

Comportamento Cardiorrespiratório em Crianças Saudáveis durante o Exercício Progressivo Máximo

Cardiorespiratory Responses during Progressive Maximal Exercise Test in Healthy Children

Danilo Marcelo Leite do Prado, Ana Maria F. Wanderley Braga, Maria Urbana Pinto Rondon, Luciene Ferreira Azevedo, Luciana D. N. J. Matos, Carlos Eduardo Negrão, Ivani Credidio Trombetta

Instituto do Coração da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - InCor-HCFMUSP, São Paulo, SP - Brasil

Resumo

Fundamento: Pouco se sabe sobre a resposta cardiorrespiratória e metabólica em crianças saudáveis durante teste de esforço progressivo máximo.

Objetivo: Testar a hipótese de que as crianças apresentam respostas diferentes nos parâmetros cardiorrespiratórios e metabólicos durante teste de esforço progressivo máximo em comparação aos adultos.

Métodos: Vinte e cinco crianças saudáveis (sexo, 15M/10F; idade, $10,2 \pm 0,2$) e 20 adultos saudáveis (sexo, 11M/9F; idade, $27,5 \pm 0,4$) foram submetidos a um teste cardiopulmonar progressivo em esteira ergométrica até a exaustão para determinar a capacidade aeróbia máxima e limiar anaeróbio ventilatório (LAV).

Resultados: A carga de pico ($5,9 \pm 0,1$ vs $5,6 \pm 0,1$ mph, respectivamente; $p > 0,05$), tempo de exercício ($9,8 \pm 0,4$ vs $10,2 \pm 0,4$ min, respectivamente, $p > 0,05$), e aptidão cardiorrespiratória (VO_2 pico, $39,4 \pm 2,1$ vs $39,1 \pm 2,0$ ml.kg⁻¹.min⁻¹, respectivamente, $p > 0,05$) foram semelhantes em crianças e adultos. No limiar anaeróbio ventilatório, a frequência cardíaca, VO_2 ml.kg⁻¹.min⁻¹, a frequência respiratória (FR), o espaço morto funcional estimado (VD/VT), o equivalente ventilatório de oxigênio (VE/ VO_2) e a pressão expiratória final do oxigênio (PE TO_2) foram maiores nas crianças, enquanto o volume corrente (VC), pulso de O_2 e a pressão expiratória final do dióxido de carbono (PE TCO_2) foram menores. No pico do exercício, as crianças apresentaram FR e VD/VT superiores. No entanto, o pulso de O_2 , o VC, a ventilação pulmonar, o PE TCO_2 e a razão de troca respiratória foram menores nas crianças do que em adultos.

Conclusão: Respostas cardiorrespiratórias e metabólicas durante o teste de esforço progressivo são diferentes em crianças em comparação aos adultos. Especificamente, essas diferenças sugerem que as crianças têm menor eficiência cardiovascular e respiratória. No entanto, as crianças apresentaram maior eficiência metabólica durante o teste de esforço. Em resumo, apesar das diferenças observadas, as crianças mostraram níveis semelhantes de capacidade de esforço, quando comparadas aos adultos. (Arq Bras Cardiol. 2010; [online]. ahead print, PP.0-0)

Palavras-chave: Criança, teste de esforço, ventilação, metabolismo, estudo comparativo.

Abstract

Background: Little is known about cardiorespiratory and metabolic response in healthy children during progressive maximal exercise test.

Objective: To test the hypothesis that children show different responses in cardiorespiratory and metabolic parameters during progressive maximal exercise test when compared with adults.

Methods: Twenty-five healthy children (gender, 15M/10F; age, 10.2 ± 0.2) and 20 healthy adults (gender, 11M/9F; age, 27.5 ± 0.4) underwent a progressive treadmill cardiopulmonary test until exhaustion to determine the maximal aerobic capacity and ventilatory anaerobic threshold (VAT).

Results: The peak workload (5.9 ± 0.1 vs 5.6 ± 0.1 mph, respectively; $p > 0.05$), exercise time (9.8 ± 0.4 vs 10.2 ± 0.4 min, respectively; $p > 0.05$), and relative aerobic fitness (VO_2 peak, 39.4 ± 2.1 vs 39.1 ± 2.0 ml.kg⁻¹.min⁻¹, respectively; $p > 0.05$) were similar in children and adults. At ventilatory anaerobic threshold, the heart rate, VO_2 ml.kg⁻¹.min⁻¹, respiratory rate (RR), functional estimate of dead space (VD/VT), ventilatory equivalent for oxygen (VE/ VO_2) and end-tidal pressure for oxygen (PE TO_2) were higher in children, while tidal volume (VT), O_2 pulse and end-tidal pressure for carbon dioxide (PE TCO_2) were lower. At peak of exercise, children showed higher RR and VD/VT. However, O_2 pulse, VT, pulmonary ventilation, PE TCO_2 and respiratory exchange ratio were lower in children than adults.

Conclusion: Cardiorespiratory and metabolic responses during progressive exercise test are different in children as compared to adults. Specifically, these differences suggest that children have lower cardiovascular and ventilatory efficiency. However, children showed higher metabolic efficiency during exercise. In summary, despite the differences observed, children showed similar levels of exercising capacity when compared with adults. (Arq Bras Cardiol. 2010; [online]. ahead print, PP.0-0)

Key words: Child; exercise test; ventilation; metabolism; comparative study.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Danilo Marcelo Leite do Prado •

Incor - Unidade de Reabilitação Cardiovascular e Fisiologia do Exercício - Av. Dr. Enéas C. Aguiar, 44 - Bl. 02 - Andar (-1) - 05403-000 - São Paulo, SP - Brasil

E-mail: danilomprado@usp.br

Artigo recebido em 23/09/08; revisado recebido em 08/03/09; aceito em 18/08/09.

Introdução

Crianças não são adultos em miniatura; elas crescem, e, como tal, as respostas fisiológicas e metabólicas ao esforço variam de acordo e à medida que se desenvolvem ao longo da infância e adolescência¹⁻⁵. Em relação ao perfil bioenergético, diversos estudos^{1,3,6-8} sugeriram que as crianças possuem menor capacidade anaeróbica ou glicolítica para produzir adenosina trifosfato (ATP) durante o exercício físico. De acordo com Eriksson e cols.⁹, esse metabolismo glicolítico imaturo pode ser explicado pela menor atividade de enzimas anaeróbicas, tais como a lactato desidrogenase e fosfofrutoquinase-1. No entanto, outras investigações^{10,11} mostraram que as crianças podem se adaptar melhor ao exercício aeróbio do que os adultos porque o seu dispêndio energético parece depender mais do metabolismo oxidativo. Além disso, alguns estudos^{9,12} relataram níveis mais elevados de enzimas oxidativas, como a succinato desidrogenase e a isocitrato desidrogenase, em crianças do que em adultos.

Além disso, investigações prévias apresentaram diferenças na resposta ventilatória e de troca gasosa pulmonar durante o exercício físico em crianças. Por exemplo, estudos anteriores^{4,13,14} observaram diferenças no controle respiratório entre adultos e crianças. Essas diferenças se devem ao fato de que a PCO_2 arterial é regulada em níveis mais baixos em crianças^{4,13,15}, e tem maior impulso ventilatório central neural¹⁶ resultando em maiores frequências ventilatórias para uma determinada demanda metabólica. Além disso, relatou-se¹⁷ que as crianças apresentam maiores valores de frequência cardíaca e menor volume sistólico do que os adultos em uma determinada carga submáxima.

Portanto, torna-se evidente que as respostas de algumas variáveis fisiológicas, que incluem parâmetros cardiovasculares, ventilatórios e metabólicos, dependem do status maturacional, tornando sua avaliação mais complexa. A utilização de um sistema computadorizado com medições ventilatórias diretas permite uma avaliação das variáveis fisiológicas e metabólicas de forma não invasiva. Por isso, tornou-se uma importante ferramenta que fornece informações sobre as respostas cardiorrespiratórias durante esforços incrementais na população pediátrica.

Assim, o objetivo deste estudo foi testar a hipótese de que as respostas cardiorrespiratórias e metabólicas nas diferentes fases do teste de esforço progressivo máximo são diferentes em crianças em comparação com adultos.

Métodos

População e delineamento do estudo

Este estudo utilizou uma amostra de indivíduos que entram para a base de dados de avaliação cardiorrespiratória em um hospital de referência, coletada de 2003 a 2006, em um delineamento retrospectivo e transversal. Foram convidados a participar do estudo oitocentos e oitenta indivíduos que atendiam aos seguintes critérios de exclusão/inclusão: 1) idade entre 8 a 12 anos para crianças e 25 a 30 anos para adultos; 2) ausência de sobrepeso ou obesidade¹⁸, 3) sedentários (i.e., aqueles que não relataram nenhuma atividade física regular); 4) ausência de medicação; 5) ausência de evidência de doença

metabólica hormonal, respiratória e cardiovascular; 6) não fumantes; e 7) alcance de esforço máximo durante o teste de esforço progressivo. Os indivíduos foram considerados como tendo alcançado esforço máximo caso atingissem pelo menos dois dos seguintes critérios:

Para crianças¹⁹: 1) evidência subjetiva de exaustão (marcha instável, rubor facial, hiperpneia); 2) frequência cardíaca de pico > 190 batimentos/min; e 3) razão de troca respiratória máxima > 1,00. Para adultos^{20,21}: 1) frequência cardíaca de pico > 95% para a máxima prevista pela idade; 2) razão de troca respiratória máxima $\geq 1,10$; e 3) alcance de um nível máximo de VO_2 . Todos os indivíduos foram instruídos a fazer jejum por 2 horas antes do teste de esforço progressivo máximo, além de se abster de café e álcool. Além disso, os indivíduos foram instruídos a evitar atividade física intensa no dia que precedeu o teste. O estado de maturação não foi avaliado nesta investigação. O protocolo de estudo foi aprovado pelos Comitês de Ética em Pesquisas com Seres Humanos do Instituto do Coração da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Medidas antropométricas - O peso corporal foi medido utilizando uma balança mecânica (Filizola modelo 31-São Paulo, Brasil) com aproximação a 0,1 kg, com indivíduos vestidos com camisetas e calções leves. A altura corporal foi medida utilizando o estadiômetro Filizola (modelo 31, São Paulo, Brasil) com aproximação de 0,1 centímetro.

Avaliação cardiorrespiratória - Um teste de esforço progressivo máximo foi realizado em esteira programável (Quinton Q65, modelo 645, Quinton Instruments Co., Washington, E.U.A.). Variáveis ventilatórias e da troca gasosa e foram mensuradas continuamente durante a avaliação cardiorrespiratória a cada respiração utilizando um procedimento de espirometria em circuito aberto em um sistema de esforço baseado (SensorMedics - modelo Vmax 229 Instrumento de Teste de Esforço de Função Pulmonar/Cardiopulmonar, Yorba Linda, CA, E.U.A.). As seguintes variáveis foram obtidas a cada respiração e expressas como médias 30-s: consumo de oxigênio (VO_2 l.min⁻¹ e ml.kg⁻¹.min⁻¹ STPD); produção de dióxido de carbono (VCO_2 l.min⁻¹ e ml.kg⁻¹.min⁻¹ STPD); razão de troca respiratória (RTR), ventilação pulmonar (VE l.min⁻¹ BTPS), volume corrente (VC l.min⁻¹ BTPS), frequência respiratória (FR respiração/min); espaço morto funcional estimado (VD/VT), equivalentes ventilatórios de oxigênio e dióxido de carbono (VE/VO_2 e VE/VCO_2) e pressões expiratórias finais de oxigênio e dióxido de carbono ($PETO_2$ e $PETCO_2$ mmHg). Antes de cada teste, os analisadores de gás foram calibrados utilizando gases de concentração conhecida de dióxido de carbono e oxigênio balanceados com nitrogênio e o medidor de fluxo foi calibrado com uma seringa de 3-L. A frequência cardíaca foi registrada continuamente em repouso durante o teste de esforço progressivo e durante o período de recuperação utilizando ECG de 12 derivações (Marquette Medical Systems, Inc. CardioSoft, Wisconsin, E.U.A.). Todos os testes do estudo foram realizados no mesmo laboratório, nas mesmas condições.

Protocolo do teste de esforço - Os participantes realizaram um teste de esforço progressivo em esteira ergométrica em plano inclinado até a exaustão. A carga de esforço (velocidade e/ou inclinação) foi aumentada a cada 60s com

a conclusão da parte incremental do teste de esforço entre 8 a 12 minutos aproximadamente.

Limiar anaeróbio ventilatório - O limiar anaeróbio ventilatório (LAV) foi determinado para ocorrer no ponto de equilíbrio entre o aumento da produção de dióxido de carbono e VO_2 (V-Slope) ou no ponto no qual o equivalente ventilatório de oxigênio atingisse o valor mínimo e começasse a subir sem aumento concomitante do equivalente ventilatório para o dióxido de carbono^{22,23}.

Consumo de oxigênio de pico - O VO_{2pico} foi definido como o VO_2 máximo atingido no final do período de esforço no qual o indivíduo chega à exaustão (da escala analógica do esforço percebido até a escala de Borg).

Protocolo experimental - Inicialmente, os indivíduos foram submetidos a ECG em repouso. Posteriormente, eles realizaram o teste de esforço progressivo em esteira ergométrica na seguinte sequência: 1) A adaptação ao equipamento foi observada através de parâmetros ventilatórios durante alguns minutos; 2) Depois, os parâmetros cardiopulmonares foram coletados por 2 minutos em repouso e 2 minutos no aquecimento; 3) Em seguida, o teste de esforço incremental foi iniciado; e 4) Foi finalizado com seis minutos de recuperação monitorada.

Análise estatística

Os dados são apresentados como média \pm EP. Testes de *Student* para dados não pareados foi utilizado para analisar as características físicas, carga, tempo de esforço e a diferença relativa (porcentagem) das variáveis cardiopulmonares. O teste qui-quadrado (χ^2) foi utilizado para avaliar as diferenças de sexo entre crianças e adultos. As respostas cardiopulmonares durante o teste de esforço progressivo foram analisadas entre dois grupos em repouso, LAV e pico do exercício utilizando a análise de variância de dois fatores (ANOVA) com medidas repetidas para testar as possíveis diferenças entre os grupos. Ao encontrar algum tipo de significância, foi feita comparação com o teste post-hoc de Scheffé.

Valores de probabilidade $<0,05$ foram considerados estatisticamente significativos.

Para ambos os grupos, a diferença relativa foi calculada para as seguintes variáveis cardiopulmonares: consumo absoluto de oxigênio (VO_2 l.min⁻¹), frequência respiratória (FR), ventilação pulmonar (VE), produção de dióxido de carbono (VCO_2 l.min⁻¹), volume corrente (VC) e razão de troca respiratória (RTR) para intervalos entre repouso até LVA, LVA até o pico do exercício, e repouso até o pico do exercício.

Resultados

Dados basais - 25 crianças e 20 adultos que preencham os critérios de inclusão/exclusão foram considerados para este estudo. A Tabela 1 apresenta as características físicas dos indivíduos. Como esperado, encontramos diferenças de idade, altura, peso, superfície corporal (SC) e índice de massa corporal (IMC). No entanto, não observamos diferenças de gênero (Tabela 1).

Carga de trabalho - No LAV, as crianças apresentaram carga e tempo de esforço significativamente maiores (velocidade e inclinação) do que os adultos. Contudo, no

Tabela 1 - Características físicas

Variáveis	Crianças (n = 25)	Adultos (n = 20)	p
Sexo (m/f)	15/10	11/9	0,74
Idade (anos)	10,2 \pm 0,2	27,5 \pm 0,4	0,001
Peso (kg)	38,6 \pm 1,6	64,2 \pm 2,2	0,001
Altura (cm)	143,4 \pm 0,0	171,5 \pm 0,0	0,001
IMC (kg/m ²)	18,7 \pm 0,5	21,7 \pm 0,4	0,001
SC (m ²)	1,41 \pm 0,0	1,92 \pm 0,0	0,001

Os valores são médias + EP. IMC - índice de massa corporal; SC - superfície corporal.

esforço de pico essas variáveis se assemelham nos dois grupos (Tabela 2).

Dados cardiopulmonares - As variáveis cardiopulmonares em repouso foram semelhantes entre os grupos (Tabela 3, Figura 1 e 2). No entanto, durante o teste de esforço, as respostas no limiar anaeróbio ventilatório (LAV) foram significativamente maiores para FC, VO_2 ml.kg⁻¹.min⁻¹, FR, VCO_2 ml.kg⁻¹.min⁻¹, VD/VT, VE/ VO_2 , VE/ VCO_2 e $PETO_2$, enquanto VC, pulso de O_2 e $PETCO_2$ apresentam ligeiro aumento nas crianças em comparação com os adultos. No pico do exercício, foram observadas diferenças significativamente maiores em crianças para as variáveis FR, VD/VT e VE/ VCO_2 . No entanto, para as variáveis pulso de O_2 , VO_2 l.min⁻¹, VC, VE, VCO_2 l.min⁻¹, VCO_2 ml.kg⁻¹.min⁻¹, RTR e $PETCO_2$, as crianças apresentaram valores significativamente mais baixos do que os adultos.

Além disso, uma análise posterior das respostas cardiopulmonares durante o teste de esforço progressivo para o grupo por tempo de interação revelou diferenças significativas entre os dois grupos em todas as variáveis incluídas neste estudo (Tabela 3, Figura 1 e 2).

Diferenças relativas nas variáveis cardiopulmonares - A Figura 3 apresenta mudanças nas variáveis cardiopulmonares entre repouso ao LAV, LAV ao pico do exercício e repouso ao pico do exercício. A análise estatística revelou um aumento porcentual de VE e FR entre o repouso ao LAV significativamente maior nas crianças em comparação com os adultos. No entanto, para a variável VC, as crianças apresentaram valores significativamente menores. Para o intervalo entre o LAV ao pico do exercício, o percentual de aumento do VO_2 l.min⁻¹, FR, VE, VCO_2 l.min⁻¹, VC e RTR foi significativamente menor nas crianças. A análise estatística

Tabela 2 - Carga e tempo de esforço no LAV e pico do exercício

Variável	LAV		Pico	
	Crianças	Adultos	Crianças	Adultos
Velocidade (mph)	4,9 \pm 0,2*	4,3 \pm 0,1	5,9 \pm 0,1	5,6 \pm 0,1
Inclinação (%)	6,7 \pm 1,1*	3,6 \pm 0,4	14,4 \pm 1,1	15,7 \pm 0,7
Tempo de esforço (min)	6,2 \pm 0,6*	4,3 \pm 0,3	9,8 \pm 0,4	10,2 \pm 0,4

Os valores são médias + EP. * $P < 0,05$ vs adultos. LAV - limiar anaeróbio ventilatório.

Tabela 3 - Variáveis cardiorrespiratórias em repouso, LAV e pico do exercício em crianças e adultos

Variáveis	Repouso		LAV		Pico		Interação
	Crianças	Adultos	Crianças	Adultos	Crianças	Adultos	
FC bpm	89.1 ± 4.0	87.5 ± 5.8	159.1 ± 5.0*	132.7 ± 3.3	191.7 ± 2.6	188.4 ± 2.2	0.001
Pulso O ₂ (O ₂ /FCx10 ³)	2.3 ± 0.2	3.6 ± 0.6	6.8 ± 0.5*	10.0 ± 0.7	8.0 ± 0.6*	13.4 ± 0.9	0.001
RTR	0.85 ± 0.0	0.85 ± 0.0	0.92 ± 0.0	0.90 ± 0.0	1.02 ± 0.0*	1.20 ± 0.0	0.001
VO ₂ l.min ⁻¹	0.20 ± 0.0	0.28 ± 0.0	1.10 ± 0.1	1.32 ± 0.1	1.52 ± 0.1*	2.52 ± 0.2	0.001
VO ₂ ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	5.3 ± 0.4	4.4 ± 0.4	28.4 ± 2.2*	20.6 ± 1.4	39.4 ± 2.1	39.1 ± 2.0	0.004
VCO ₂ l.min ⁻¹	0.17 ± 0.0	0.24 ± 0.0	1.02 ± 0.1	1.20 ± 0.1	1.54 ± 0.1*	3.03 ± 0.2	0.001
VCO ₂ ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	4.5 ± 0.4	3.7 ± 0.4	26.3 ± 2.2*	18.6 ± 1.5	40.2 ± 2.1*	47.1 ± 2.6	0.001

Os valores são médias ± EP. FC, frequência cardíaca; RTR, razão de troca respiratória; VO₂, consumo de oxigênio; VCO₂, produção de dióxido de carbono. * P ≤ 0,05 vs adultos.

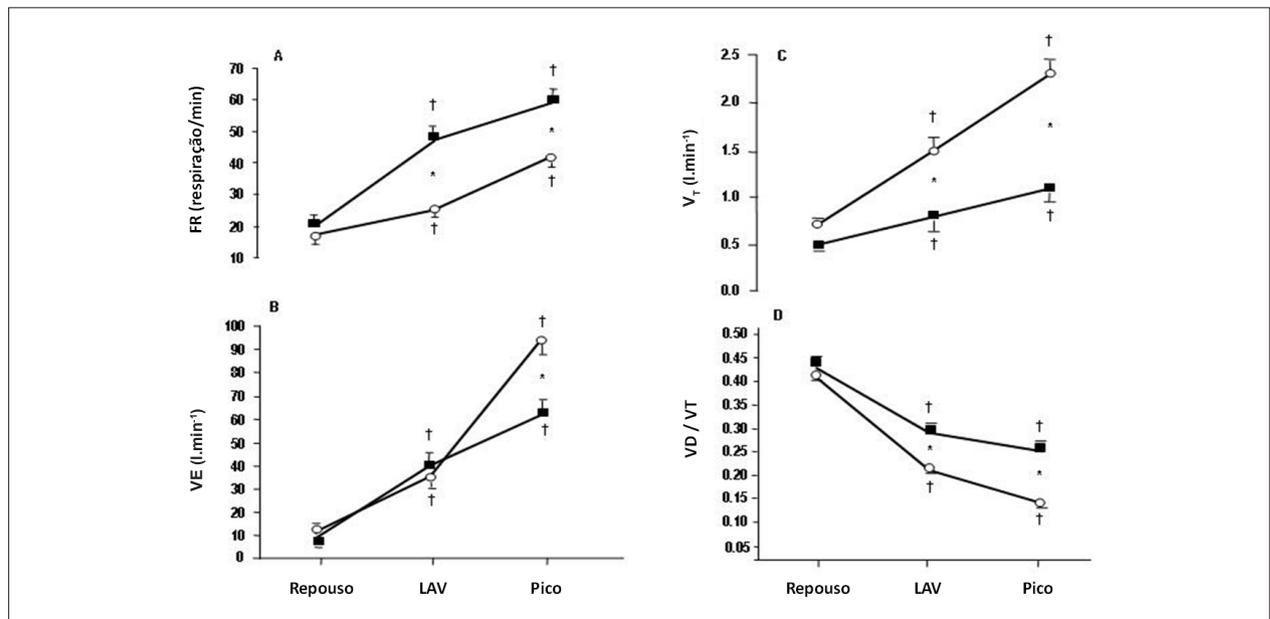


Fig. 1 - A) FR - frequência respiratória; B) VE - ventilação pulmonar; C) VC - volume corrente; e D) VD/VT - espaço morto funcional estimado durante o esforço incremental (média ± EP) (quadrados = crianças; círculos abertos = adultos). † p < 0,05 vs repouso, * p < 0,05 entre grupos.

também evidenciou que o percentual de aumento do VCO₂ l.min⁻¹, VC e RTR entre o repouso ao pico do exercício foi significativamente menor nas crianças.

Discussão

Os principais achados do presente estudo são os seguintes: 1) as crianças têm diferentes respostas cardiovasculares, ventilatórias e metabólicas durante o teste de esforço progressivo máximo em comparação com adultos; e 2) as crianças apresentaram níveis similares de condicionamento aeróbio relativo e capacidade de esforço quando comparadas aos adultos. Quanto às diferenças nas respostas cardiovasculares, as crianças apresentaram maior resposta cronotrópica e menor resposta inotrópica durante o esforço máximo (Tabela 3). De fato, esses resultados são compatíveis com relatos anteriores^{17,24} que revelaram em crianças maiores valores de frequência

cardíaca na mesma carga a que os adultos foram submetidos. Este aumento da frequência cardíaca observada na população pediátrica é um mecanismo compensatório para um menor volume cardíaco e menor volume sistólico^{17,24}. Além disso, esta resposta pode estar relacionada à maior sensibilidade dos quimiorreceptores periféricos associada ao acúmulo de metabólitos nos músculos submetidos ao esforço¹⁵. Por outro lado, as crianças demonstraram valores inferiores de pulso O₂ durante o esforço máximo em comparação com os adultos. Embora o pulso O₂ seja apenas uma estimativa indireta do volume sistólico, sugere-se que esta constatação possa estar relacionada aos seguintes fatores: 1) menor tamanho do coração; 2) menor volume sistólico; e 3) menor massa muscular resultando em retorno venoso atenuado (pré-carga) observados em crianças²⁴.

Além disso, nosso estudo revela alterações nas respostas ventilatórias durante o esforço progressivo, sendo que as

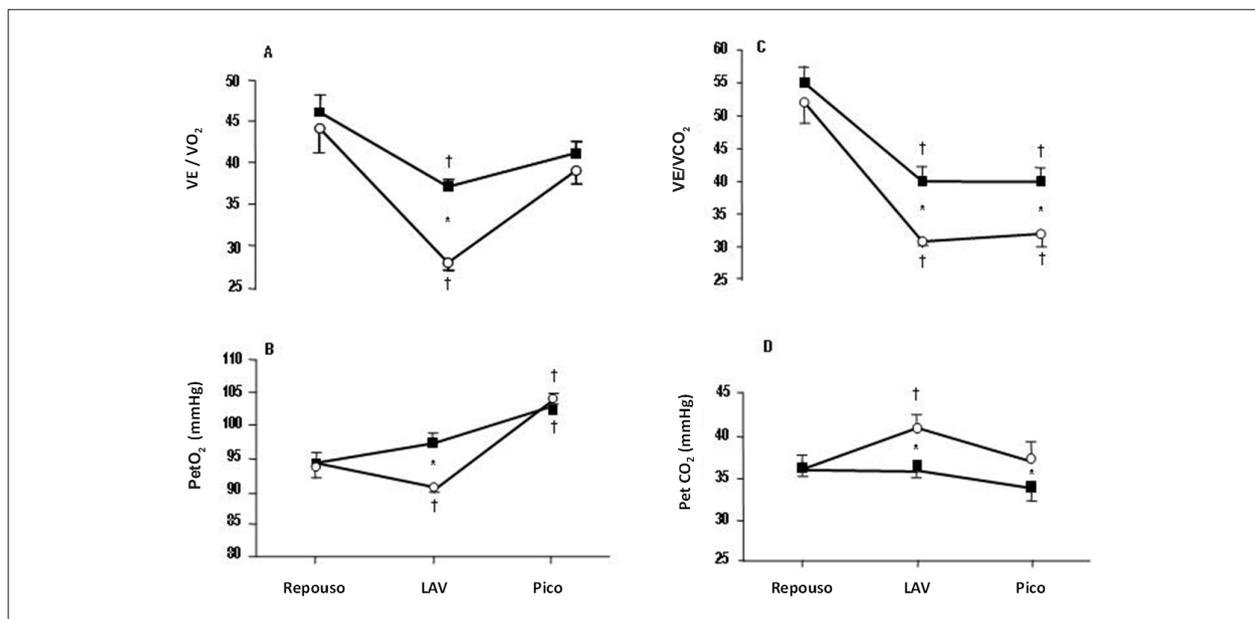


Fig. 2 - A) VE/VO_2 - equivalente ventilatório de oxigênio; B) $PetO_2$ - pressão expiratória final de oxigênio; C) VE/VCO_2 - equivalente ventilatório de dióxido de carbono; e D) $PetCO_2$ - pressão expiratória final de dióxido de carbono durante o esforço incremental (média \pm EP) (quadrados = crianças; círculos abertos = adultos). † $p < 0,05$ vs repouso, * $p < 0,05$ entre grupos.

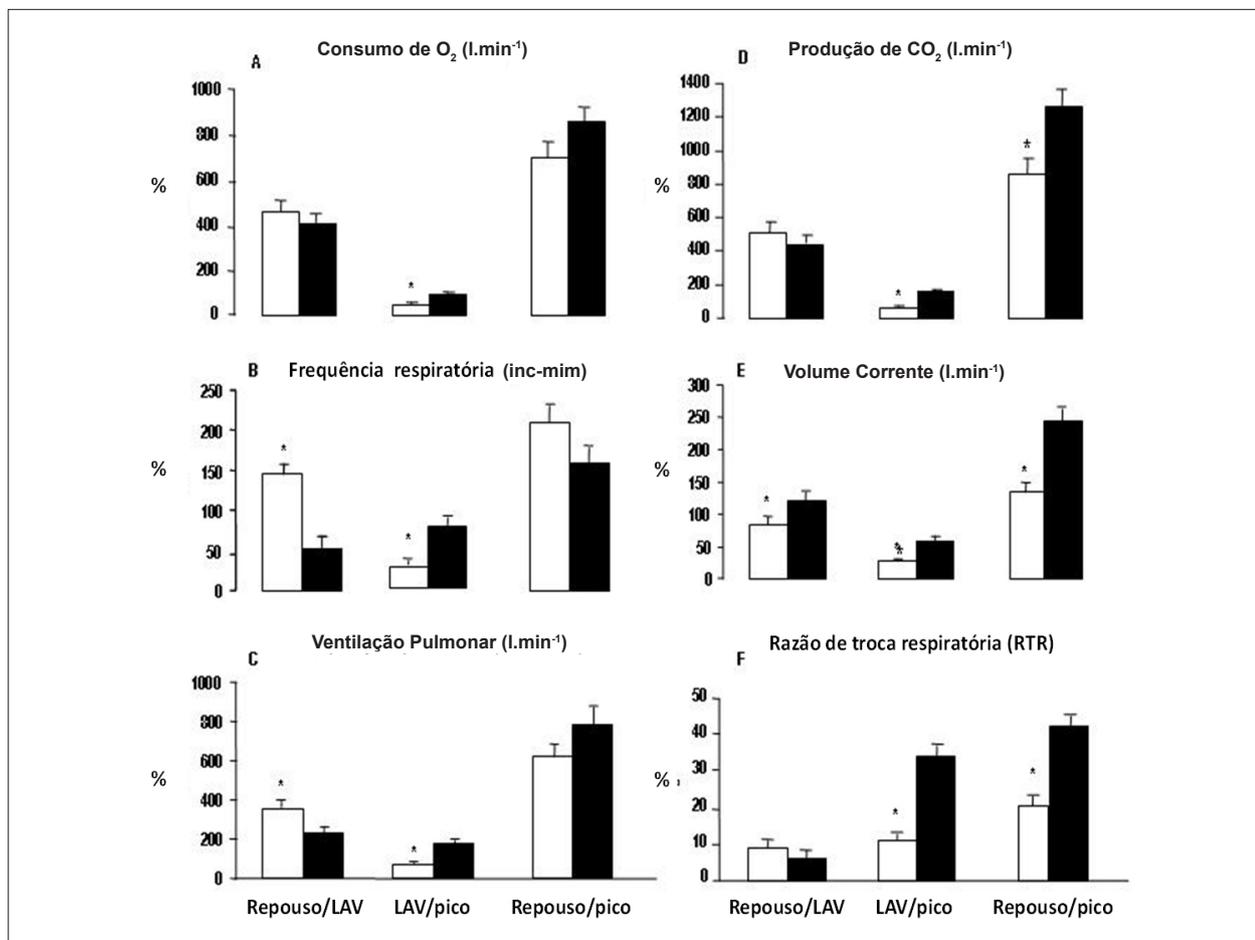


Fig. 3 - Diferença percentual entre o repouso ao limiar anaeróbio ventilatório (repouso/LAV), limiar anaeróbio ventilatório ao pico de exercício (LAV/pico) e repouso ao pico do exercício (repouso/pico) para as crianças (barras brancas) e adultos (barras pretas). (média \pm EP) * $P < 0,05$ vs adultos.

crianças demonstram menor eficiência ventilatória. De fato, foram encontrados valores significativamente maiores para a frequência respiratória e menores valores de volume corrente durante o teste de esforço em crianças (Figura 1A e 1C). Ademais, o grupo de crianças demonstra maiores valores para os equivalentes ventilatórios de O_2 e CO_2 para um determinado dispêndio energético, o que sugere um aumento da demanda ventilatória durante o esforço físico (Figura 2A e 2C, respectivamente). Esses resultados demonstram que o padrão ventilatório na população pediátrica depende do status maturacional^{2,25-27}. Dentro do mesmo contexto, Armon e cols.²⁷ observaram em crianças maiores níveis de ventilação pulmonar para um determinado VCO_2 em relação aos adultos. O que explicaria esses resultados? Existem algumas evidências de que crianças mais jovens possuem um set point mais baixo para a modulação da pressão parcial de dióxido de carbono arterial^{4,13-15} e um maior impulso ventilatório central¹⁶, resultando em maior resposta ventilatória para uma determinada demanda metabólica.

Os resultados encontrados no nosso estudo estão de acordo com essa premissa, já que a diferença relativa (percentual) não mostrou diferenças para o VCO_2 em repouso ao LAV entre os grupos (Figura 3D). No entanto, a ventilação pulmonar demonstrou maior aumento, sugerindo maior impulso ventilatório para um determinado VCO_2 em crianças (Figura 3C). Além disso, o grupo de crianças mostrou diferentes respostas de pressões expiratórias finais de oxigênio e dióxido de carbono durante o esforço progressivo (Figura 2B e Figura 2D, respectivamente). Embora a $PETO_2$ seja apenas uma estimativa indireta da PO_2 alveolar e arterial^{28,29}, o fato de que a $PETO_2$ foi maior no LAV nas crianças (Figura 2B) pode ser atribuído a um maior impulso ventilatório com aumento subsequente na PO_2 alveolar. De fato, a população pediátrica pode estar sob uma relativa hiperventilação alveolar durante o exercício. Em outras palavras, observa-se uma ventilação excessiva durante o esforço físico^{30,31}.

Por outro lado, diversos autores^{28,29} sugerem que as respostas de $PETO_2$ podem ser influenciadas tanto pela VE/VO_2 quanto pelo padrão respiratório utilizado durante o exercício. Por exemplo, a diminuição ou aumento de VE/VO_2 durante o teste de esforço também altera a $PETO_2$ ²⁹ da mesma forma. Para a variável $PETCO_2$, as crianças mostraram valores significativamente mais baixos do que os adultos durante o esforço progressivo (Figura 2D). Embora a $PETCO_2$ seja uma estimativa indireta da PCO_2 alveolar e arterial^{28,29}, os resultados apresentados no nosso estudo estão compatíveis com relatos anteriores³¹. Ohuchi e cols.³¹ demonstraram que a magnitude e a mudança na diferença entre a pressão expiratória final e a pressão parcial de dióxido de carbono arterial $P(ET-a)DCO_2$ durante o esforço progressivo foi menor com as crianças apresentando valores mais baixos do que os adultos, tanto no limiar anaeróbio quanto no pico do exercício. Presumimos que este resultado pode ser explicado por uma menor eficiência ventilatória^{4,13,25-27} e uma menor capacidade glicolítica durante o exercício em crianças quando comparadas a adultos^{1-3,6-9}.

Interessante, outros autores²⁹ sugerem que valores maiores de frequência respiratória estão intimamente relacionados com a diminuição do tempo expiratório e como consequência

de uma cessação prematura do aumento do $PETCO_2$ durante o esforço progressivo. De fato, nossos resultados corroboram essa explicação, já que observamos, durante o esforço progressivo, maior frequência respiratória no grupo de crianças. Além disso, esta menor eficiência ventilatória observada em crianças pode ser reforçada com a menor queda de VD/VT durante o esforço progressivo, sugerindo que há maior ventilação no espaço morto anatômico (Figura 1D).

Além disso, de acordo com uma investigação anterior³², nosso estudo revela ainda diferenças nas respostas metabólicas durante o esforço físico progressivo em crianças. Observamos valores significativamente mais baixos para a razão de troca respiratória no pico do exercício no grupo de crianças (Tabela III). Além disso, para a diferença relativa (percentual), as crianças apresentaram menor aumento de RTR, tanto do repouso ao pico de exercício quanto no LAV ao pico do exercício (Figura 3F). Esses resultados sugerem que as crianças têm menor capacidade glicolítica que adultos. A literatura apresenta diversas razões possíveis para essa imaturidade no metabolismo anaeróbio em crianças observada durante o exercício físico, dentre elas: 1) menores níveis de glicogênio muscular^{5-7,33}; 2) atividade reduzida de fosfofrutoquinase-1 e lactato desidrogenase^{1-3,6-9}; e 3) maior proporção de fibras de contração lenta¹.

Curiosamente, apesar dessas diferenças nas respostas cardiovasculares e ventilatórias durante o esforço progressivo, o grupo de crianças demonstrou níveis de capacidade de esforço semelhantes aos dos adultos (Tabela 2). Sugerimos que esses resultados possam estar relacionados a uma maior eficiência metabólica em crianças e, como consequência, menor fadiga muscular, pois tiveram menor dependência do metabolismo glicolítico durante o teste de esforço.

Conclusão

Como conclusão, esses resultados indicam que as respostas cardiovasculares, ventilatórias e metabólicas durante o teste de esforço progressivo máximo são diferentes entre crianças e adultos. Especificamente, os resultados encontrados no presente estudo sugerem que as crianças possuem menor eficiência cardiovascular e respiratória. Por outro lado, as crianças apresentaram maior eficiência metabólica durante o teste de esforço progressivo. Em resumo, apesar das diferenças observadas, as crianças demonstraram níveis semelhantes de capacidade de esforço quando comparadas aos adultos.

Limitações

Reconhecemos algumas limitações no presente estudo. A principal limitação é que os nossos pacientes foram selecionados a partir de um banco de dados, em um estudo retrospectivo transversal. Informações sobre a relação entre a amostra e a população são limitadas nesta condição de amostragem não-probabilística. Sendo assim, não podemos extrapolar os resultados desse estudo para a população.

Potencial Conflito de Interesses

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação Acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Referências

1. Boisseau N, Delamarche P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med.* 2000; 30 (6): 405-22.
2. Malina R, Bouchard C. Growth, maturation, and physical activity. Champaign (IL): Human Kinetics Publishers; 1991.
3. 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.
4. Cooper DM, Kaplan MR, Baumgarten L, Weiler-Ravell D, Whipp BJ, Wasserman K. Coupling of ventilation and CO₂ production during exercise in children. *Pediatr Res.* 1987; 21: 568-72.
5. Prado DM, Dias RC, Trombetta IC. Cardiovascular, ventilatory, and metabolic parameters during exercise: differences between children and adults. *Arq Bras Cardiol.* 2006; 87 (4): e149- e155.
6. Kuno S, Takahashi H, Fujimoto K, Akima H, Miyamaru M, Nemoto I, et al. Muscle metabolism during exercise using phosphorus- 31 nuclear magnetic resonance spectroscopy in adolescents. *Eur J Appl Physiol.* 1995; 70: 301-4.
7. Inbar O, Bar-Or O. Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 1986; 18 (3): 264-9.
8. Zanconato S, Buchthal S, Barstow TJ, Cooper DM. 31P- magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *J Appl Physiol.* 1993; 74 (5): 2214-8.
9. 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.
10. Martinez LR, Haymes EM. Substrate utilization during treadmill running in prepubertal girls and women. *Med Sci Sports Exerc.* 1992; 24 (9): 975-83.
11. Rowland TW, Auchinachie JA, Keenan TJ, Green GM. Physiologic responses to treadmill running in adult and prepubertal males. *Int J Sports Med.* 1987; 8 (4): 292-7.
12. Haralambie G. Enzyme activities in skeletal muscle of 13-15 years old adolescents. *Bull Eur Physiopathol Respir.* 1982; 18 (1): 65-74.
13. Nagano Y, Baba R, Kuraishi K, Yasuda T, Ikoma M, Nashibata K, et al. Ventilatory control during exercise in normal children. *Pediatr Res.* 1998; 43: 704-7.
14. Springer C, Barstow TJ, Cooper DM. Effect of hypoxia on ventilatory control during exercise in children and adults. *Pediatr Res.* 1989; 25: 285-90.
15. Springer C, Cooper DM, Wasserman K. Evidence that maturation of the peripheral chemoreceptors is not complete in childhood. *Respir Physiol.* 1988; 74: 55-64.
16. Gaultier C, Perret L, Boule M, Buvrey A, Gerard F. Occlusion pressure and breathing pattern in healthy children. *Respir Physiol.* 1981; 46: 71-80.
17. 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.
18. Cole TJ, Bellizzi MC, Katherine MF, Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ.* 2000; 320: 1-6.
19. Rowland TW. Pediatric laboratory exercise testing: clinical guidelines. Champaign (IL): Human Kinetics Publishers; 1993.
20. Maritz JS, Morrison JF, Peter J, Strydom NB, Wyndham CH. A practical method of estimating and individual's maximal oxygen uptake. *Ergonomics.* 1961; 4: 97-122.
21. Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc.* 1995; 27: 1292-301.
22. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol.* 1973; 33: 236-43.
23. Wasserman K. The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *Am Rev Respir Dis.* 1984; 12: S35-S40.
24. Kenneth TR, Wilmore JH. Cardiovascular responses to treadmill and cycle ergometer exercise in children and adults. *J Appl Physiol.* 1997; 83 (3): 948-57.
25. Rowland TW, Cunningham LN. Developmental of ventilatory responses to exercise in normal white children. *Chest.* 1997; 111: 327-32.
26. 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.
27. Armon Y, Cooper DM, Zanconato S. Maturation of ventilatory responses to 1- minute exercise. *Pediatr Res.* 1991; 29: 362-8.
28. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 1999.
29. Neder JA, Nery LE. Fisiologia clínica do exercício teoria e prática. São Paulo: Artes Médicas; 2003.
30. Gratas-Delamarche A, Mercier J, Ramonatxo M, Dassonville J, Préfaut C. Ventilatory response of prepubertal boys and adults to carbon dioxide at rest and during exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1993; 66: 25-30.
31. Ohuchi H, Kato Y, Tasato H, Arakaki Y, Kamiya T. Ventilatory response and arterial blood gases during exercise in children. *Pediatr Res.* 1999; 45: 389-96.
32. Brown JD, Mahon AD, Plank DM. Attainment of maximal exercise criteria in boys and men. *J Sports Med Phys Fitness.* 2002; 42: 135-40.
33. Eriksson BO, Karlsson J, Saltin B. Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Pediatr Scand.* 1971; 217: 154-7.