do VO_2 nestas condições, quando comparados ao controle (sem carga) (KAMON et alii. 1973).

Pode-se concluir, que embora o ciclismo estacionário seja um tipo de exercício onde não existe a sustentação do corpo, a Eficiência (EB e EL) é influenciada pela massa corporal, o que pode ser justificado pelo maior trabalho para que sejam movimentados os membros inferiores.

Tipo de Fibra Muscular

Conforme explicações realizadas anteriormente, as fibras do Tipo I são mais eficientes do que as fibras do Tipo II, especialmente quando a velocidade da contração muscular é relativamente lenta. Essa eficiência muscular pode ser determinada por uma menor frequência de utilização e ressíntese de ATP nas fibras do Tipo I, e, conseqüentemente um menor VO_2 para uma determinada intensidade de esforço. De acordo com COYLE et alii (1992), a velocidade de contração que é encontrada comumente no ciclismo (60 a 80 RPM), pode ser classificada como de baixa velocidade, o que potencialmente pode determinar a influência do tipo de fibra muscular sobre a Eficiência no Ciclismo.

COYLE et alii (1992) analisando 19 ciclistas de elite, que apresentavam uma variação bem acentuada na composição das fibras musculares (32 - 76% Tipo I), encontraram uma correlação significativa entre % de fibra do Tipo I e EB ($r = 0,75$) e a ED ($r = 0,85$) durante o ciclismo (Figura 5). Interessantemente, os autores verificaram que

FIGURA 4 - Relação entre o volume da perna e o consumo de oxigênio (VO_2) durante ciclismo sem carga (0 W). Adaptado de BERRY et alii (1993).

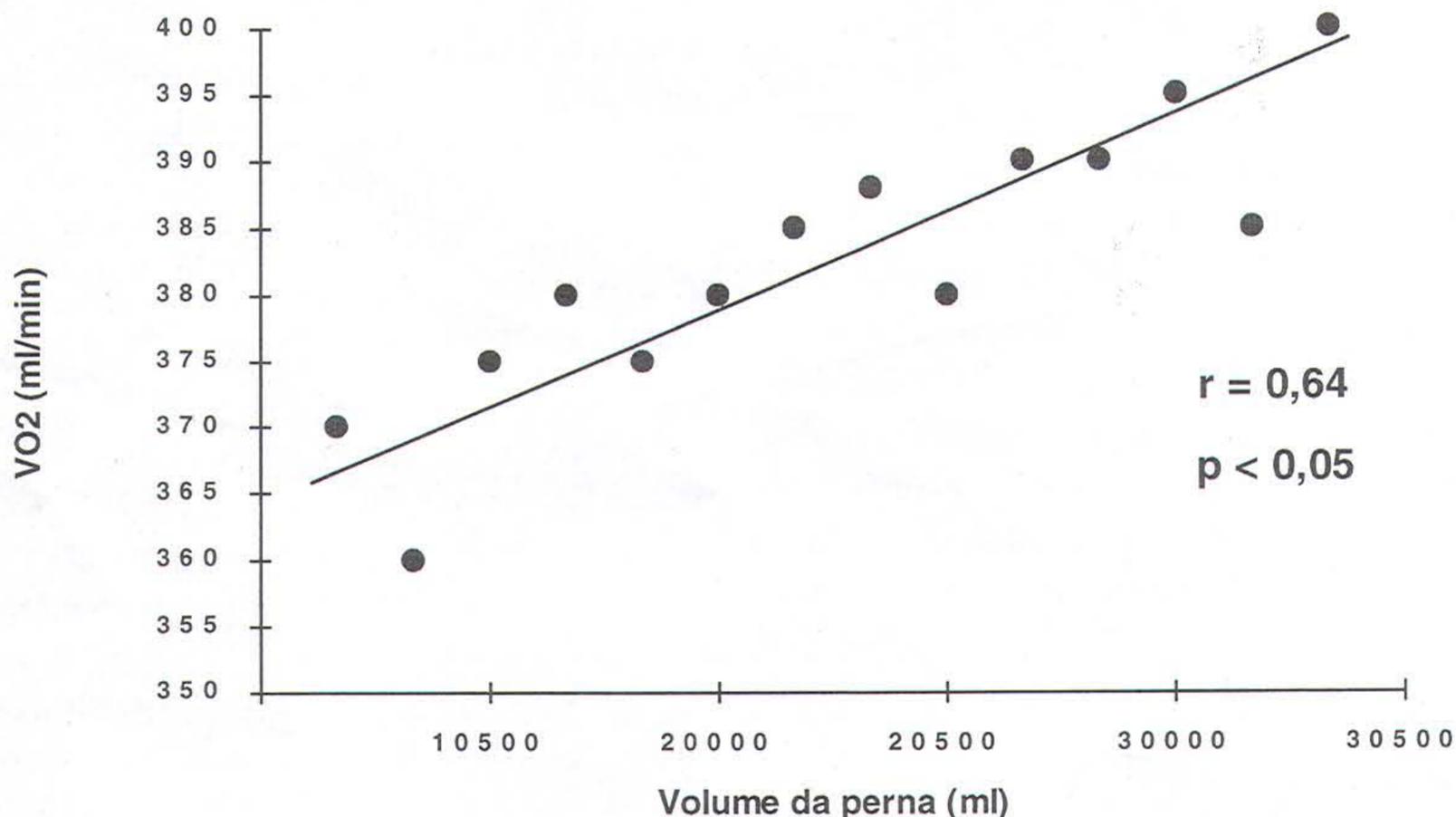
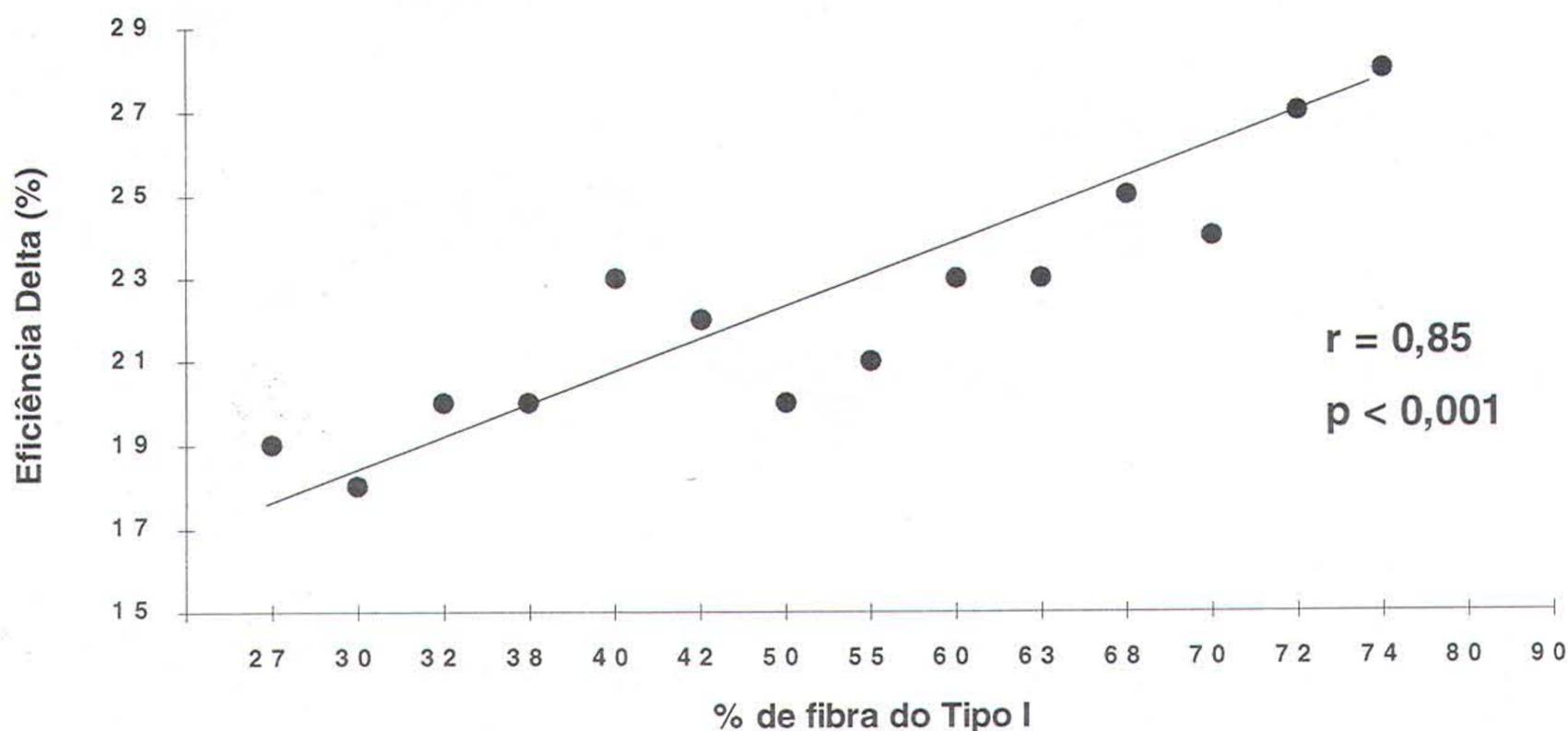


FIGURA 5 - Relação entre % de fibra do Tipo I e Eficiência Delta durante o ciclismo. Adaptado de COYLE et alii (1992).



esta Eficiência não é específica para a ação de pedalar, já que foi encontrada também uma correlação entre % fibra do Tipo I e a EB ($r = 0,74$) durante o exercício de extensão de pernas (Eagle Cybex Inc) com a velocidade de $200^{\circ}.s^{-1}$, que foi semelhante à velocidade empregada no ciclismo (80 RPM).

Além disso, os autores verificaram em um estudo prévio, que a Eficiência em grupo de ciclistas altamente treinados, não é influenciada pela técnica utilizada para pedalar (COYLE et alii, 1991), o que confirma a grande importância da distribuição do tipo de fibra sobre a Eficiência no Ciclismo.

Intensidade do Exercício

A relação existente entre a EB e EL e a intensidade de esforço parecem não ser constantes durante o exercício.

BERRY et alii (1993) encontram um aumento da EB e da EL com o aumento da intensidade de exercício (25, 50, 75 e 100 W) realizado na bicicleta ergométrica. Este aumento pode-se dar em função do denominador da EB e da EL (VO_2), ser parcialmente comprometido pelo metabolismo de repouso e/ou pelo gasto energético necessário

para movimentar as pernas. Como estes fatores permanecem relativamente inalterados com o aumento da intensidade de esforço (mantendo-se constante o número de rotações por minuto), o numerador da EB e EL aumenta em maior grau do que o denominador, aumentando a Eficiência.

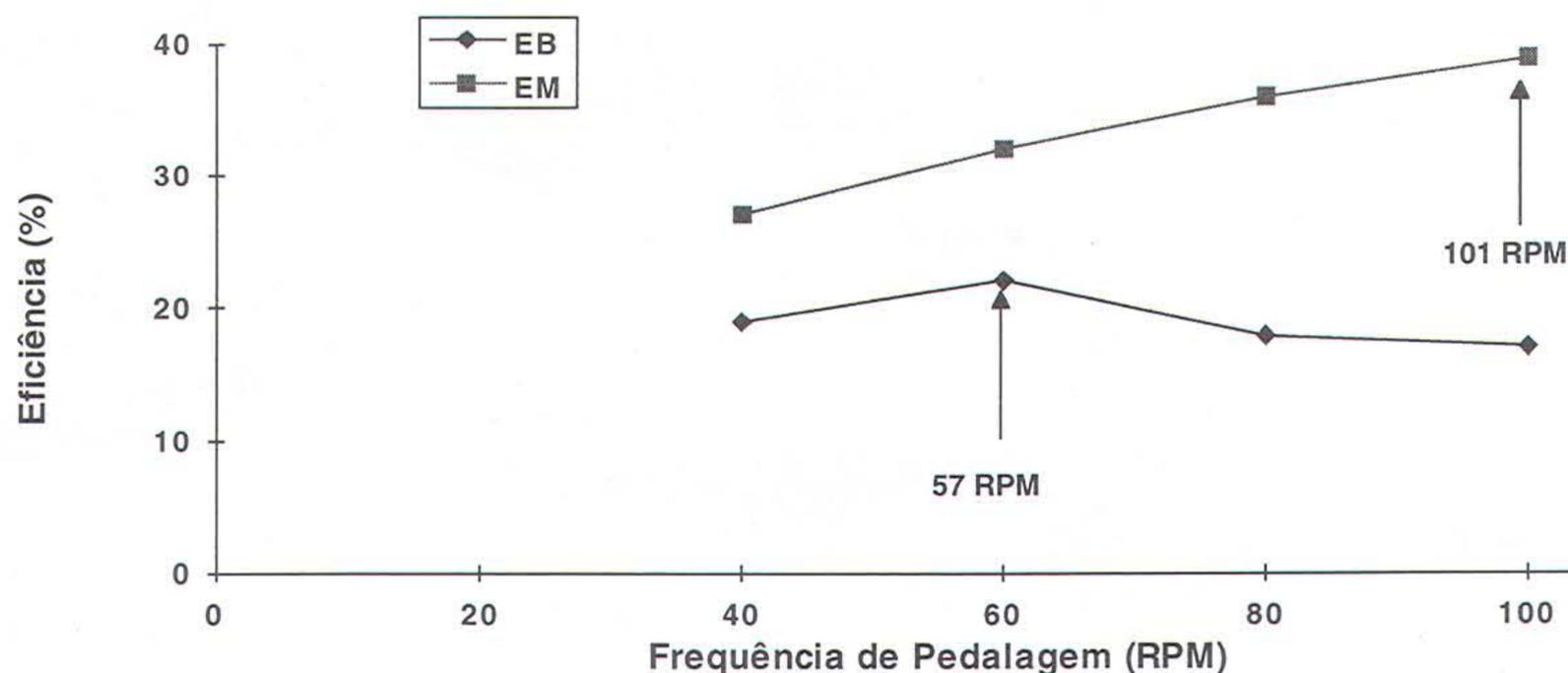
Frequência de Pedalagem

No ciclismo, quando o trabalho externo é mantido constante, existe uma relação inversa entre a resistência e a frequência de pedalagem. Assim é possível se escolher uma resistência alta com uma frequência de pedalagem relativamente baixa, uma resistência baixa com uma frequência de pedalagem relativamente alta, ou qualquer combinação intermediária que determine o trabalho externo desejado.

Muitos investigadores têm observado que ciclistas altamente treinados, ao pedalar contra cargas que vão de 100 W até o VO_{2max} , escolhem uma frequência de pedalagem alta (90 a 100 RPM) (HAGBERG et alii, 1981 ; MARION & LEGER, 1988 ; PATTERSON & MORENO, 1990).

Concordando com esta preferência dos ciclistas, alguns pesquisadores que examinaram a inter-relação entre a função muscular, tamanho do

FIGURA 6 - Eficiência Bruta (EB) e Eficiência Mecânica (EM) durante o exercício realizado na bicicleta ergométrica com 146 W, em diferentes frequências de pedalagem (40, 60, 80 e 100 RPM). As setas indicam o ponto ótimo de Eficiência. Adaptado de WIDRICK et alii (1992).



segmento e força aplicada no pedal, têm verificado que as funções de estresse muscular (HULL et alii, 1988) e do momento muscular (REDFIELD & HULL, 1986), são otimizadas quando a frequência de pedalagem está entre 95 e 105 RPM.

Entretanto, ao contrário destas observações empíricas e biomecânicas, muitos estudos tem verificado que dependendo do trabalho externo realizado, a frequência de pedalagem que determina a maior EB e EL, fica entre 30 e 60 RPM (GAESSER & BROOKS, 1975 ; BERRY et alii, 1993). Este comportamento também é encontrado, mesmo quando se utilizam ciclistas que treinaram por muitos anos, utilizando uma alta frequência de pedalagem (JORDAN & MERRILL, 1979). A diminuição da EB e da EL que ocorre com o aumento da frequência de pedalagem, pode ser atribuída à maior fricção muscular e, também, por um recrutamento adicional da musculatura para estabilizar o tronco (HESSER et alii, 1977) e/ou por um recrutamento maior das fibras do Tipo II, que podem ser menos eficientes do que as do Tipo I (COYLE et alii, 1992).

Aparentemente, poderia-se propor que a eficiência medida através de variáveis metabólicas ou de variáveis biomecânicas, são otimizadas em frequências de pedalagens diferentes. Porém, o cálculo da EB e da EL utilizam tradicionalmente

apenas o trabalho externo realizado, a despeito da existência de um trabalho interno, que é associado à aceleração positiva e negativa dos segmentos do corpo (WINTER, 1979). Como o ciclismo envolve uma alta frequência de movimentos repetitivos dos membros inferiores, o trabalho interno realizado pode ser substancial.

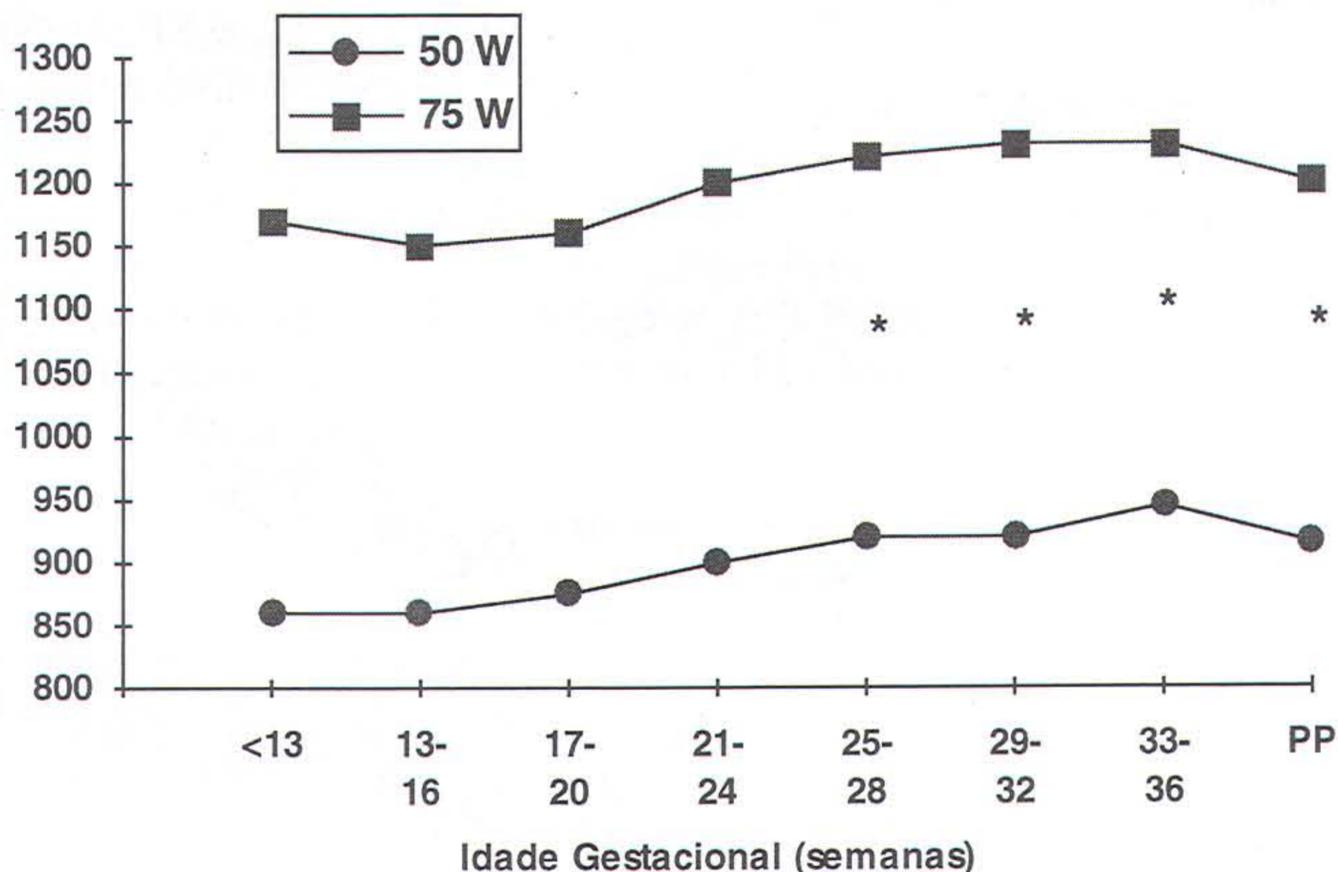
Assim, quando se leva em consideração o trabalho interno associado à rotação dos membros inferiores durante o ciclismo, isto é, se calcula a Eficiência Mecânica (trabalho mecânico / gasto energético X 100%) (WINTER, 1979), a frequência ótima de pedalagem fica entre 82 e 101 RPM (WIDRICK et alii, 1992) (Figura 6).

Deste modo, com o cálculo da Eficiência Mecânica, pode-se verificar que a frequência de pedalagem preferida dos ciclistas, e que é a mesma que apresenta a melhor eficiência biomecânica, pode ser ótima também sob a perspectiva metabólica.

Gravidez

Durante a gravidez, o gasto energético de repouso materno, o débito cardíaco, a ventilação pulmonar e a massa corporal, aumentam em função da idade gestacional (LOTGERING et alii, 1985). Estas adaptações fisiológicas, assim como

FIGURA 7 - Consumo de oxigênio (VO_2) durante o exercício na bicicleta em diferentes semanas da gestação. As idades gestacionais marcadas com asterisco, apresentam valores de VO_2 que são significativamente maiores do que as não marcadas, em ambas as cargas (50 e 75 W). Adaptado de PIVARNIK et alii (1991).



outras, podem afetar a resposta materna durante o exercício.

Como o ciclismo é tradicionalmente considerado como uma atividade onde não existe a sustentação do corpo durante o exercício, poderia-se esperar que não houvesse efeito da idade gestacional sobre o VO_2 durante este tipo de exercício. Este resultado, porém, nem sempre é encontrado. PIVARNIK et alii (1991) realizando um acompanhamento longitudinal durante a gestação e 4 semanas após o parto, observaram que o VO_2 obtido em duas diferentes cargas na bicicleta (50 e 75 W), foi significativamente maior durante o 2º e o 3º trimestres e durante o período pós-parto, quando comparado com o 1º trimestre (Figura 7).

A menor Eficiência observada durante a gravidez, pode ocorrer em função do aumento de massa dos membros inferiores, conforme discutido anteriormente, ou da maior atividade da musculatura postural. Entretanto, PIVARNIK et alii (1991) ressaltam que as mulheres em seu estudo, perderam 10 Kg entre a 33ª e a 36ª semanas de gestação, e a condição pós-parto, onde o VO_2 ain-

da permaneceu aumentado (Figura 7). Deste modo, os autores propõem que devam existir outros fatores, que não só o aumento da massa corporal, para explicar a diminuição da Eficiência durante a gravidez.

Mais estudos analisando as diferentes formas de Eficiência (EB, EL, ET e ED) são necessários, ainda, para se determinar os possíveis mecanismos envolvidos na diminuição da Eficiência, que ocorre com o avanço da idade gestacional e no período pós-parto.

Conclusões

A partir destas informações, é possível verificar-se que o interesse sobre os aspectos que influenciam a EM tem crescido muito, principalmente nas duas últimas décadas. Isto ocorre, provavelmente, porque o estudo destes aspectos não tem apenas aplicações práticas na área de treinamento ou de rendimento máximo. Na realidade, suas implicações teóricas são muito mais abrangentes, sendo de fundamental importância para o estudo e a

compreensão do movimento humano. Devemos salientar que a influência de muitos aspectos permanecem ainda sem conclusões mais definitivas, existindo a necessidade de mais estudos, que, preferencialmente, sejam desenvolvidos de modo mais multidisciplinar.

Referências Bibliográficas

- ANTON-KUCHLY, B. et alii. Determinants of increased energy cost of submaximal exercise in obese subjects. **Journal Applied Physiology: Respiration Environment Exercise Physiology**, v.56, p.18-23, 1984.
- ASTRAND, P.O. **Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to sex and Age**. Copenhagen: Enjar Munksgaard, 1952.
- ASTRAND, P.O. Aerobic capacity in men and women with special reference to age. **Acta Physiological Scandinavia**, v.49, p.1-92, 1960.
- BERGH, U. et alii. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.23, p.205-211, 1991.
- BERRY, M.J. et alii. Effects of body mass on exercise efficiency and VO_2 during steady-state cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.25, p.1031-1037, 1993.
- BHAMBANI, Y. & SINGH, M. Metabolic and cinematographic analysis of walking and running in men and women. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.17, p.131-137, 1985.
- BOSCO, C. et alii. Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. **European Journal Applied Physiology**, v.56, p.138-143, 1987.
- BRANSFORD, D. & HOWLEY, E. Oxygen cost of running in trained and untrained men and women. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.9, p.41-44, 1979.
- CAVANAGH, P.R. & KRAM, R. Mechanical and muscular factors affecting the efficiency of human movement. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.17, p.326-331, 1985.
- CONLEY, D.L. & KRAHENBUHL, G.S. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.12, p.357-360, 1980.
- CONLEY, D.L. et alii. Training for aerobic capacity and running economy. **Physician Sportmedicine**, v.9, p.107-115, 1981.
- COSTILL, D.L. et alii. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.5, p.248-52, 1973.
- COYLE, E.F. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v.23, p.25-63, 1995.
- COYLE, E.F. et alii. Determinants of endurance in well trained cyclists. **Journal Applied Physiology**, v.64, p.2622-2630, 1988.
- COYLE, E.F. et alii. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.23, p.93-107, 1991.
- COYLE, E.F. et alii. Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.24, p.782-788, 1992.
- CURETON, K. & SPARLING, P. Distance running performance and metabolic response to running in men and women with excess weight experimentally equated. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.12, p.288-294, 1980.

- DANIELS, J. A. A physiologist's view of running economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.17, p.332-338, 1985.
- DANIELS, J. & DANIELS, N. Running economy of elite male and elite female runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.24, p.483-489, 1992.
- DANIELS, J. et alii. Differences and changes in VO_2 among young runners 10 to 18 years of age. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.10, p.200-203, 1978.
- DAVIES, C. & THOMPSON, M. Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. **European Journal Applied Physiology**, v.41, p.233-245, 1979.
- DENADAI, B.S. Consumo Máximo de Oxigênio: Fatores Determinantes e Limitantes. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, v.1, p.85-94, 1995.
- DOLGENER, F. Oxygen cost of walking and running in untrained, sprint trained, and endurance trained females. **Journal Sports Medicine and Physical Fitness**, v.22, p.60-65, 1982.
- FITTS et alii. Effect of swim exercise training on human muscle fiber function. **Journal Applied Physiology**, v.66, p.465-475, 1989.
- GAESSER, G.A. & BROOKS, G.A. Muscular efficiency during steady-state exercise : effects of speed and work rate. **Journal Applied Physiology**, v.38, p.1132-1139, 1975.
- HAGAN, R.L. et alii Oxygen uptake and energy expenditure during horizontal treadmill running. **Journal Applied Physiology**, v.49, p.571-575, 1980.
- HAGBERG, J.M. et alii. Effect of pedaling rate on submaximal exercise responses of competitive cyclists. **Journal Applied Physiology**, v.51, p.447-451, 1981.
- HESSER, C.M. et alii. Cardiorespiratory and metabolic response to positive, negative and minimum load dynamic leg exercise. **Respiration Physiology**, v.30, p.51-67, 1977.
- HULL, M.L. et alii. Optimization in pedalling rate in cycling using a muscle stress-based objective function. **International Journal Sports Biomechanical**, v.4, p.1-20, 1988.
- JORDAN, L. & MERRILL, E.G. Relative efficiency as a function of pedalling rate for racing cyclists. **Journal of Physiology**, v.296, p.49P-50P, 1979.
- KAMON et alii. Climbing and cycling with additional weights on the extremities. **Journal Applied Physiology**, v.35, p.367-370, 1973.
- KEREN, G. et alii. The energy cost of walking and running with and without a backpack. **European Journal Applied Physiology**, v.46, p.317-324, 1981.
- KITAMURA, K. et alii. Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. **Journal Applied Physiology**, v.32, p.516-522, 1972.
- KRAHENBUHL, G.S. & PANGRAZI Characteristics associated with running performance in young boys. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.15, p.486-490, 1983.
- KRAHENBUHL, G.S. et alii. Longitudinal changes in distance-running performance of young males. **International Journal Sports Medicine**, v.10, p.92-96, 1989.
- LAKE, M. & CAVANAGH, P. Short-term training effects on running kinematics and running economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.22, p.S22, 1990.

- LARISH, D. et alii. Characteristic patterns of gait in the healthy old. **Annals of New York Academy Science**, v.515, p.18-32, 1987.
- LOTEGERING, F.K. et alii. Maternal and fetal responses to exercise during pregnancy. **Physiological Review**, v.65, p.1-36, 1985.
- McDOUGALL, J.D. Maximal aerobic capacity of Canadian schoolchildren : prediction based on age-related oxygen cost of running. **International Journal Sports Medicine**, v.4, p.194-198, 1983.
- MARION, G.A. & LÉGER, L.A. Energetics of indoor track cycling in trained competitors. **International Journal Sports Medicine**, v.9, p.234-239, 1988.
- MILLIC-EMILI, G. et alii. Mechanical work of breathing during exercise in trained and untrained subject. **Journal Applied Physiology**, v.17, p.43-49, 1962.
- MORGAN, D.W. & CRAIB, M. Physiological aspects of running economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.24, p.456-461, 1992.
- MORGAN, D.W. & DANIELS, J.T. Relationship between VO_2 max and the aerobic demand of running in elite distance runners. **International Journal Sports Medicine**, v.15, p.426-429, 1994.
- MORGAN, D.W. et alii. Ten Km performance and predicted velocity at VO_2 max among well-trained male runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.21, p.78-83, 1989.
- MORGAN, D.W. et alii. Variability in running economy and mechanics among trained male runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.23, p.378-383, 1991.
- MYERS, M.J. & STEUDEL, K. Effects of limb mass and its distribution on the energetic cost of running. **Journal Experimental Biology**, v.116, p.363-373, 1985.
- PATE, R.R. et alii. Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.24, p.1128-1133, 1992.
- PATTERSON, R.P. & MORENO, M.I. Bicycle pedalling forces as function of pedaling rate and power output. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.22, p.512-516, 1990.
- PATTON, J. & VOGEL, J.A. Cross-sectional and longitudinal evaluations of an endurance training program. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.9, p.100-103, 1977.
- PIVARNIK, J.M. et alii. Physiological and perceptual response to cycle and treadmill exercise during pregnancy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.23, p.470-475, 1991.
- POLLOCK, M. Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I : Cardiorespiratory aspects. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.301, p.310-322, 1977.
- POLLOCK, M. et alii. Discriminant analysis of physiological differences between good and elite distance runners. **Quarterly Exercise Sport**, v.51, p.521-532, 1980.
- REDFIELD, R. & HULL, M.L. On the relation between joint moments and pedalling rates at constant power in bicycling. **Journal of Biomechanical**, v.19, p.317-329, 1986.
- ROWLAND, T.W. Oxygen uptake and endurance fitness in children : a developmental perspective. **Pediatric Exercise Science**, v.1, p.313-328, 1989.
- SJODIN, B. et alii. Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. **European Journal Applied Physiology**, v.49, p.45-57, 1982.

- SVENDENHAG, J. & SJODIN, B. Maximal and submaximal oxygen uptakes and blood lactate levels in elite male middle- and long-distance runners. **International Journal Sports Medicine**, v.5, p.255-261, 1984.
- UNNITHAN, V.B. & ESTON, R.G. Stride frequency and submaximal treadmill running economy in adults and children. **Pediatric Exercise Science**, v.2, p.149-155, 1990.
- WENDT, I.R. & GIBBS, C.L. Energy production of rat extensor digitorum longus muscle. **American Journal Physiology**, v.224, p.1081-1086, 1973.
- WIDRICK, J.J. et alii. Effect of internal work on the calculation of optimal pedaling rates. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.24, p.376-382, 1992.
- WILCOX, A. & BULBULIAN, R. Changes in running economy relative to VO_2 max during a cross-country season. **Journal Sports Medicine and Physical Fitness**, v.24, p.321-326, 1984.
- WILLIAMS, K. R. & CAVANAGH, P. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. **Journal Applied Physiology**, v.63, p.1236-1245, 1987.
- WILLIAMS, C.G. et alii. The influence of weight and stature on the mechanical efficiency of men, **Arbeitsphysiologie**, v.23, p.107-124, 1966.
- WILLIAMS, K.R. et alii. Biomechanical studies of elite female distance runners. **International Journal Sports Medicine**, v.8(Suppl), p.107-118, 1987.
- WINTER, D.A. A new definition of mechanical work done in human movement. **Journal Applied Physiology**, v.46, p.79-83, 1979.

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA:

Departamento de Educação Física - IB - UNESP
Av. 24 A, 1515 - 13506-900
Rio Claro - SP - Brasil
Fax (0195) 340009