

# APTIDÃO AERÓBIA E SUA RELAÇÃO COM OS PROCESSOS DE CRESCIMENTO E MATURAÇÃO

## AEROBIC FITNESS AND ITS RELATIONSHIP WITH GROWTH AND MATURATION PROCESSES

Edilson Serpeloni Cyrino<sup>\*</sup>  
Alexandre Hideki Okano<sup>\*\*</sup>  
Karina Elaine de Souza Silva<sup>\*\*\*</sup>  
Leandro Ricardo Altinari<sup>\*\*\*\*</sup>  
Valfredo Ribeiro Dórea<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Sérgio Miguel Zucas<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Roberto Carlos Burini<sup>\*\*\*</sup>

---

### RESUMO

O objetivo desta revisão foi fornecer informações relativas à aptidão aeróbia e relacionar o comportamento da potência aeróbia com os processos de crescimento e maturação, visto que o metabolismo aeróbio durante a prática de exercícios físicos vem sendo alvo de muitas pesquisas ao longo das últimas décadas, tanto na perspectiva da promoção da saúde quanto da melhoria do desempenho atlético. Nesse sentido, informações relacionadas à aptidão aeróbia têm propiciado a avaliação do funcionamento do sistema cardiorrespiratório, o controle da eficiência do treinamento, a determinação da carga relativa de esforço, além da determinação do gasto energético de indivíduos em diferentes faixas etárias, de ambos os sexos e com níveis de aptidão física diferenciados. Os principais índices empregados para esse diagnóstico têm sido o consumo máximo de oxigênio (VO<sub>2</sub>max) ou o consumo-pico de oxigênio (VO<sub>2</sub>pico). Todavia, vários fatores podem influenciar esses índices, sendo, portanto, determinantes ou limitantes do desempenho motor, sobretudo em atividades predominantemente aeróbias. Dentre esses fatores, destacam-se os processos de crescimento e maturação que podem explicar muitas das diferenças encontradas no comportamento de diferentes indivíduos submetidos a esforços físicos semelhantes, proporcionando, assim, uma análise mais consistente das diferenças no desempenho motor, particularmente, de jovens de ambos os sexos.

**Palavras-chave:** Aptidão cardiorrespiratória. Potência aeróbia. Crescimento. Maturação.

---

### INTRODUÇÃO

Inúmeros estudos, ao longo das últimas décadas, têm sido direcionados a investigar o desempenho motor de indivíduos em diferentes faixas etárias, de ambos os sexos e com níveis de aptidão física diferenciados.

Nesse sentido, valiosas informações têm sido produzidas, o que tem contribuído sobretudo para a compreensão do funcionamento do metabolismo humano quando da exposição a esforços físicos agudos e crônicos, contínuos ou intermitentes, sob diferentes intensidade, duração e frequência.

Grande parte dessas investigações tem enfocado diferentes aspectos relacionados ao metabolismo aeróbio, enfatizando a potência e a capacidade aeróbia. Contudo, observa-se na literatura que essas terminologias nem sempre têm sido utilizadas de maneira adequada.

As variáveis fisiológicas não costumam possuir sinônimos do ponto de vista estritamente científico. Assim, quando o intuito é avaliar a aptidão cardiorrespiratória, o termo potência aeróbia é o mais adequado, visto que o índice empregado para isso é o consumo máximo de oxigênio (VO<sub>2</sub>max), uma medida de fluxo que pode ser expressa em valores absolutos (l/min)

---

\* Centro de Educação Física e Desportos – Universidade Estadual de Londrina.

\* \* Centro de Metabolismo e Nutrição - FM da Universidade Estadual de São Paulo – UNESP.

\* \*\* Centro de Educação Física – UFM

\* \*\*\* Universidade do Estado da Bahia – UNEB

\* \*\*\*\* Escola de Educação Física e Esportes – Universidade de São Paulo.

ou relativos à massa corporal ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ). Nesse contexto, o termo capacidade aeróbia é tecnicamente incorreto.

A capacidade aeróbia, por sua vez, está relacionada ao trabalho total realizado. Um referencial que vem sendo freqüentemente empregado para sua determinação tem sido o limiar anaeróbio.

Em crianças e adolescentes, vários ajustes metodológicos têm sido propostos no sentido de melhor predizer a aptidão aeróbia, visto que os ergômetros e os protocolos utilizados para avaliação desse parâmetro foram desenvolvidos inicialmente para a população adulta, desconsiderando as constantes modificações que ocorrem durante os processos de crescimento e maturação (STAATS *et al.*, 1993).

O propósito do presente trabalho é fornecer informações relativas à aptidão aeróbia e investigar a sua relação com os processos de crescimento e maturação.

### CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO ( $\text{VO}_2\text{MAX}$ )

O consumo máximo de oxigênio ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) tem sido, ao longo dos anos, o índice mais utilizado para o estudo do metabolismo aeróbio, haja vista sua importante relação com o desempenho, particularmente em esforços físicos prolongados sob intensidade moderada (BASSET Jr., ; HOWLEY, 2000).

Quando analisado em repouso e durante o esforço físico, o consumo de oxigênio ( $\text{VO}_2$ ) sofre modificações extremamente significativas, visto que a demanda de oxigênio para os músculos ativos durante o esforço aumenta rapidamente e pode alcançar valores superiores a 30 vezes àqueles observados em repouso, causando um aumento significativo na oferta de oxigênio e, conseqüentemente, de energia a esses músculos (ANDERSEN; SALTIN, 1985).

Assim, o  $\text{VO}_2\text{max}$  tem sido definido como a quantidade máxima de oxigênio que o organismo pode utilizar durante um exercício para a produção de energia (ARMSTRONG; WELSMAN, 1997; THODEN, 1991).

Durante o exercício físico, o comportamento do  $\text{VO}_2$  se apresenta de forma proporcional à intensidade do esforço. Dessa forma, na medida em que a intensidade do exercício passa a ser

crescente, como nos testes progressivos em laboratório, o comportamento do  $\text{VO}_2$  tende a acompanhar esse incremento de forma linear.

Todavia, a tendência é que, durante esforços máximos, o  $\text{VO}_2$  alcance um platô e se mantenha constante, sendo o desempenho suportado a partir daí por apenas mais alguns minutos à custa, exclusivamente, da ressíntese anaeróbia de adenosina trifosfato (ATP). Essa situação implica elevação no acúmulo de lactato intracelular e, conseqüentemente, acidose metabólica. Essas condições promovem o desencadeamento do processo de fadiga, resultando assim, na interrupção do esforço (ARMSTRONG; WELSMAN, 2000; DENADAI, 1995).

O ponto em que ocorre o platô no consumo de oxigênio tem sido denominado  $\text{VO}_2\text{max}$  (HILL; LUPTON, 1923). Grande parte dos indivíduos, contudo, durante os testes de esforço máximo, não consegue atingir esse platô (ARMSTRONG; WELSMAN, 1997; ARMSTRONG *et al.*, 1991; MASSICOTTE *et al.*, 1985; RIVERA-BROWN; FRONTERA, 1998; VACCARO; MAHON, 1987).

Essa é uma situação bastante comum, que pode estar relacionada à falta de motivação para executar um teste progressivo até a exaustão, ou, ainda, aos baixos níveis de capacidade anaeróbia, sobretudo em crianças e adolescentes (KRAHENBUHL *et al.*, 1985).

**Figura 1** - Modelo de teste de esforço no qual o platô no consumo de oxigênio é atingido na finalização do teste ( $\text{VO}_2\text{max}$ ).

Desse modo, o valor máximo de consumo de oxigênio atingido durante o esforço extenuante tem-se denominado mais recentemente de  $\text{VO}_2\text{pico}$ , uma vez que a premissa para que se atinja o  $\text{VO}_2\text{max}$  é que ocorra o platô no  $\text{VO}_2$ , mesmo com o aumento na intensidade do exercício (ARMSTRONG; WELSMAN, 1994; RIVERA-BROWN; FRONTERA, 1998). Os critérios que devem ser adotados para essa análise estão disponíveis na literatura (AHMAIDI, *et al.*, 1992; DUNCAN *et al.*, 1997; ISSEKUTZ *et al.*, 1962; MITCHELL *et al.*, 1958; SHEPHARD, 1971; TAYLOR *et al.*, 1955).

Atualmente, embora exista uma tendência para o emprego dessas terminologias de forma adequada, a maior parte dos estudos disponíveis na literatura não faz essa distinção, considerando, muitas vezes de forma equivocada, os valores de consumo de oxigênio obtidos em um teste de esforço máximo como resultados representativos do  $VO_{2max}$ .

**Figura 2** - Modelo de teste de esforço no qual o platô no consumo de oxigênio não é atingido na finalização do teste ( $VO_{2pico}$ ).

Outros agravantes para a falha de interpretação dos resultados do  $VO_2$  obtidos em teste de esforço são a desconsideração do tipo de ergômetro e o protocolo utilizado, além da forma de obtenção do  $VO_{2max}$  ou  $VO_{2pico}$  (direta ou indireta).

#### FORMAS DE OBTENÇÃO DO $VO_{2MAX}$ OU DO $VO_{2PICO}$

Valores de  $VO_{2max}$  ou de  $VO_{2pico}$  podem ser obtidos de forma direta, mediante análise de gases, ou indireta, de acordo com modelos matemáticos complexos desenvolvidos e validados em populações específicas.

Quanto à fidedignidade, não se discute a vantagem do método direto sobre o indireto. Todavia, dentre os principais entraves para o emprego do método direto, quando comparado ao método indireto, destacam-se: dificuldade de aplicação em larga escala, em períodos curtos de coleta; necessidade de equipamentos sofisticados e de alto custo operacional; local adequado para instalação e funcionamento dos equipamentos (laboratório); manutenção periódica das instalações e dos equipamentos; exigência de alta qualificação profissional da equipe de avaliação. Vale ressaltar que parte dessas dificuldades começam a ser superadas com o desenvolvimento de equipamentos portáteis, que podem ser utilizados em situações de campo.

Diante disso, a estimativa do  $VO_{2pico}$  por métodos indiretos torna-se uma alternativa bastante atraente para a avaliação da potência aeróbia, evidentemente levando-se em

consideração todas as limitações extensamente demonstradas pela literatura.

Nesse sentido, Léger e Boucher (1980) sugerem a avaliação do  $VO_{2pico}$  por meio de um teste de corrida contínua, máxima e com múltiplos estágios, justificando ser essa uma metodologia que requer pouco equipamento, de fácil aplicabilidade e que permite a avaliação de um grande número de indivíduos, simultaneamente. Além disso, o valor do coeficiente de validação encontrado por Léger e Gadoury (1989) no teste de corrida bidirecional (*shuttle run*) de 20 metros, com estágios de um minuto de duração, para prever o  $VO_{2pico}$  tanto em homens quanto em mulheres, foi bastante elevado ( $r = 0,90$ ), com erro padrão de estimativa em torno de 9%.

Com relação aos testes de laboratório para a determinação do  $VO_{2pico}$  de forma direta, embora atualmente existam diferentes ergômetros e protocolos de medida, a preferência ainda tem recaído sobre a esteira rolante e o cicloergômetro.

Segundo diversos achados disponíveis na literatura, o  $VO_{2pico}$  obtido na esteira tende a ser de 7% a 12% superior ao encontrado na bicicleta ergométrica (ROWLAND, 1996). A escolha de um ou outro ergômetro, portanto, deve ser feita com base na especificidade de treinamento do avaliado, principalmente se esse for treinado em bicicleta.

Vários estudos têm comprovado que a especificidade do treinamento favorece uma maior aproximação dos valores obtidos em diferentes ergômetros. Assim, ciclistas competitivos são capazes de alcançar valores semelhantes de  $VO_{2pico}$  no cicloergômetro e na esteira rolante, devido estarem aptos a pedalar sob frequências mais rápidas (HAGBERG *et al.*, 1978).

Vale destacar ainda que o tempo de duração do teste é um importante fator a ser controlado, uma vez que esforços muito prolongados podem promover o desencadeamento do processo de fadiga. Assim, a capacidade para se alcançar o  $VO_{2pico}$  pode ser comprometida com o aumento do tempo de duração do teste.

#### FATORES DETERMINANTES DO $VO_{2MAX}$ OU DO $VO_{2PICO}$

Diversos fatores podem influenciar o escore máximo ou de pico do consumo de oxigênio, dos quais os mais importantes são a hereditariedade, o tipo de treinamento, o nível de aptidão física atual, o sexo, a composição corporal e a idade (ROWLAND, 1996).

Apesar de existirem controvérsias, vários estudos disponíveis na literatura indicam uma contribuição significativa dos fatores hereditários, tanto para a capacidade funcional quanto para o desempenho motor durante a prática de exercícios (FAGARD *et al.*, 1991; KLISSOURAS, 1971; KLISSOURAS *et al.*, 1973).

Em estudo desenvolvido com gêmeos idênticos e gêmeos fraternos, criados na mesma cidade e cujos pais pertenciam a estruturas socioeconômicas semelhantes, ficou evidenciado que a hereditariedade, por si só, era responsável por até 93% das diferenças observadas na potência aeróbia, quando essas eram analisadas por meio dos valores do  $VO_2$ pico. Além disso, a capacidade de produção de energia a curto prazo pela glicólise e a frequência cardíaca máxima aparentemente eram determinadas geneticamente em cerca de 81% e 86%, respectivamente (KLISSOURAS *et al.*, 1973).

Esses achados indicam que dois indivíduos, irmãos gêmeos, podem apresentar respostas semelhantes ao treinamento. Estudos posteriores, contudo, sugerem uma contribuição genética mais moderada do que a observada nessa investigação (BOUCHARD *et al.*, 1984; 1986; 1988; FAGARD *et al.*, 1991; LESAGE *et al.*, 1985; LORTIE *et al.*, 1982; SUNDET *et al.*, 1994).

A composição das fibras musculares é outro importante fator de caráter genético que predispõe ou não o indivíduo a uma melhor potência aeróbia máxima, sendo determinada a partir da predominância de fibras oxidativas e intermediárias às fibras glicolíticas.

O treinamento específico do metabolismo aeróbio adapta as chamadas fibras intermediárias, proporcionando-lhes características oxidativas. Além disso, o treinamento pode causar, de acordo com o nível de aptidão física do indivíduo, o aprimoramento da potência aeróbia em cerca de 15% a 30% em adultos jovens e de 5% a 10% em crianças pré-púberes (ROWLAND, 1996). Todavia, existem relatos

sobre ganhos de até 50% acima dos índices determinados pré-treinamento (McARDLE *et al.*, 1998).

Vale destacar que a magnitude dos ganhos, após um período de treinamento predominantemente aeróbio, parece estar inversamente relacionada ao nível de aptidão física individual observado no pré-treinamento. Assim, indivíduos fisicamente ativos, quando avaliados no pré e pós-treinamento, apresentam uma melhora menos acentuada no  $VO_2$ pico do que indivíduos tipicamente sedentários ou pouco ativos fisicamente.

Nesse sentido, pelo fato das crianças, de um modo geral, apresentarem-se habitualmente mais ativas do que a grande maioria dos adultos, as modificações acarretadas em um período de treinamento predominantemente aeróbio, nessa população especificamente, tendem a ser menores do que aquelas verificadas em adultos (ROWLAND, 1997).

O sexo também tem uma forte relação com a potência aeróbia. Homens adultos apresentam, em média, um  $VO_2$ pico relativo ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) superior em 20% a 30% ao das mulheres. Essa diferença se apresenta ainda maior quando enunciada por valores absolutos (l/min), podendo atingir 40% a 60% (SPARLING, 1980).

A explicação para essas diferenças aparentemente está relacionada à composição corporal. A mulher adulta, em geral, possui aproximadamente 10% a mais de gordura corporal total do que o homem que, em contrapartida, possui níveis mais elevados de massa muscular, podendo, assim, gerar mais energia aerobicamente (POLLOCK ; WILMORE, 1993).

Estima-se que as diferenças nos valores do  $VO_2$ pico estejam relacionadas 69% com o peso corporal absoluto, 4% com a altura e 1% com o peso corporal “magro” (WYNDHAM; HEGNS, 1969). Tais informações sugerem que a comparação entre o  $VO_2$ pico de diferentes indivíduos ou grupos deve ser realizada preferencialmente em termos relativos à massa corporal total, minimizando, assim, as possíveis diferenças sexuais, genéticas e/ou provocadas pelo meio ambiente.

Vale ressaltar que os homens apresentam maiores concentrações de hemoglobina do que

as mulheres, o que lhes garante uma maior capacidade sanguínea de carrear oxigênio e, conseqüentemente, uma melhor circulação durante o exercício físico (ASTRAND; RODAHL, 1986).

Apesar de todas essas limitações, as mulheres, quando ativas e bem treinadas, apresentam um quadro geral bastante diferenciado do apresentado anteriormente, podendo alcançar valores de  $VO_2$  pico superiores aos encontrados em homens não-treinados.

A idade é mais um dos fatores que alteram a captação máxima de oxigênio. O  $VO_2$  pico absoluto eleva-se de aproximadamente 1,0 l/min até cerca de 3,2 l/min dos 6 aos 18-20 anos. A partir daí, o  $VO_2$  pico alcança um platô que dura, aproximadamente, até os vinte e cinco anos, quando começa a declinar constantemente em torno de 1% ao ano, em indivíduos de ambos os sexos. O declínio no  $VO_2$  pico acarretado pelo processo de envelhecimento, associado à redução no nível de atividade física habitual, portanto, pode provocar um aumento no peso corporal, resultando em uma queda de aproximadamente 70% na aptidão cardiorrespiratória por volta dos 65 anos (McARDLE *et al.*, 1998).

Todavia, a prática regular de exercícios físicos, predominantemente aeróbios, pode minimizar os efeitos do envelhecimento, reduzindo o percentual de queda em aproximadamente 50% (POLLOCK *et al.*, 1987).

### TREINAMENTO AERÓBIO E OS SISTEMAS ORGÂNICOS

O treinamento aeróbio regular é um importante componente da aptidão física relacionada à saúde, visto que promove uma melhora na tolerância à glicose, reduz a resistência periférica à insulina, contribui para a perda de peso corporal, reduzindo vários fatores de risco para a incidência de doenças cardiovasculares (YOUNG, 1995).

Além disso, o treinamento aeróbio aprimora as capacidades funcionais relacionadas ao transporte e à utilização de oxigênio, causando adaptações bastante favoráveis aos sistemas orgânicos.

No músculo esquelético, treinado aerobiamente, observa-se um aumento das mitocôndrias, tanto em tamanho quanto em quantidade, concomitantemente a uma elevação na atividade das enzimas mitocondriais (BOOTH; THOMASON, 1991). Dessa forma, a capacidade de geração de ATP aerobiamente, via fosforilação oxidativa, fica bastante ampliada (ASTRAND; RODAHL, 1986).

Além disso, o músculo treinado também tem aumentada sua capacidade de mobilizar e oxidar gordura, o que permite uma maior preservação das reservas de glicogênio muscular com menor produção de lactato, o que é extremamente produtor, principalmente durante esforços físicos prolongados (ASTRAND, 1992; HOLLOSZY; COYLE, 1984).

Adaptações metabólicas nos diferentes tipos de fibras musculares já foram constatadas com a aplicação de programas de treinamento predominantemente aeróbios, mediante o uso da técnica de biópsia muscular, demonstrando uma hipertrofia das fibras de contração lenta, que passam a ocupar uma área muscular superior às fibras de contração rápida. Esses achados sugerem que essa hipertrofia seja seletiva, decorrente de treinamentos específicos (McARDLE *et al.*, 1998). Vale ressaltar, contudo, que os tipos de fibra muscular, aparentemente, não se alteram com o exercício físico, mas desenvolvem o potencial preexistente (ASTRAND; RODAHL, 1986).

Os efeitos do treinamento aeróbio manifestam-se também sobre outros sistemas, principalmente sobre o cardiovascular e o respiratório.

As principais adaptações induzidas nesses dois sistemas pelo treinamento aeróbio dizem respeito ao volume cardíaco, volume plasmático, frequência cardíaca de repouso e em exercício submáximo, volume de ejeção, débito cardíaco, extração de oxigênio, fluxo e distribuição do sangue, pressão arterial e função respiratória. Por outro lado, todas essas adaptações tendem a desaparecer mais ou menos rapidamente com a inatividade física e algumas delas até com a redução na sobrecarga tensional ou metabólica de treinamento (McARDLE *et al.*, 1998).

Uma pequena hipertrofia ventricular esquerda, resultante do espessamento das

paredes do coração, acarreta aumento do seu peso e volume, adaptações essas induzidas pelo treinamento aeróbio de longa duração. Todavia, com a redução ou cessação das rotinas de treinamento, essas adaptações tendem a ser perdidas parcialmente ou integralmente, levando os indivíduos aos níveis observados no pré-treinamento (HICKSON *et al.*, 1985).

O volume plasmático e a concentração total de hemoglobina tendem a aumentar com o treinamento de longa duração, podendo aprimorar a dinâmica circulatória e termorreguladora, facilitando a capacidade de fornecimento de oxigênio durante o exercício físico (CONVERTINO, 1983).

O volume de ejeção aumenta significativamente em repouso e durante o esforço físico devido a um grande aumento no volume ventricular e a uma melhor contractilidade do miocárdio (SPINA *et al.*, 1992). Com isso, o débito cardíaco máximo aumenta acentuadamente, independente da possível redução da frequência cardíaca máxima (McARDLE *et al.*, 1998).

Um sensível aumento na quantidade de oxigênio extraído do sangue circulante, acompanhado de uma utilização mais adequada, é produto do treinamento aeróbio. Desse modo, o aumento na diferença arteriovenosa resulta em um menor débito cardíaco (ROWELL, 1986).

Com o aumento da capacidade celular de fornecimento, extração e utilização de oxigênio, torna-se necessário um menor fluxo regional para atender as necessidades de oxigênio do músculo. Essa redução parece ser altamente benéfica, visto que uma maior quantidade de sangue passa a ser oferecida aos tecidos inativos, substancialmente importantes, como a pele, o fígado e os rins (ROWLAND, 1996).

A pressão arterial sistólica (PAS) e diastólica (PAD) tendem a sofrer reduções com o treinamento aeróbio, tanto em repouso quanto em exercício submáximo. O maior decréscimo, no entanto, tem sido observado na PAD, o que é altamente interessante para portadores de hipertensão leve ou moderada (HAGBERG *et al.*, 2000).

O incremento no  $VO_2$  pico, induzido pelo treinamento aeróbio, ocorre simultaneamente ao aumento no volume respiratório, tanto no volume corrente quanto na frequência

respiratória, o que produz uma maior ventilação máxima. Tais adaptações são importantes, uma vez que promovem uma maior economia ventilatória, o que significa mais oxigênio disponível para os músculos ativos durante o exercício físico prolongado (McARDLE *et al.*, 1998).

O exercício aeróbio regular tem ainda um papel destacado sobre a composição corporal, contribuindo para a redução do tecido adiposo, sobretudo quando associado a uma dieta balanceada e adequada às necessidades do indivíduo.

Vale ressaltar que o excesso de peso e, em grau mais elevado a obesidade, tem sido apontado em diversos estudos como um dos principais fatores desencadeadores de doenças cardiovasculares, participando significativamente nas estatísticas de morte por disfunções de caráter crônico-degenerativas (COLEMAN *et al.*, 1992; POLLOCK *et al.*, 1987).

#### **APTIDÃO AERÓBIA E SUA RELAÇÃO COM O CRESCIMENTO E MATURAÇÃO**

Com relação ao metabolismo aeróbio, as modificações observadas durante o crescimento e os diferentes estágios de maturação têm sido extensamente documentadas pela literatura.

O crescimento gera alterações nas dimensões corporais e, conseqüentemente, nas dimensões da cadeia de componentes responsáveis pelo fornecimento, extração e utilização de oxigênio (coração, pulmões, músculos, volume sanguíneo) (ROWLAND, 1990).

Como nem sempre a idade cronológica corresponde exatamente à idade biológica, o acompanhamento das modificações no  $VO_2$  pico de acordo com a idade cronológica deve ser analisado com cautela. Desse modo, a análise das respostas funcionais de acordo com os diferentes estágios maturacionais parece ser uma medida muito mais adequada para esse tipo de avaliação em crianças e adolescentes, tendo em vista as inúmeras diferenças que tendem a ocorrer intra e inter-sexos, na infância e na adolescência.

Assim, o aumento no  $VO_2$  pico, em termos absolutos, é crescente em meninos e meninas até o início da puberdade, embora desde a infância os meninos apresentem valores superiores aos encontrados nas meninas (ROWLAND *et al.*,

1997). Esse comportamento provavelmente seja produto do aumento do volume de ejeção e, conseqüentemente, do débito cardíaco (ARMSTRONG; WELSMAN, 2000).

A partir daí, o  $VO_2$ pico no sexo masculino tende a continuar crescendo até alcançar valores máximos por volta dos 18-20 anos (ASTRAND; RODAHL, 1986). Em contrapartida, os valores do  $VO_2$ pico tendem a se manter ou mesmo a se reduzir discretamente no sexo feminino após a puberdade (KRAHENBUHL *et al.*, 1985).

Segundo a literatura, as diferenças no  $VO_2$ pico absoluto entre os sexos aparentemente são bastante variáveis, podendo atingir cerca de 13% por volta dos 10 anos de idade ou até 37% aos dezesseis, em favor dos meninos (ARMSTRONG; WELSMAN, 1994).

Tais diferenças podem ser atribuídas a vários fatores, dentre os quais: maior incremento na massa muscular e massa corporal total nos meninos (PATE; KISKA, 1984); menores concentrações de hemoglobina nas meninas (KRAHENBUHL *et al.*, 1985); aumento da adiposidade nas meninas, provavelmente associado a um menor nível de atividade física habitual, sobretudo quando comparadas aos meninos (ROWLAND, 1996).

Quando a análise do comportamento do  $VO_2$ pico é feita em função da massa corporal, ou seja, em termos relativos, o panorama se modifica significativamente, mantendo os meninos valores estáveis dos 6 aos 16 anos, ao passo que as meninas, nas mesmas faixas etárias, tendem a sofrer uma queda gradativa na potência aeróbia (ROWLAND *et al.*, 1997).

Apesar disso, existem atualmente muitas controvérsias com relação a esse tipo de análise em jovens devido às possíveis influências dos processos de crescimento e maturação. As

interpretações convencionais com relação ao  $VO_2$ max ou  $VO_2$ pico têm sido colocadas em risco por convincentes argumentos teóricos e estatísticos e por evidências empíricas que têm demonstrado as limitações em se adotar o expoente 1 para a massa corporal no intuito de corrigir as diferenças provocadas pelas modificações nas dimensões corporais nas comparações intra e inter-indivíduos durante a infância e adolescência (ARMSTRONG; WELSMAN, 1994; WELSMAN; ARMSTRONG, 2000).

Assim, estudos empregando técnicas de *scaling*, baseadas em princípios alométricos e utilizando expoentes menores que 1 para a massa corporal, têm, aparentemente, demonstrado um maior potencial de ajuste para as discrepâncias observadas, sobretudo no desempenho aeróbio de jovens (ARMSTRONG *et al.*, 1998; ROGERS *et al.*, 1995; ROWLAND *et al.*, 1997; WELSMAN *et al.*, 1996).

No entanto, as modificações no  $VO_2$ pico de crianças e adolescentes podem ser afetadas não apenas pelas alterações nas dimensões corporais, mas também por outros fatores, tais como: motivação, níveis individuais de aptidão física e treinamento físico (ROGERS *et al.*, 1995).

Nesse sentido, pesquisadores têm observado melhora significativa na potência aeróbia mediante o emprego de programas de treinamento padronizados já na infância (YOSHIZAWA *et al.*, 1997).

Para finalizar, as informações apresentadas no decorrer deste trabalho indicam a necessidade de um acompanhamento criterioso dos processos de crescimento e maturação para uma análise mais consistente do comportamento metabólico de jovens de ambos os sexos, sobretudo nos exercícios físicos em que o componente aeróbio ocupa papel de destaque.

---

## AEROBIC FITNESS AND ITS RELATIONSHIP WITH GROWTH AND MATURATION PROCESSES

### ABSTRACT

The aim of this paper is to provide information concerning aerobic fitness and then relate the behavior of aerobic strength with growth and maturation processes, since the aerobic metabolism during the practice of physical exercises has been the target of research along the last decades, both under the perspective of health promotion and the improvement of the athletic performance. In that sense, information about aerobic fitness has provided the evaluation of the cardiorespiratory system functioning, the training efficacy control, the determining of the effort relative load, besides determining the individual's energy expenditure in different age groups, both male and female, and with differential levels of physical fitness. The main indexes used in this purpose have been the maximal oxygen consumption ( $VO_2$ max) or the peak oxygen consumption ( $9VO_2$ peak). However, several factors may influence such indexes, being either determinant or restraint of the motor performance, mostly in predominantly aerobic activities. Among such factors the emphasis is on growth and maturation

processes, which can explain many of the differences found in the behavior of different individuals submitted to similar physical efforts, providing thus a more consistent analysis of the differences in the motor performance, particularly of young male and female.

**Key words:** Cardiorespiratory fitness. Aerobic power. Growth. Maturation.

## REFERÊNCIAS

- AHMAIDI, S. *et al.* Maximal and functional aerobic capacity as assessed by two graduated field methods in comparison to laboratory exercise testing in moderately trained subjects. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 13, no. 3, p. 243-248, 1992.
- ANDERSEN, P.; SALTIN, B. Maximal perfusion of skeletal muscle in man. **Journal of Physiology**, London, v. 366, p. 233-249, 1985.
- ARMSTRONG, N. *et al.* Peak oxygen uptake and maturation in 12-years-olds. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v. 30, no. 1, p. 165-169, 1998.
- ARMSTRONG, N. *et al.* The peak oxygen uptake of British children with reference to age, sex and sexual maturity. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v. 62, no. 5, p. 369-375, 1991.
- ARMSTRONG, N.; WELSMAN, J. R. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, Baltimore, v. 22, p. 435-476, 1994.
- ARMSTRONG, N.; WELSMAN, J. R. Children in sport and exercise II. **The British Journal of Physical Education**, London, v. 28, no. 2, p. 30-32, 1997.
- ARMSTRONG, N.; WELSMAN, J. R. Developmental of aerobic fitness during childhood and adolescence. **Pediatric Exercise Science**, Champaign, v. 12, no. 2, p. 128-149, 2000.
- ASTRAND, P. O. J. B. Wolffe Memorial Lecture. "Why exercise?" **Medicine & Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v. 24, no. 2, p. 153-162, 1992.
- ASTRAND, P. O.; RODAHL, K. **Textbook of Work Physiology**. 3rd. ed. New York: McGraw-Hill, 1986.
- BASSETT Jr., D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v. 32, no. 1, p. 70-84, 2000.
- BOOTH, F. W.; THOMASON, D. B. Molecular and cellular adaptations to physical training. **Physiological Reviews**, Bethesda, v. 71, no. 2, p. 541-585, 1991.
- BOUCHARD, C. *et al.* Aerobic performance in brothers, dizygotic and monozygotic twins. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v. 18, no. 6, p. 639-646, 1986.
- BOUCHARD, C. *et al.* Heredity and trainability of aerobic and anaerobic performances. **Sports Medicine**, Auckland, v. 5, no. 1, p. 69-73, 1988.
- BOUCHARD, C. *et al.* Familial resemblance for  $\dot{V}O_{2\max}$  in the sedentary state: the HERITAGE family study. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v. 30, no. 2, p.158- 252, 1998.
- BOUCHARD, C. *et al.* Submaximal power output in adopted and biological siblings. **Annals of Human Biology**, Basingstoke, v. 11, no. 4, p. 303-309, 1984.
- COLEMAN, M. P. *et al.* A prospective study of obesity, lipids, apolipoproteins and ischaemic heart disease in women. **Atherosclerosis**, Limerick, v. 92, no. 2/3, p. 177-185, 1992.
- CONVERTINO, V. A. Heart rate and sweat rate responses associated with exercise-induced hypervolemia. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v. 15, no. 1, p. 77-82, 1983.
- DENADAI, B. S. Consumo máximo de oxigênio: fatores determinantes e limitantes. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 85-94, 1995.
- DUNCAN, G. E. *et al.* Applicability of  $\dot{V}O_{2\max}$  criteria: discontinuous versus continuous protocols. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v. 29, no. 2, p. 273-278, 1997.
- FAGARD, R. *et al.* Heritability of aerobic power and anaerobic energy generation during exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 70, no. 1, p. 357-362, 1991.
- HAGBERG, J. M. *et al.* Comparison of three procedures for measuring  $\dot{V}O_{2\max}$  in competitive cyclists. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v. 39, no. 1, p. 47-52, 1978.
- HAGBERG, J. M. *et al.* The role of exercise training in the treatment of hypertension: an update. **Sports Medicine**, Auckland, v. 30, no. 3, p. 193-206, 2000.
- HICKSON, R. C. *et al.* Reduced training intensities and loss of aerobic power, endurance, and cardiac growth. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 58, no. 2, p. 492-499, 1985.
- HILL, A. V.; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **Quarterly Medical Journal**, Bethesda, v. 16, p. 135-171, 1923.
- HOLLOSZY, J. O.; COYLE, E. F. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 56, no. 4, p. 831-838, 1984.
- ISSEKUTZ, B. *et al.* Use of respiratory quotients in assessment of aerobic capacity. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 17, no. 1, p. 47-50, 1962.
- KLISSOURAS, V. *et al.* Adaptation to maximal effort: genetics and age. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 35, no. 2, p. 288-293, 1973.

- KLISSOURAS, V. Heritability of adaptive variation. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 31, no. 3, p. 338-344, 1971.
- KRAHENBUHL, G. S. *et al.* Developmental aspects of maximal aerobic power in children. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, Baltimore, v. 13, p. 503-538, 1985.
- LÉGER, L.; BOUCHER, R. An indirect continuous running multistage field test: The Université de Montreal Track Test. **Canadian Journal of Sports Science**, Ontário, v. 5, no. 2, p. 77-84, 1980.
- LÉGER, L.; GADOURY, C. Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict  $\text{VO}_2\text{max}$  in adults. **Canadian Journal of Sports Science**, Ontário, v. 14, no. 1, p. 21-26, 1989.
- LESAGE, R. *et al.* Familial resemblance in maximal heart rate, blood lactate and aerobic power. **Human Heredity**, Basel, v. 35, no. 3, p. 182-189, 1985.
- LORTIE, G. *et al.* Familial similarity in aerobic power. **Human Biology**, Detroit, v. 54, no. 4, p. 801-812, 1982.
- MASSICOTTE, D. *et al.* Prediction of  $\text{VO}_2\text{max}$  from the running performance in children aged 10-17 years. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Turin, v. 25, no. 1/2, p. 10-17, 1985.
- McARDLE, W. D. *et al.* **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.
- MITCHELL, J. H. *et al.* The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. **Journal of Clinical Investigation**, New Haven, v. 37, p. 538-547, 1958.
- PATE, R. R.; KISKA, A. Physiological bases of the sex difference in cardiorespiratory endurance. **Sports Medicine**, Auckland, v. 1, no. 1, p. 87-98, 1984.
- POLLOCK, M. L. *et al.* Effect of age and training on aerobic capacity and body composition of master athletes. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 62, no. 2, p. 725-731, 1987.
- POLLOCK, M. L.; WILMORE, J. H. **Exercícios na saúde e na doença**. 2. ed. Rio de Janeiro: Medsi, 1993.
- RIVERA-BROWN, A. M.; FRONTERA, W. R. Achievement of plateau and reliability of  $\text{VO}_2\text{max}$  in trained adolescents tested with different ergometers. **Pediatric Exercise Science**, Champaign, v. 10, no. 2, p. 164-175, 1998.
- ROGERS, D. M. *et al.* Allometric scaling factors to oxygen uptake during exercise in children. **Pediatric Exercise Science**, Champaign, v. 7, no. 1, p. 12-25, 1995.
- ROWELL, L. B. **Human circulation regulation during physical exercise**. New York: Oxford University Press, 1986.
- ROWLAND, T. W. *et al.* Body size and the growth of maximal aerobic power in children: a longitudinal analysis. **Pediatric Exercise Science**, Champaign, v. 9, no. 3, p. 262-274, 1997.
- ROWLAND, T. W. Developmental aspects of physiological function relating to aerobic exercise in children. **Sports Medicine**, Auckland, v. 10, no. 4, p. 255-266, 1990.
- ROWLAND, T. W. **Developmental exercise physiology**. Champaign: Human Kinetics Books, 1996.
- ROWLAND, T. W. The "trigger hypothesis" for aerobic trainability: a 14-year follow-up. **Pediatric Exercise Science**, Champaign, v. 9, no. 1, p. 1-9, 1997.
- SHEPHARD, R. J. Standard tests of aerobic power. In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **Frontiers of fitness**. Springfield: Thomas, 1971. p. 233-264.
- SPARLING, P. B. A meta-analysis of studies comparing maximal oxygen uptake in men and women. **Research Quarterly for Exercise and Sports**, Reston, v. 51, no. 3, p. 542-552, 1980.
- SPINA, R. J. *et al.* Exercise training improves left ventricular contractile response to  $\beta$ -adrenergic agonist. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 72, no. 1, p. 307-311, 1992.
- STAATS, B. A. *et al.* Quality control in exercising testing. **Progress in Pediatric Cardiology**, Woburn, v. 2, p. 11-17, 1993.
- SUNDET, J. M. *et al.* The heritability of maximal aerobic power: a study of Norwegian twins. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, Copenhagen, v. 4, p. 181-185, 1994.
- TAYLOR, H. L. *et al.* Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 8, no. 1, p. 73-80, 1955.
- THODEN, J. S. Testing aerobic power. In: MacDOUGALL, J.; WENGER, H.; GREEN, H. (Ed.). **Physiological testing of the high-performance athlete**. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics Books, 1991. p. 107-173.
- VACCARO, P.; MAHON, A. Cardiorespiratory responses to endurance training in children. **Sports Medicine**, Auckland, v. 4, no. 5, p. 352-363, 1987.
- WELSMAN, J. R. *et al.* Scaling peak  $\text{VO}_2$  for differences in body size. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v. 28, no. 2, p. 259-265, 1996.
- WELSMAN, J. R.; ARMSTRONG, N. Statistical techniques for interpreting body size-related exercise performance during growth. **Pediatric Exercise Science**, Champaign, v. 12, no. 2, p. 112-127, 2000.
- WYNDHAM, C. H.; HEGNS, A. J. A. Determinants of oxygen consumption and maximum oxygen intake of Bantu and Caucasian males. **Internationale Zeitschrift Fur Angewandte Physiologie Einschliesslich Arbeitsphysiologie**, Berlin, v. 27, no. 1, p. 51-57, 1969.
- YOSHIZAWA, S. *et al.* Effects of an 18-month endurance run training program on maximal aerobic power in 4-to-6-year-old girls. **Pediatric Exercise Science**, Champaign, v. 9, no. 1, p. 33-43, 1997.
- YOUNG, J. C. Exercise prescription for individuals with metabolic disorders: practical considerations. **Sports Medicine**, Auckland, v. 19, no. 1, p. 43-54, 1995.

*Recebido em 15/12/2002*  
*Revisado em 15/03/2002*

*Aceito em 16/04/2002*

---

**Endereço para correspondência:** Edilson Serpeloni Cyrino, Rua Professor Samuel Moura, 328, Apto 1604, CEP 86061-060, Londrina, PR., Fone: (0XX43) 3275898. E-mail: emcyrino@netsinai.com