

## Comportamento das Variáveis Cardiovasculares, Ventilatórias e Metabólicas Durante o Exercício: Diferenças entre Crianças e Adultos

*Cardiovascular, Ventilatory, and Metabolic Parameters during Exercise: Differences between Children and Adults*

Danilo Marcelo Leite de Prado, Rodrigo Gonçalves Dias, Ivani Credidio Trombetta

Instituto do Coração do Hospital das Clínicas – InCor, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – FMUSP – São Paulo, SP

Com a crescente popularidade e a ênfase sobre os benefícios do condicionamento físico na criança, devemos compreender os aspectos fisiológicos relacionados ao exercício na população pediátrica. As crianças não devem ser vistas como “miniatura de adultos”, elas são únicas e apresentam particularidades em cada estágio do seu crescimento. O desenvolvimento dos sistemas musculoesquelético, nervoso e endócrino dita, em grande parte, seus limites fisiológicos e metabólicos diante do esforço<sup>1,2</sup>. Atualmente, tem-se verificado um interesse crescente na pesquisa sobre o crescimento e desenvolvimento fisiológico de crianças e adolescentes e, conseqüentemente, sobre os mecanismos envolvidos no comportamento cardiorrespiratório e metabólico observado na população pediátrica durante a prática do exercício físico. De fato, certos autores<sup>2-5</sup> atribuem as diferentes respostas fisiológicas e metabólicas observadas em crianças durante a prática do exercício físico ao nível de maturação biológica apresentado por elas, já que à medida que elas crescem, também desenvolvem quase todas as suas capacidades funcionais.

Num elegante estudo, Vinet e cols.<sup>3</sup> observaram que crianças pré-púberes apresentam menores valores de débito cardíaco no pico do exercício, quando comparadas a jovens adultos. Com relação ao metabolismo celular, vários estudos têm observado que as crianças apresentam uma atenuada eficiência na atividade glicolítica durante a prática do exercício físico quando comparadas a indivíduos adultos<sup>1,5-7</sup>. Na fase do estirão de crescimento pubertário importantes hormônios (somatotropina, fatores de crescimento semelhantes à insulina e hormônios esteróides sexuais) são liberados na corrente sanguínea<sup>1,2</sup>. Nesse período há aumento da massa corporal magra, e essa mudança na composição corporal influencia positivamente o desenvolvimento das capacidades físicas e desempenho durante a adolescência.

Vários aspectos das adaptações biológicas ao exercício em crianças e adolescentes devem, portanto, ser considerados. Quais alterações fisiológicas em resposta ao exercício ocorrem com a idade, quando crianças e adolescentes estão com o mesmo dispêndio absoluto de potência ao desempenhar suas tarefas? Há diferenças significativas nas respostas cardiovasculares, ventilatórias e metabólicas às diferentes

demandas (submáxima ou máxima) de exercício no indivíduo em crescimento? (Tab. 1)

A seguir serão apresentados diferentes estudos que mostram os possíveis mecanismos morfofuncionais que tornam diferenciada a responsividade cardiovascular, ventilatória e metabólica durante o esforço físico observado em crianças.

### Aspectos cardiovasculares

No que diz respeito aos parâmetros cardiovasculares, tais como frequência cardíaca (FC), volume de ejeção sistólico (VS), débito cardíaco (DC) e diferença arteriovenosa de oxigênio (diferença a-vO<sub>2</sub>), é sabido que a população pediátrica apresenta um comportamento diferenciado tanto no nível submáximo como no máximo de esforço, em relação ao observado em seus congêneres adultos<sup>2,3,8,9</sup>. As possíveis causas podem ser: 1) menor volume cardíaco e sanguíneo<sup>2,3,8</sup>; 2) maior estimulação dos quimiorreceptores periféricos<sup>8</sup>; 3) níveis mais baixos de catecolaminas circulantes<sup>10</sup>; 4) menor responsividade dos receptores beta-adrenérgicos<sup>11</sup> e 5) diferença no ajuste dos mecanismos de termorregulação<sup>12,13</sup>.

### Frequência cardíaca

A frequência cardíaca, um importante parâmetro utilizado no controle de intensidade do treinamento físico, apresenta uma resposta exacerbada em crianças<sup>2,3,8,9,12</sup>. Para Vinet e cols.<sup>3</sup>, essa maior atividade cronotrópica observada em crianças para uma mesma demanda de trabalho deve-se a um mecanismo compensatório relacionado ao menor volume do coração, menor volume sanguíneo e, subseqüentemente, a um menor volume de ejeção sistólico (fig. 1). Turley & Wilmore<sup>8</sup>, por sua vez, atribuem a essa resposta cronotrópica exacerbada a maior ativação dos quimiorreceptores periféricos em relação a um maior acúmulo de subprodutos do metabolismo muscular. Segundo esses autores, essa maior estimulação aferente observada em crianças pode estar relacionada ao recrutamento de menor quantidade absoluta de tecido muscular para uma mesma demanda de trabalho, impondo

### Palavras-chave

Crianças, exercício físico, comportamento cardiovascular, ventilatório e metabólico.

Correspondência: Danilo Marcelo Leite do Prado •

Av. Dr. Arnaldo, 455, Sala 4305 – 05403-900 – São Paulo, SP

E-mail: danilomprado@usp.br

Recebido em 14/10/05 • Aceito em 08/12/05

## Atualização Clínica

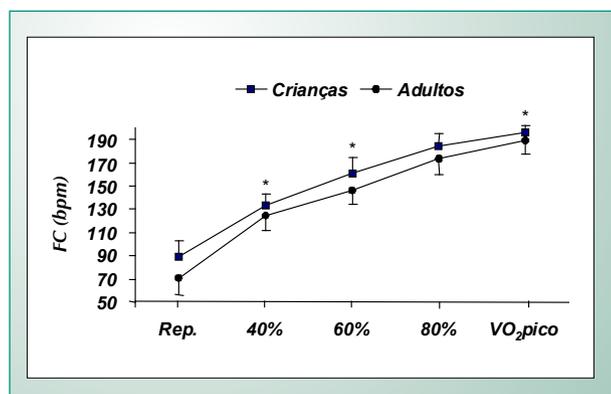
Variáveis Cardiovasculares	Exercício submáximo		Exercício máximo	
	Crianças	Adultos	Crianças	Adultos
FC (bpm)	↑↑	↑	↑↑	↑
VS (ml/bat)	↑	↑↑	↑	↑↑
DC (l/min)	↑	↑↑	↑	↑↑
Dif. a-vO <sub>2</sub>	↑↑	↑	↑	↑↑
<b>Variáveis ventilatórias</b>				
FR (resp/min)	↑↑	↑	↑↑	↑
VC (ml/min)	↑	↑↑	↑	↑↑
VE (l/min)	↑	↑↑	↑	↑↑
VE/VO <sub>2</sub>	↑↑	↑	↑↑	↑
RER	↑ ou ↑↑	↑↑	↑	↑↑
<b>Variáveis metabólicas</b>				
[CP]	↔		↔	
[Glicogênio] tissulares	↓		↑	
[PFK] e [LDH]	↓		↑	
Atividade PFK e LDH	↓		↑	
[ ] e atividade de enzimas oxidativas	↑		↓	

↑ maior; ↓ menor; ↔ semelhante; CP – creatina fosfato; PFK – fosfofrutoquinase; LDH – lactato desidrogenase. Adaptado de Boisseau & Delamarch<sup>1</sup>; Haralambie<sup>23</sup>; Vinet e cols.<sup>3</sup>; Rowland & Cunningham<sup>4</sup>; Turley & Wilmore<sup>9</sup>.

**Tabela 1 - Comparação para as variáveis cardiovasculares, ventilatórias e metabólicas entre crianças e adultos em nível submáximo e máximo de exercício**

maior solicitação mecânica por unidade de músculo.

Esse parece ser o caso, pois estudos comparando a resposta cronotrópica em indivíduos adultos para uma mesma demanda de trabalho encontraram maior frequência cardíaca para os exercícios realizados com pequenos grupos musculares, em relação aos que utilizaram os grandes grupos musculares<sup>14,15</sup>. Entretanto Turley<sup>16</sup>, em sua investigação com o propósito de analisar a influência metaborreflexa no cronotropismo durante o exercício isométrico, observou que o metaborreflexo muscular influencia de modo semelhante a resposta cronotrópica entre crianças e adultos.



**Fig. 1** - Cinética da frequência cardíaca em crianças e adultos durante o exercício físico progressivo. (\*)  $p < 0,05$  - diferença entre os grupos. Adaptado de Vinet e cols.<sup>3</sup>.

Para Bar-Or<sup>12</sup>, o maior cronotropismo observado em crianças para uma dada intensidade submáxima de exercício pode estar relacionado em parte às diferenças na modulação da temperatura corporal. As crianças apresentam uma reduzida capacidade evaporativa de dissipação do calor corporal, em razão de que dependem mais das vias da convecção e radiação<sup>12,13</sup>. A efetiva perda de calor por essas vias (convecção e radiação) aumenta a redistribuição do fluxo sanguíneo para as áreas superficiais corporais às expensas do volume sanguíneo central, provocando desse modo um desvio para cima da frequência cardíaca (desvio cardiovascular) para manutenção de um dado débito.

### Volume de ejeção sistólica

O volume de ejeção sistólica, ou seja, a quantidade de sangue ejetada do ventrículo esquerdo durante uma sístole, apresenta uma cinética curvilínea em crianças durante o exercício físico progressivo<sup>3,9,17,18</sup>, o mesmo comportamento observado em indivíduos adultos<sup>19,20</sup>. Num elegante estudo, Rowland e cols.<sup>17</sup>, utilizando a ecocardiografia com Doppler e bidimensional atribuiu, a esse comportamento curvilíneo (platô) os seguintes mecanismos: 1) a vasodilatação periférica desempenhando um importante papel no aumento inicial do VS (menor pós-carga); 2) valores mais altos de frequência cardíaca nas cargas mais elevadas de trabalho, mantendo estável o VS (platô) e a dimensão diastólica ventricular esquerda e 3) a maior responsividade em relação a

contratilidade (inotropismo) auxiliando na manutenção do VS em relação as cargas mais elevadas de trabalho.

Já para Nottin e cols.<sup>18</sup>, o comportamento curvilíneo observado em crianças deve-se a uma combinação de pré-carga, pós-carga e contratilidade miocárdica. Segundo os autores<sup>18</sup>, o principal achado da presente investigação foi o fato de que crianças e adultos utilizam mecanismos similares em relação a adaptação do VS diante do exercício físico progressivo. Apesar da cinética do VS ser semelhante entre crianças e adultos, a população pediátrica apresenta uma resposta inotrópica atenuada e, como conseqüência, menores valores de VS, tanto no repouso como durante a realização do exercício (submáximo ou máximo), em relação ao observado em seus congêneres adultos<sup>2,3,8,9</sup> (fig. 2). Os possíveis mecanismos sugeridos para essa atenuada atividade sistólica observada em crianças são: 1) menor volume cardíaco e sanguíneo<sup>2,3,8</sup>; 2) níveis mais baixos de catecolaminas circulantes<sup>10</sup>; 3) menor responsividade dos receptores beta-adrenérgicos<sup>11</sup> e 4) menor inotropismo das células miocárdicas<sup>21</sup>.

Para Rowland e cols.<sup>9</sup>, o menor VS observado em crianças tanto no repouso como durante o exercício físico está estreitamente relacionado aos aspectos morfológicos (menor volume cardíaco e menor volume sanguíneo) e não

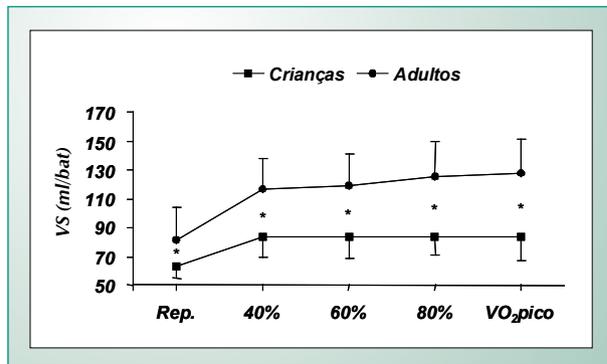


Fig. 2 - Cinética do volume de ejeção sistólica em crianças e adultos durante o exercício físico progressivo. (\*)  $p < 0,05$ - diferença entre os grupos. Adaptado de Vinet e cols.<sup>3</sup>.

aos funcionais, conforme postulado por outros estudos<sup>11,21</sup>. Segundo os autores, não há indícios de que a contratilidade miocárdica possa ser menor em crianças e tenda a aumentar na maturidade física. Os autores chegaram a essa conclusão observando valores idênticos entre crianças e adultos para o tempo de intervalo sistólico (marcador da contratilidade miocárdica) e na fração de ejeção ventricular esquerda, quantificada por meio da ecocardiografia.

### Débito cardíaco

O débito cardíaco, ou seja, o produto da frequência cardíaca pelo volume de ejeção sistólica pode ser definido como o volume de sangue ejetado do ventrículo esquerdo a cada minuto<sup>22</sup>. De fato, essa variável apresenta menores valores para todos os níveis de intensidade relativa de exercício na população pediátrica<sup>3,8,23</sup> (fig.3). Para Vinet e cols.<sup>3</sup>, os menores valores de débito cardíaco observados em

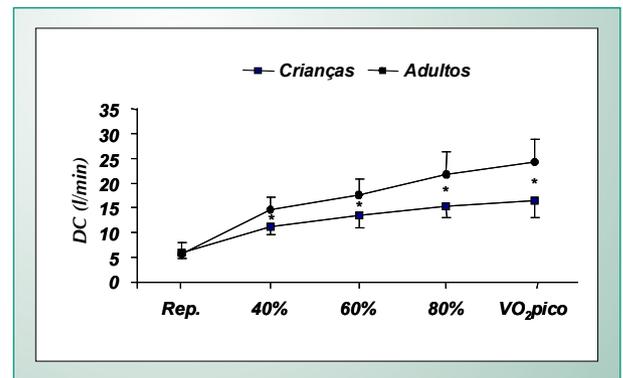


Fig. 3 - Cinética do débito cardíaco em crianças e adultos durante o exercício físico progressivo. (\*)  $p < 0,05$ - diferença entre os grupos. Adaptado de Vinet e cols.<sup>3</sup>.

crianças para uma determinada demanda de trabalho estão relacionados principalmente ao menor volume sanguíneo e cardíaco. Turley & Wilmore<sup>8</sup> observaram que o débito cardíaco para uma dada demanda de trabalho ( $VO_2$ ) foi de 1,0 a 2,9 l/min mais baixo em crianças, em relação ao verificado em indivíduos adultos ao se exercitarem tanto em bicicleta como em esteira ergométrica, respectivamente. Os autores<sup>8</sup> atribuíram esses achados ao menor volume cardíaco, assim como ao menor volume de ejeção sistólico.

Já Miyamura e cols.<sup>23</sup> observaram em estudos transversais que o débito cardíaco máximo aumentou de 12,5 para 21,1 l/min em garotos com idade entre dez e vinte anos, respectivamente. Segundo Malina & Boucharde<sup>2</sup>, as dimensões do coração aumentam no transcorrer da idade até o alcance da maturação biológica paralelamente ao crescimento da massa corporal, e esse aumento está relacionado tanto com a elevação do volume de ejeção sistólico como do débito cardíaco.

### Diferença a-vO<sub>2</sub>

A diferença arteriovenosa de oxigênio pode ser definida como a diferença no conteúdo de oxigênio entre o sangue arterial e venoso misto<sup>22</sup>. Essa variável fisiológica reflete a eficiência na extração de oxigênio em nível periférico por parte dos tecidos metabolicamente ativos. De fato, para uma determinada intensidade submáxima absoluta de exercício

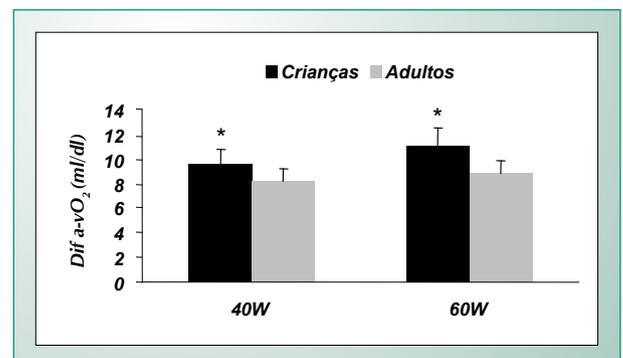


Fig. 4 - Valores de diferença arteriovenosa de oxigênio entre crianças e adultos em diferentes intensidades submáxima absoluta de exercício. Adaptado de Turley & Wilmore<sup>8</sup>.

## Atualização Clínica

( $VO_2$ ), as crianças apresentam valores mais elevados de diferença  $a-vO_2$  para compensar o menor débito cardíaco em relação ao observado em suas contrapartes adultas<sup>2,8,24</sup> (fig. 4). Para Turley & Wilmore<sup>8</sup>, a maior eficiência observada em crianças no que concerne à extração de oxigênio em nível periférico está relacionada: 1) à intensificação na liberação de oxigênio pela hemoglobina em razão de maior acúmulo de coprodutos do metabolismo tecidual, assim como maior produção de calor por unidade de músculo (efeito Bohr); e 2) à maior vasodilatação das arteríolas que irrigam os músculos ativos com possível aumento da perfusão sanguínea muscular. Primeiramente, as crianças gastam mais energia por quilograma de peso para desempenhar o mesmo trabalho que os adultos (elas apresentam uma economia de energia muito pobre, durante o exercício); esse é o motivo de a criança produzir uma quantidade maior de calor relativo à sua massa corporal do que produzem os adultos para o desempenho do mesmo trabalho<sup>2</sup>. Esse mecanismo, conhecido como efeito Bohr, é um fator crucial para a maior descarga de oxigênio pela hemoglobina<sup>22,25</sup>.

Koch<sup>26,27</sup> observou, em crianças ao se exercitarem em cicloergômetro, maior perfusão sanguínea muscular em relação ao verificado em indivíduos adultos para uma mesma demanda de trabalho. No entanto, para níveis máximos de trabalho, a população pediátrica apresenta menores valores<sup>3,9</sup>. Rowland e cols.<sup>9</sup> observaram valores mais baixos de diferença  $a-vO_2$  no pico do exercício em crianças em relação ao verificado em indivíduos adultos, sendo esses valores de 13,9 e 17,2 ml/100ml, respectivamente. Segundo os autores<sup>9</sup>, esse achado pode ser explicado em parte pela menor concentração de oxigênio no sangue arterial, refletida por níveis mais baixos de hemoglobina circulante conforme observado em crianças<sup>2,8</sup>.

### Aspectos ventilatórios

Os volumes e as capacidades pulmonares estáticas, como volume corrente, volume de reserva inspiratório, volume de reserva expiratório, capacidade vital forçada, volume pulmonar residual e capacidade pulmonar total, assim como os volumes pulmonares dinâmicos, tais como volume expiratório forçado e ventilação voluntária máxima, fornecem indícios da evolução e da eficiência funcional do crescimento do sistema respiratório da criança<sup>2</sup>. Esses volumes e capacidades apresentam alterações acentuadas com a idade, com todos os volumes pulmonares aumentando até o final do crescimento<sup>2,22</sup>.

Alterações desses volumes e capacidades, no entanto, combinam com as alterações da ventilação máxima que podem ser conseguidas durante o exercício exaustivo; essa ventilação máxima é denominada ventilação expiratória máxima (VEmáx), ou ventilação minuto máxima<sup>22</sup>. Por exemplo, estudos transversos mostram que a média da VEmáx é de aproximadamente 40 l/min para meninos de quatro a seis anos de idade, e aumenta para 110 a 140 l/min na maturidade completa. Essas alterações estão associadas ao crescimento do sistema pulmonar, o qual acompanha os padrões gerais de crescimento da criança<sup>22</sup>. Para Malina & Bouchard<sup>2</sup>, o

aumento dos volumes e das capacidades pulmonares, tanto estáticos quanto dinâmicos, estão intimamente relacionados com o crescimento em estatura da criança.

### Ventilação minuto

A ventilação minuto (VE), ou seja, o produto da frequência respiratória (FR) pelo volume corrente (VC), pode ser definida como o volume de ar movimentado pelos pulmões a cada minuto<sup>22</sup>. De fato, variáveis ventilatórias como FR, VC e VE estão estreitamente associadas com as características antropométricas da criança, particularmente massa corporal e estatura<sup>28</sup>. Rowland & Cunningham<sup>4</sup> observaram em crianças pré-púberes que, com o avançar da idade, a FR mostra um declínio progressivo e o VC apresenta um aumento linear estabilizando-se na maturidade física, tanto para uma dada intensidade submáxima como para máxima de trabalho.

Quando as crianças são submetidas a uma determinada intensidade submáxima absoluta de exercício, por exemplo 60 watts em um cicloergômetro, a intensidade das respostas ventilatórias mostra-se exacerbada em relação ao verificado em indivíduos adultos, diminuindo progressivamente com o transcorrer da idade<sup>2,4</sup>. Rowland & Cunningham<sup>4</sup> verificaram, num período de cinco anos, um declínio progressivo na variável equivalente ventilatória de oxigênio ( $VE/VO_2$ ) tanto para uma determinada intensidade submáxima absoluta como para o pico do esforço (fig. 5).

Parte da explicação para essa menor eficiência ventilatória observada na população pediátrica relaciona-se à mecânica da ventilação. De fato, Lanteri & Sly<sup>29</sup> verificaram que, com o avançar da idade, há elevação progressiva na complacência do tecido pulmonar e diminuição da resistência ao fluxo aéreo. Em contrapartida, Springer e cols.<sup>30</sup>, assim como Gratas-Delamarche e cols.<sup>31</sup>, atribuem a menor eficiência ventilatória observada em crianças, a mecanismos neuro-humorais.

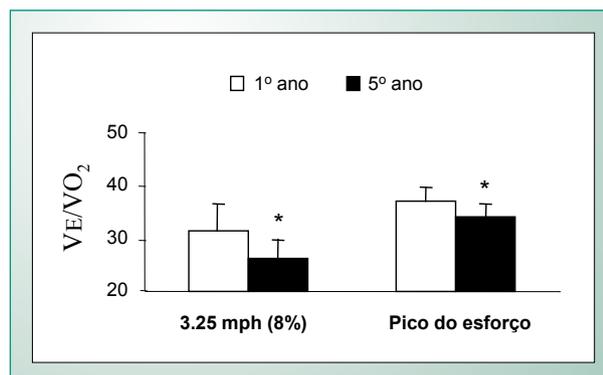


Fig. 5 - Valores de  $VE/VO_2$  em nível submáximo absoluto e máximo de exercício entre o 1º e 5º ano de investigação. (\*)  $P < 0,05$  - diferença entre os anos. Adaptado de Rowland & Cunningham<sup>4</sup>.

Segundo esses autores, as crianças apresentam um *setpoint* dos quimiorreceptores periféricos mais baixo para modulação da  $PCO_2$  arterial, resultando em uma hiperpnéia exacerbada. Esses dados são refletidos por valores mais elevados de  $VE/VO_2$  para uma mesma demanda metabólica, em comparação a seus congêneres adultos.

Para níveis máximos de trabalho, no entanto, as crianças apresentam menores valores de ventilação minuto. Rowland

& Cunningham<sup>4</sup> observaram uma relação positiva entre idade cronológica e ventilação minuto máxima. Já Prioux e cols.<sup>32</sup> verificaram uma relação direta entre aumento de massa corporal magra e ventilação minuto máxima. Rutenfranz e cols.<sup>33</sup> observaram em crianças com idade entre oito e dezessete anos a existência de uma relação positiva entre estatura e ventilação minuto máxima.

Certamente, os valores mais elevados de VE no pico do exercício, alcançados pela população pediátrica com o avançar da idade, estão relacionados com os níveis de maturação somática, apresentando uma relação direta com o crescimento do sistema pulmonar<sup>2,32,33</sup>.

## Aspectos metabólicos

### Metabolismo anaeróbico

A produção de energia anaeróbica é importante, pois muitas das atividades realizadas por crianças envolvem explosões de dispêndio de energia ou *sprints*, ao contrário de atividades de intensidade moderada por períodos mais prolongados<sup>2</sup>. As necessidades energéticas da criança em exercício, portanto, nem sempre podem ser atendidas pela predominância das propriedades oxidativas do tecido muscular em atividade, quando os mecanismos de produção de energia anaeróbica devem entrar em cena para permitir a realização dessas tarefas.

De fato, a população pediátrica apresenta menor capacidade anaeróbica em relação ao verificado em indivíduos adultos<sup>1,2,5-7</sup>, não sendo possível identificar um fator morfológico, fisiológico ou bioquímico isolado que determine essa menor capacidade de desempenho sob condições de anaerobiose. Pelo contrário, a menor eficiência anaeróbica observada em crianças advém da interação desses fatores, da qual algumas das possíveis explicações para essa atenuada capacidade anaeróbica são: 1) diferenças no padrão de recrutamento das unidades motoras<sup>1,34</sup>; 2) diferenças na tipagem das fibras musculares esqueléticas<sup>1,35,36</sup>; 3) níveis tissulares mais baixos de glicogênio intramuscular<sup>1,37-39</sup>; 4) reduzida atividade de catálise das enzimas glicolíticas-chave como a fosfofrutoquinase (PFK) e a lactato desidrogenase (LDH)<sup>1,2,6,7,38</sup> e 5) reduzida atividade glicogenolítica muscular por modificação covalente<sup>40</sup>. Evidências sugerem que parte da melhoria observada no desempenho anaeróbico em crianças, à medida que crescem, deve-se ao aumento da mielinização das fibras nervosas no córtex motor<sup>22</sup>, melhorando desse modo a coordenação e ativação das unidades motoras<sup>34</sup>.

Num elegante estudo, Atomi e cols.<sup>35</sup> observaram que a área porcentual das fibras musculares oxidativas (tipo I) é maior em crianças antes da puberdade, quando comparada à das fibras musculares glicolíticas (tipo II). Além disso, existem evidências em estudos transversais de que crianças possuem uma alta porcentagem de fibras musculares oxidativas em relação às fibras musculares glicolíticas, comparando-se com adultos, sugerindo a possibilidade de mudança com maior participação das fibras musculares glicolíticas com o avançar da idade<sup>36</sup>. Dentro de um outro espectro, estudos<sup>37,38</sup> mostram que o conteúdo tissular de glicogênio muscular em crianças é cerca de 50% a 60% da concentração de adultos.

Eriksson & Saltin<sup>39</sup> observaram em crianças com média de idade de 11,6 anos uma concentração de glicogênio intramuscular por volta de 54 mmol/kg, e em crianças com média de idade de 12,6, 13,5, e 15,5 anos os níveis desse substrato energético foram de 70, 69 e 87 mmol/kg, respectivamente. Em outra investigação, Eriksson e cols.<sup>37</sup> encontraram uma atividade de catálise cerca de 50% mais baixa para a enzima fosfofrutoquinase (PFK) em crianças pré-púberes, em relação ao observado em indivíduos adultos. Confirmando essa imaturidade glicolítica observada em crianças, é sabido que elas apresentam menor taxa de conversão do glicogênio muscular em lactato para refosforilação dos estoques limitados de ATP, durante atividades de caráter de predomínio tanto aeróbico quanto anaeróbico. Parte da explicação para essa reduzida atividade glicogenolítica muscular relaciona-se a menor liberação de epinefrina, o que pode estar associado com uma baixa atividade nervosa simpática, refletindo uma atenuada ativação da glicogenólise muscular por modificação covalente<sup>9</sup>.

A quantificação da influência dos aspectos maturacionais biológicos sobre o metabolismo energético infantil pode ser analisada por meio da espectroscopia por ressonância nuclear magnética de fósforo. Num elegante estudo, Zanconato e cols.<sup>40</sup> verificaram que as crianças apresentam um menor aumento na relação entre fosfato inorgânico/creatina fosfato (Pi/PC) e menor diminuição do pH intramuscular, em relação ao observado em suas contrapartes adultas, sugerindo que a população pediátrica apresenta menor capacidade de ativação da refosforilação do ATP através das vias anaeróbicas (alática e láctica) durante o exercício físico de alta intensidade.

### Metabolismo aeróbico

O metabolismo aeróbico, também denominado oxidativo, está relacionado diretamente com a capacidade dos tecidos metabolicamente ativos (musculatura esquelética) em atender às demandas de ATP do exercício, por meio das reações acopladas do ciclo de Krebs e da cadeia de transporte de elétrons que se processam nas mitocôndrias<sup>22</sup>. Os fatores que irão caracterizar uma alta capacidade oxidativa tecidual periférica são<sup>41</sup>: 1) maior quantidade das fibras musculares esqueléticas do tipo I; 2) maior densidade mitocondrial; 3) maior concentração e atividade de catálise das enzimas oxidativas e 4) maior densidade capilar.

Conforme abordado antes, diferentes estudos<sup>1,35,36</sup> observaram em crianças um alto percentual de fibras do tipo I sugerindo maior capacidade oxidativa periférica em relação às suas contrapartes adultas. Em sua investigação, Haralambie<sup>42</sup> verificou que as enzimas oxidativas do ciclo de Krebs (isocitrato desidrogenase, fumarase e malato desidrogenase) apresentam atividade de catálise exacerbada em crianças, quando comparadas aos adultos. No mesmo estudo, o autor observou uma diferença na razão da fosfofrutoquinase/isocitrato desidrogenase entre crianças e adultos (0,884 e 1,633, respectivamente), indicando maior taxa de oxidação do piruvato por parte da população pediátrica.

Utilizando os procedimentos da espectroscopia por ressonância nuclear magnética de fósforo, Zanconato e cols.<sup>40</sup> sugeriram que crianças apresentam uma taxa elevada de

## Atualização Clínica

fosforilação oxidativa durante exercícios intensos, atribuindo esse achado tanto à maior densidade capilar como à mitocondrial. No entanto, Bell e cols.<sup>43</sup> encontraram uma relação entre volume mitocondrial e miofibrilar similar entre crianças pré-púberes e indivíduos adultos.

Rowland e cols.<sup>44</sup>, utilizando a análise dos gases expirados (ergoespirometria) como forma indireta de inferir a mistura de macronutrientes que está sendo metabolizada durante um exercício físico em ritmo estável (*steady-state*)<sup>1</sup>, observaram que, para uma determinada intensidade submáxima absoluta de exercício, crianças pré-púberes apresentam valores significativamente menores de RER (razão da troca respiratória) em relação a indivíduos adultos. Esses dados sugerem que as crianças são mais adaptadas para a utilização das gorduras como fonte provedora de energia durante um exercício em ritmo estável, o que pode estar associado a

um maior maquinismo metabólico, isto é (maior densidade mitocondrial e maior concentração e atividade das enzimas oxidativas)<sup>1,22</sup>.

### Considerações Finais

As crianças, ainda em fase de crescimento, apresentam tanto as características morfológicas quanto as funcionais em processo de desenvolvimento. Muitas dessas características maturacionais-dependentes respondem de modo diferenciado ao estresse fisiológico induzido pelo exercício físico. É importante levarmos em consideração essas particularidades apresentadas pelo organismo infantil, em que o correto entendimento dos aspectos fisiológicos e metabólicos durante a realização do exercício físico é de suma importância para uma correta prescrição do treinamento físico. Dessa forma, um programa de treinamento físico para a população pediátrica merece atenção e cuidados em sua formulação.

### Referências

- Boisseau N, Delamarche P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and Adolescents. *Sports Med* 2000; 30 (6): 405-22.
- Malina R, Bouchard C. Growth, Maturation, and Physical Activity. Human Kinetics Books 1991.
- Vinet A, Nottin S, Lecoq A, Obert P. Cardiovascular responses to progressive cycle exercise in healthy children and adults. *Int J Sports Med* 2002; 23: 242-6.
- Rowland TW, Cunningham LN. Developmental of ventilatory responses to exercise in normal white children. *Chest* 1997; 111: 327-32.
- Falgairette G, Bedu M, Fellmann N, Van-Praagh E, Coudert J. Bio-energetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. *Eur J Appl Physiol* 1991; 62: 151-6.
- Inbar O, Bar-Or O. Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc* 1986; 18 (3): 264-9.
- Kuno S, Takahashi H, Fujimoto K, et al. Muscle metabolism during exercise using phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy in adolescents. *Eur J Appl Physiol* 1995; 70: 301-4.
- Turley K, Wilmore JH. Cardiovascular responses to treadmill and cycle ergometer exercise in children and adults. *J Appl Physiol* 1997; 83 (3): 948-57.
- Rowland TW. Developmental exercise physiology. Human Kinetics Books; 1996.
- Lehmann M, Keul J, Korsten-Reck U. The influence of graduated treadmill exercise on plasma catecholamines, aerobic and anaerobic capacity in boys and adults. *Eur J Appl Physiol* 1981; 47: 301-11.
- Midedeke M, Remien J, Holzgreve H. The influence of sex, age, blood pressure, and physical stress on beta-2 adrenoceptor density of mononuclear cells. *J Hypertens* 1984; 2: 261-4.
- Bar-Or O. Pediatric Sports Medicine for the Practitioner. Springer-Verlag; 1983.
- Delamarche P, Bittel J, Lacour JR, Flandrois R. Thermoregulation at rest and during exercise in prepubertal boys. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990; 60 (6): 436-40.
- Lewis SF, Snell PG, Taylor WF, et al. Role of muscle mass and mode of contraction in circulatory responses to exercise. *J Appl Physiol* 1985; 58: 146-51.
- Stenberg J, Astrand PO, Ekblom B, Royce J, Saltin B. Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *J Appl Physiol* 1967; 22: 61-70.
- Turley K. The chemoreflex: adult versus child comparison. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37 (3): 418-25.
- Rowland TW, Potts J, Potts T, Sandor G, Goff D, Ferrone L. Cardiac responses to progressive exercise in normal children: a synthesis. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 253-9.
- Nottin S, Vinet A, Stecken F, et al. Central and peripheral cardiovascular adaptations during a maximal cycle exercise in boys and men. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 33 (3): 456-63.
- Ginzton LE, Conant R, Brizendine M, Lacks MM. Effect of long-term high intensity aerobic training on left ventricular volume during maximal upright exercise. *J Am Coll Cardiol* 1989; 14: 364-71.
- Hossack KF, Bruce RA. Maximal cardiac function in sedentary normal men and women: comparison of age related changes. *J Appl Physiol* 1982; 53: 799-804.
- Turley K. Cardiovascular responses to exercise in children. *Sports Med* 1997; 24: 241-57.
- Wilmore JH, Costill DL. Physiology of sport and exercise. Human Kinetics Books; 1999.
- Miyamura M, Honda Y. Maximum cardiac output related to sex and age. *Jap J Physiol* 1973; 23: 645-56.
- Bar-Or O, Shepard RJ, Allen CL. Cardiac output of 10- to 13-year-old boys and girls during submaximal exercise. *J Appl Physiol* 1971; 30: 219-23.
- Saltin B, Kiens B, Savard G, Pedersen PK. Role of hemoglobin and capillarization for oxygen delivery and extraction in muscular exercise. *Acta Physiol Scand* 1986; 128: 21-32.
- Koch, G. Muscle blood flow after ischemic work and during bicycle ergometer work in boys aged 12 years. *Acta Paediatr Belg* 1974; 28: 29-39.
- Koch, G. Muscle blood flow in prepubertal boys. *Med Sport Sci* 1978; 11: 39-46.
- Mercier J, Varray A, Ramonatto M, Mercier B, Prefaut C. Influence of anthropometric characteristics on changes in maximal exercise ventilation and breathing pattern growth in boys. *Eur J Appl Physiol* 1991; 63: 235-41.
- Lanteri CJ, Sly PD. Changes in respiratory mechanics with age. *J Appl Physiol* 1993; 74: 369-78.
- Springer C, Cooper DM, Wasserman K. Evidence that maturation of the peripheral chemoreceptors is not complete in childhood. *Respir Physiol* 1988; 74: 55-64.

31. Gratas-Delamarque A, Mercier J, Ramonatxo M, Dassonville J, Prefaut C. Ventilatory response of prepubertal boys and adults to carbon dioxide at rest and during exercise. *Eur J Appl Physiol* 1993; 66: 25-30.
32. Prioux J, Ramonatxo M, Mercier J, Granier P, Mercier B, Prefaut C. Changes in maximal exercise ventilation and breathing pattern in boys during growth: a mixed cross-sectional longitudinal study. *Acta Physiol Scand* 1997; 161 (4): 447-58.
33. Rutenfranz J, Andersen KL, Seliger V, et al. Exercise ventilation during the growth spurt period: comparison between two European countries. *Eur J Pediatr* 1981; 136: 135-42.
34. Mercier B, Mercier J, Granier P, Le Gallais D, Prefaut C. Maximal anaerobic power: relationship to anthropometric characteristics during growth. *Int J Sports Med* 1992; 13: 21-6.
35. Atomi Y, Fukunaga T, Hatta H, Yamamoto Y. Relationship between lactate threshold during running and relative gastrocnemius area. *J Appl Physiol* 1987; 63: 2343-7.
36. Lexell J, Sjoström M, Norlund A, Taylor CC. Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle Nerve* 1992; 14: 404-9.
37. Eriksson BO, Karlsson J, Saltin B. Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Pediatr Scand* 1971; 217: 154-7.
38. Eriksson BO, Gollnick PD, Saltin B. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11- 13 years old. *Acta Physiol Scand* 1973; 87: 485-97.
39. Eriksson O, Saltin B. Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatr Belg* 1974; 28: 257-65.
40. Zanconato S, Buchta S, Barstow TJ, Cooper DM. P- magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *J Appl Physiol* 1993; 74: 2214-18.
41. McArdle DW, Katch IF, Katch VL. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*, 4th ed. Philadelphia: Williams & Wilkins; 1996.
42. Haralambie G. Enzyme activities in skeletal muscle of 13- 15 years old adolescents. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1982; 18 (1): 65-74.
43. Bell RD, MacDougall JD, Billeter R, Howald H. Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal muscle in six years old children. *Med Sci Sports Exerc* 1980; 12 (1): 28-31.
44. Rowland TW, Auchinachie JA, Keenan TJ, Green GM. Physiological responses to treadmill running in adult and prepubertal males. *Int J Sports Med* 1987; 8: 292-7.