

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

**EFEITO DO MODO DE EXERCÍCIO SOBRE A CINÉTICA DO CONSUMO DE
OXIGÊNIO DURANTE O EXERCÍCIO SEVERO EM CRIANÇAS**

Fabiana Andrade Machado

**Rio Claro – SP
2007**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

**EFEITO DO MODO DE EXERCÍCIO SOBRE A CINÉTICA DO CONSUMO DE
OXIGÊNIO DURANTE O EXERCÍCIO SEVERO EM CRIANÇAS**

Fabiana Andrade Machado

Orientador: Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai

Apoio: CAPES

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências da Motricidade – Área Biodinâmica da Motricidade Humana.

Rio Claro – SP

2007

RESUMO

A cinética do consumo de oxigênio (VO_2) descreve o comportamento respiratório durante a transição repouso-exercício. Os parâmetros derivados dos ajustes (componente lento – CL e constante de tempo – τ ou Tau) são utilizados para quantificar a magnitude das alterações ocorridas nesse sistema. Os objetivos deste estudo foram: 1) verificar a influência de diferentes modelos de análise [modelo matemático com três termos exponenciais (Exp3) vs. diferença do VO_2 entre o sexto e o terceiro minuto de exercício (ΔVO_2 6-3 min)] na caracterização do CL durante o exercício acima do limiar de lactato (LL) em corrida; 2) verificar os efeitos do tipo de exercício [corrida em esteira rolante (ER) vs. exercício em bicicleta ergométrica (BE)] no pico do consumo de oxigênio (VO_{2pico}) e LL (expresso em ml/kg/min e % VO_{2pico}) e; 3) verificar os efeitos do tipo de exercício no τVO_2 e no CL da cinética do VO_2 durante o exercício acima do LL em meninos de 11-12 anos de idade. Participaram do estudo 20 crianças do gênero masculino aparentemente saudáveis e ativos ($11,48 \pm 0,41$ anos; $41,38 \pm 10,45$ kg; $147,45 \pm 6,56$ cm), nível maturacional 1 e 2 (pilosidade pubiana) que realizaram dois testes incrementais, um na ER e outro na BE para determinação do VO_{2pico} e do LL. Para determinação da cinética do VO_2 foram realizadas duas transições de 6 minutos em cada ergômetro na intensidade de $75\% \Delta$ [$75\% \Delta = LL + 0,75 \times (VO_{2pico} - LL)$]. O CL determinado pelo modelo Exp3 ($129,69 \pm 75,71$ ml/min e $8,4 \pm 2,92$ %) foi significativamente maior do que o obtido pelo modelo ΔVO_2 6-3 min ($68,69 \pm 102,54$ ml/min e $3,6 \pm 7,34$ %). O VO_{2pico} ($45,16 \pm 5,98$ x $42,93 \pm 7,51$ ml/kg/min), frequência cardíaca máxima (196 ± 6 x 187 ± 9 bpm), VO_2 ($31,82 \pm$

10,09 x 25,19 ± 7,36 ml/kg/min), % VO₂ pico (69,83 ± 16,63 x 58,96 ± 14,55 %) e FC no LL (150 ± 17 x 131 ± 12 bpm) foram significativamente maiores na ER do que na BE, respectivamente. O CL expresso em valores absolutos (165,75 ± 143,76 x 95,86 ± 77,68 ml/min) e como a contribuição percentual para o aumento do VO₂ no final do exercício (13,0 ± 9,0 x 7,0 ± 5,0 %) foi significativamente maior na BE do que na ER, respectivamente. Porém, nenhuma diferença foi observada em relação ao τVO₂ nos dois modos de exercício (ER = 18,83 ± 4,36 x BE = 19,94 ± 7,57 seg). Com os resultados obtidos concluímos que: 1) o CL obtido em crianças de 11-12 anos durante exercício de corrida no domínio severo mostra-se dependente do modelo de análise; 2) semelhante ao encontrado em adultos, meninos de 11-12 anos apresentam maiores índices aeróbios máximos e submáximos durante exercício realizado em ER em relação à BE; 3) embora as crianças apresentem CL durante o exercício severo na ER, este é consideravelmente menor do que o obtido na BE.

Palavras-chave: esteira rolante, bicicleta ergométrica, lactato, componente lento.

ABSTRACT

The oxygen uptake kinetic (VO_2) explain the respiratory behavior during rest-exercise transition. The parameters from the adjustment (slow component – SC and time constant – τ or Tau) are usual to measure the magnitude of the alterations on this structure. The objectives of this study were: 1) to verify the influence of the two different mathematical models [three-exponential model (Exp3) and ΔVO_2 6-3 min] on the SC of VO_2 in children during running exercise, performed at above lactate threshold intensity domain ($75\%\Delta$); 2) to verify the effects of exercise mode (running x cycling) on the indexes related to aerobic fitness ($\text{VO}_{2\text{peak}}$ and blood lactate response to exercise); 3) to verify the effect of the exercise mode (running x cycling) on the τVO_2 and the SC of the VO_2 in children aged 11 to 12 years during above lactate threshold intensity exercise ($75\%\Delta$). Twenty apparently healthy active boys (age = $11,48 \pm 0,41$ years; body mass = $41,38 \pm 10,45$ kg; height = $147,45 \pm 6,56$ cm), sexual maturation levels 1 and 2 (pubic hair) took part of this study. These children performed in different days on a motorized treadmill (TM) and on a cycle ergometer (CE) the following tests: 1) an incremental test in order to determine the peak oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) and the LT and; 2) a series of square-wave transitions of 6-min duration at $75\%\Delta$ [$75\%\Delta = \text{LT} + 0.75 \times (\text{VO}_{2\text{peak}} - \text{LT})$] in order to determine the VO_2 kinetics (τVO_2 and SC). The SC values determined by model Exp3 ($129,69 \pm 75,71$ ml/min and $8,4 \pm 2,92$ %) were higher than values determined by model ΔVO_2 6-3 min ($68,69 \pm 102,54$ ml/min and $3,6 \pm 7,34\%$). The $\text{VO}_{2\text{peak}}$ (45.16 ± 5.98 vs. 42.93 ± 7.51 ml/kg/min), maximal heart rate (196 ± 6 vs. 187 ± 9 bpm), VO_2 ($31,82 \pm 10,09$ vs. $25,19 \pm 7,36$ ml/kg/min), % $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ($69,83 \pm 16,63$ vs.

58,96 ± 14,55 %) and heart rate at LT (150 ± 17 vs. 131 ± 12 bpm) were significantly higher in TM than in CE, respectively. The SC expressed as absolute values (165,75 ± 143,76 x 95,86 ± 77,68 ml/min) and as the percentage contribution of SC to the VO₂ increment at the end of exercise (12,0 ± 9,0 x 7,0 ± 5,0 %) was significantly higher in CE than in TM. However, no differences were observed related to τVO₂ (TM = 18,83 ± 4,36 vs. CE = 19,94 ± 7,57 s) between exercise modes. With these results we can concluded that: 1) the SC values in children during running exercise performed at above lactate threshold intensity domain (75%Δ) are dependent of the analysis model (Exp3 x ΔVO₂ 6-3 min); 2) similar to adults, boys of 11 to 12 years present higher submaximal and maximal aerobic indexes in running than cycling; 3) although a SC does indeed develop during treadmill running in children, its magnitude is considerably lower than in cycling during high intensity exercise.

Key-words: running treadmill, cycle ergometer, lactate, slow component.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE ANEXOS	vii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	05
2.1 Domínios de intensidade de exercício e cinética do consumo de O ₂	05
2.2 Efeitos da idade na cinética do consumo de oxigênio no início do exercício.....	07
2.3 Componente lento do consumo de oxigênio.....	10
2.4 Efeito do modo de exercício sobre o componente lento do consumo de oxigênio.....	13
3. JUSTIFICATIVA	17
4. OBJETIVOS	19
5. ARTIGO ORIGINAL 1 – Componente lento do VO₂ em crianças durante exercício severo de corrida: análise com base em diferentes modelos matemáticos	20
6. ARTIGO ORIGINAL 2 – Efeito do modo de exercício no pico do consumo de oxigênio e resposta do lactato sanguíneo em meninos de 11-12 anos	44
7. ARTIGO ORIGINAL 3 – Efeito do modo de exercício sobre a cinética do consumo de oxigênio durante o exercício severo em crianças	65
8. CONCLUSÃO	93
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
10. APÊNDICE	97
11. ANEXO	98

LISTA DE ABREVIATURAS

A – amplitude do aumento do consumo de oxigênio

ATP – adenosina trifosfato

bpm – batimento por minuto

BE – bicicleta ergométrica

CL – componente lento

cm – centímetro

CO₂ – gás carbônico

DP – desvio padrão

ER – esteira rolante

Exp3 – modelo matemático de três termos

FC – frequência cardíaca

FC_{max} – frequência cardíaca máxima

kg – quilograma

km/h – quilômetros por hora

l – litro

La – lactato

Lac_{pico} – lactato pico

LAn – limiar anaeróbio

LB – linha de base

LL – limiar de lactato

LV – limiar ventilatório

mM – milimolar

ml – mililitro

MLACSS – máxima fase estável de lactato

min – minuto

O₂ – oxigênio

PC – potência crítica

P_{max} – potência máxima

QO₂ – consumo de oxigênio muscular

R – razão de troca respiratória

rpm – rotações por minuto

seg – segundo

TA – tempo para atingir o VO_2

Tau e τVO_2 - constante de tempo

VE – ventilação

$V_{m\acute{a}x}$ – velocidade máxima

VO_2 – consumo de oxigênio

VO_{2max} – consumo máximo de oxigênio

VO_{2pico} – maior valor de VO_2 atingido em teste progressivo

vVO_{2pico} – velocidade referente ao VO_{2pico}

W – watts

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Valores médios \pm DP do consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}) e da sua respectiva velocidade (vVO_{2pico}), do consumo de oxigênio correspondente à intensidade do limiar de lactato (LL), da frequência cardíaca máxima (FC_{max}) e do lactato pico obtidos durante o teste incremental.....32

Tabela 5.2 - Valores médios \pm DP da velocidade e percentual do $\%VO_{2pico}$ referente à $75\%\Delta$, da frequência cardíaca (FC) e da variação (valor inicial – final) do lactato sanguíneo ($\Delta [La]$) obtidos nos testes de carga constante.....33

Tabela 5.3 - Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio durante o exercício realizado a $75\%\Delta$ derivados da análise de três termos exponenciais.....34

Tabela 6.1 - Valores médios \pm DP do consumo pico de oxigênio em valores absolutos e relativos à massa corporal (VO_{2pico}), lactato pico (La_{pico}), frequência cardíaca máxima (FC_{max}), velocidade máxima ou potência máxima atingida ($Carga_{max}$), razão de troca respiratória (R) e ventilação pulmonar (VE) verificados nos testes incrementais em esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE). N = 20.....56

Tabela 6.2 - Valores médios \pm DP do consumo de oxigênio (VO_2), percentual do consumo de oxigênio de pico ($\%VO_{2pico}$), carga, frequência cardíaca (FC) e percentual da frequência cardíaca máxima ($\%FC_{max}$) referentes ao limiar de lactato (LL) obtidos durante os testes incrementais em esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE). N = 20.....57

Tabela 7.1 - Valores médios \pm DP do consumo pico de oxigênio em valores absolutos e relativos à massa corporal (VO_{2pico}), lactato pico (La_{pico}), frequência cardíaca máxima (FC_{max}), velocidade máxima ou potência máxima atingida ($Carga_{max}$), razão de troca respiratória (R) e ventilação pulmonar (VE)

verificados nos testes incrementais em esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE). N = 20.....78

Tabela 7.2 - Valores médios \pm DP do consumo de oxigênio (VO_2), percentual do consumo de oxigênio de pico ($\%VO_{2pico}$), carga, frequência cardíaca (FC) e percentual da frequência cardíaca máxima ($\%FC_{max}$) referentes ao limiar de lactato (LL) obtidos durante os testes incrementais em esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE). N = 20.....79

Tabela 7.3 - Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética derivados da análise de três exponenciais para o exercício realizado na esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE). N =20.....80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resposta do consumo de oxigênio (VO_2) ao exercício de cargas constantes a diferentes intensidades. Os números 1, 2 e 3 indicam as três fases da cinética do VO_2 . As áreas demarcadas representam o componente lento do VO_2 . (Adaptado de GAESSER & POOLE, 1996).....07

Figura 2 - Parâmetros utilizados para descrever a cinética do VO_2 , em um modelo mono-exponencial (painel a esquerda) e bi-exponencial (painel a direita). **LB**, linha de base; **A**, amplitude do aumento no VO_2 ; **A1**, do componente primário (rápido); **A2**, do componente secundário (lento); **Tau**, constante tempo; **Tau1**, componente primário; **Tau2**, componente secundário; **TA**, tempo para atingir o VO_2 ; **TA1**, tempo para o início do componente secundário.....08

Figura 5.1 – Exemplo da resposta do consumo de oxigênio (VO_2) observada em um sujeito típico deste estudo durante o exercício de carga constante realizado a 75 % Δ35

Figura 5.2 – Box plot dos valores absolutos (Painel A) e relativos (Painel B) referentes ao componente lento encontrados no modelo matemático com três termos exponenciais (TRI) e no modelo ΔVO_2 6-3 min (DELTA). * $P < 0,05$ em relação ao modelo com três termos exponenciais.....36

Figura 7.1 - Resposta do consumo de oxigênio (VO_2) de um sujeito durante as duas transições de exercício a 75% Δ durante corrida em esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE).....81

Figura 7.2 - Valores médios (\pm DP) do componente lento (CL) expresso em valores absolutos e relativos obtidos durante exercício na esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE) na intensidade de 75% Δ82

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I – Termo de consentimento para participação em testes físicos laboratoriais e avaliação de maturação sexual.....	98
ANEXO II – Aprovação do referido projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências da UNESP – Rio Claro (Ofício CEP 22/2004).....	100

1. INTRODUÇÃO

As alterações mais expressivas verificadas no organismo durante a transição repouso-exercício são atribuídas ao sistema cardiorrespiratório. Durante essa transição, observa-se um aumento do fluxo sanguíneo muscular e do consumo de oxigênio (VO_2) com o objetivo de suprir as necessidades metabólico-fisiológicas do organismo. A magnitude dessas alterações depende da intensidade do esforço realizado (FAWKNER; ARMSTRONG, 2003), e são melhor representadas pelo comportamento respiratório denominado cinética do VO_2 . Esse aumento da contribuição aeróbia pode ser observado pela elevação no VO_2 medido ao nível pulmonar. Grassi (2001) demonstrou em humanos, durante a transição de um exercício em que se pedala sem carga para outro com carga abaixo do limiar ventilatório (LV), que a cinética alveolar do VO_2 foi semelhante à cinética do VO_2 da musculatura esquelética (QO_2). A partir desse pressuposto, as medidas de captação de oxigênio ao nível pulmonar vêm sendo muito utilizadas para descrever as respostas da utilização de oxigênio ao nível muscular em diversas intensidades de exercício.

Diversos fatores como a intensidade e tipo de exercício e o estado de treinamento aeróbio parecem influenciar a cinética do VO_2 durante o exercício

realizado em adultos. O componente lento do consumo de oxigênio (CL), definido como o aumento do VO_2 acima daquele que pode ser predito pela relação VO_2 vs. intensidade tem se mostrado um assunto de grande interesse experimental. Além das implicações teóricas, a compreensão e determinação do CL podem ser bastante importantes na prescrição do exercício. Entre os possíveis mecanismos que podem explicar o surgimento do CL temos os aumentos das catecolaminas, da ventilação pulmonar e da temperatura corporal e o recrutamento de fibras musculares do tipo II.

Especificamente em relação às crianças e adolescentes, poucas ainda são as informações sobre os fatores que podem influenciar a cinética do VO_2 , sendo que os estudos que procuraram analisar a ocorrência do CL têm produzido dados que são aparentemente antagônicos. Armon et al. (1991) verificaram a ausência da ocorrência do CL do VO_2 em aproximadamente 50% das crianças durante o exercício em cicloergômetro realizado a 50 e 75 % Δ (50 e 75% da diferença entre o limiar de lactato - LL e o consumo máximo de oxigênio - VO_{2max}). Além disso, crianças que demonstraram CL mostraram valores estatisticamente menores do que os adultos.

Do mesmo modo, Williams et al. (2001) verificaram durante o exercício na esteira rolante realizado a 50% Δ , que o CL expresso em valores absolutos ($288,5 \pm 39,7$ ml/min vs. $18,6 \pm 18,9$ ml/min) e relativos ($8,3 \pm 1,0$ % vs. $0,9 \pm 1,2$ %) ao aumento do VO_2 para a intensidade de exercício realizado (ganho), foi significativamente maior nos homens do que nos meninos, respectivamente. Por outro lado, Fawkner e Armstrong (2004) utilizando modo (cicloergômetro) e intensidade de exercício (40% Δ) similares ao estudo de Armon et al. (1991),

verificaram claramente em meninos de 10,6 anos, a existência do CL (100 ± 6 ml/min; $9,4 \pm 4,6$ %).

Parte destes dados antagônicos pode ser provavelmente explicada pelo método de análise utilizado para caracterizar o CL, pois assim como em adultos (BILLAT et al., 1998), alguns estudos realizados com crianças utilizaram um critério que considera um rígido intervalo de tempo para estimar a magnitude do CL (ARMON et al., 1991). Especificamente, nesses estudos utilizou-se da diferença do VO_2 entre o sexto e o terceiro minuto de exercício (ΔVO_2 6-3 min) para a caracterização do CL, assumindo-se que o VO_2 só atingiria o valor correspondente à carga após três minutos de exercício. Porém, análises matemáticas que utilizaram dois ou três termos exponenciais, têm demonstrado que o CL do VO_2 pode iniciar antes do terceiro minuto de exercício, levando a crer que outros métodos de verificação e quantificação são necessários para não subestimar seu valor, considerando outras características do comportamento respiratório durante a transição repouso-exercício de intensidades constantes acima do LL (BARSTOW, 1994). Entretanto, não há estudos que tenham analisado a influência dos métodos de análise (modelo exponencial x ΔVO_2 6-3 min) na determinação do CL em crianças e adolescentes. Esse aspecto pode ser particularmente importante em crianças, pois nesta faixa etária a taxa de incremento do VO_2 no início do exercício é maior do que a observada em adolescentes e adultos (FAWKNER; ARMSTRONG, 2004).

Além disso, o modo de exercício pode explicar também os diferentes dados obtidos por Williams et al. (2001) e Fawkner e Armstrong (2004), já que

pelo menos em adultos, o CL se mostra significativamente maior no ciclismo do que na corrida, independente do estado e especificidade de treinamento aeróbio dos indivíduos (JONES; McCONNELL, 1999; CARTER et al., 2000; HILL et al., 2003). Entretanto, para o nosso conhecimento, nenhum estudo analisou os efeitos do modo de exercício sobre o CL em crianças e adolescentes.

Sendo assim, o principal objetivo desse estudo foi verificar o efeito do modo de exercício [corrida em esteira rolante (ER) x exercício em bicicleta ergométrica (BE)] sobre a cinética do VO_2 em meninos de 11-12 anos submetidos a exercício de domínio severo, utilizando para isso, diferentes modelos de análise para determinação da magnitude do CL.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Domínios de intensidade de exercício e cinética do consumo de O₂

Para cada intensidade de exercício a magnitude da resposta do VO₂ (cinética) pode ser diferente, sendo melhor caracterizada quando se analisam os diferentes domínios de esforço. Segundo Gaesser e Poole (1996) os domínios de intensidade de esforço são classificados como: moderado, pesado e severo.

Para os exercícios realizados abaixo do limiar de lactato (LL), temos a intensidade de esforço classificada como moderada, onde não se observa modificação das concentrações de lactato sanguíneo em relação ao estado de repouso. O domínio pesado de exercício reflete intensidades de esforço acima do LL, porém, abaixo da sua máxima fase estável (MLACSS) ou potência crítica (PC). O domínio severo caracteriza-se por esforços de intensidade acima da MLACSS ou PC, não havendo estabilização para as concentrações de lactato, com constante elevação deste metabólito até que o indivíduo entre em exaustão.

Quando se comparam esses diferentes domínios, a cinética do VO₂ parece ser bem diferente, determinando que as análises e interpretações dos

mecanismos fisiológicos sejam feitas separadamente. Com o refinamento dos equipamentos que permitem que as trocas respiratórias sejam medidas dinamicamente a cada respiração, três fases da cinética do VO_2 foram identificadas e quantificadas.

Fase 1 - chamada de fase cardiodinâmica, representa os primeiros 15 – 25 segundos de exercício, sugerindo que a elevação no VO_2 seja primariamente devido ao aumento no trabalho cardíaco (WASSERMAN et al., 1974), e secundariamente às mudanças no conteúdo venoso de O_2 e nos estoques de gases pulmonares (BARSTOW; MOLE, 1991). Esta fase pode ou não ser excluída nos ajustes exponenciais utilizados para descrever a cinética do VO_2 .

Fase 2 – sugere-se que a fase 2 reflita as mudanças no metabolismo oxidativo muscular, com o contínuo aumento do retorno venoso e a maior extração periférica de O_2 . Nesta fase, dependendo do domínio analisado, o VO_2 pode apresentar um componente (primário) ou dois componentes (primário + lento). No domínio moderado (abaixo do LL), o VO_2 eleva-se rapidamente de maneira exponencial (componente primário) em direção a um estado estável que em indivíduos normais é atingido em 80 – 110 segundos. Para o domínio pesado, o VO_2 eleva-se bi-exponencialmente existindo o aparecimento de um segundo componente (componente lento), atrasando o atendimento do novo estado estável (15 a 20 min), que apresenta um valor maior daquele predito pela relação VO_2 x carga. No domínio severo (acima da PC ou MLACSS), mas em intensidades abaixo do VO_{2max} , o VO_2 também se eleva bi-exponencialmente, com esse segundo componente direcionando o VO_2 para o

seu valor máximo. Já para as intensidades correspondentes ao VO_{2max} ou acima deste, a cinética do VO_2 volta a apresentar um único componente, que se eleva exponencialmente até seus valores máximos.

Fase 3 – refere-se ao estado estável do VO_2 , para intensidades onde ele é atingido (Figura 2.1).

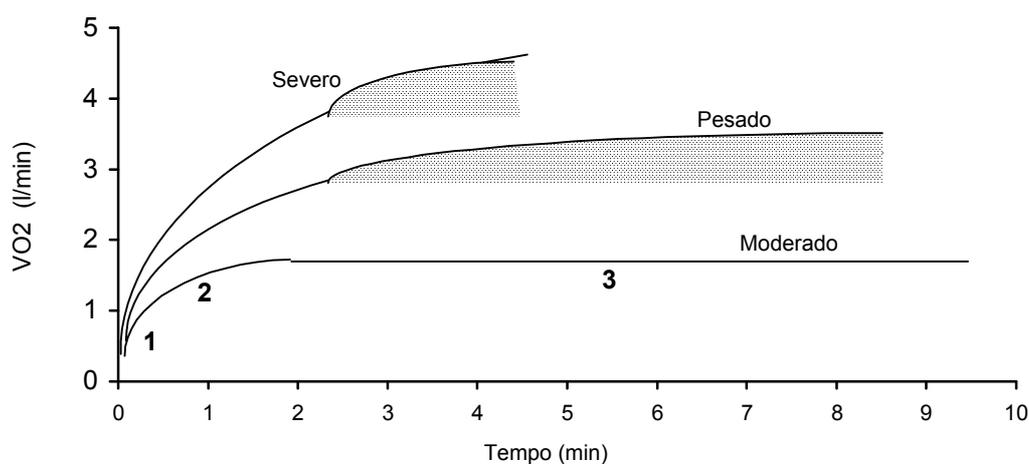


Figura 2.1 - Resposta do consumo de oxigênio (VO_2) ao exercício de cargas constantes a diferentes intensidades. Os números 1, 2 e 3 indicam as três fases da cinética do VO_2 . As áreas demarcadas representam o componente lento do VO_2 (adaptado de GAESSER; POOLE, 1996).

2.2 Efeitos da idade na cinética do consumo de oxigênio no início do exercício

Na análise da cinética do VO_2 , a maioria dos estudos ajusta a curva VO_2 x tempo de exercício com modelos exponenciais, nos quais os parâmetros desta curva são utilizados para descrever e analisar os possíveis fatores (intensidade e tipo de exercício, estado de treinamento, idade e patologias) que

podem influenciar a cinética do VO_2 (Figura 2.2). A maioria dos estudos tem utilizado a constante de tempo (τVO_2), determinada nestes ajustes exponenciais, para descrever e analisar a taxa de incremento do VO_2 no início do exercício. O τVO_2 pode ser definido como o tempo gasto para se atingir 63% do VO_2 correspondente a intensidade do exercício realizado (HUGHSON et al., 2001).

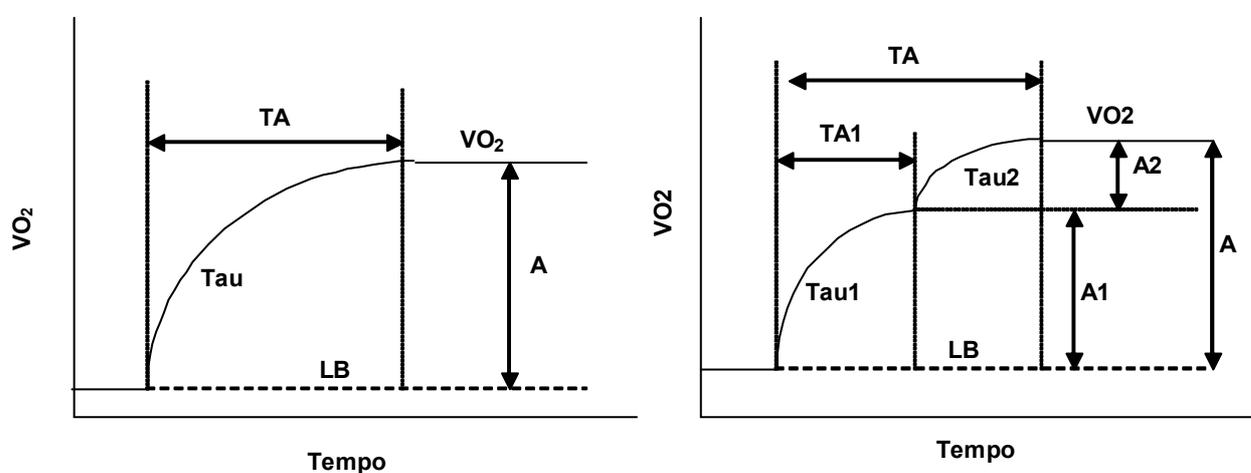


Figura 2.2 - Parâmetros utilizados para descrever a cinética do VO_2 , em um modelo mono-exponencial (painel à esquerda) e bi-exponencial (painel à direita). **LB**, linha de base; **A**, amplitude do aumento no VO_2 ; **A1**, do componente primário (rápido); **A2**, do componente secundário (lento); **Tau**, constante tempo; **Tau1**, componente primário; **Tau2**, componente secundário; **TA**, tempo para atingir o VO_2 ; **TA1**, tempo para o início do componente secundário (adaptado de CAPUTO, 2003).

A cinética do VO_2 no início do exercício de cargas constantes tem sido muito investigada em adultos (POWERS et al., 1985; PHILIPS et al., 1995).

Entretanto, estudos realizados com crianças, que tiveram o objetivo de investigar a cinética do VO_2 , são esparsos e quando realizados, utilizaram principalmente o cicloergômetro para os testes, além de técnicas consideradas “simplistas” para analisar/ajustar os dados. Williams et al. (2001) verificaram que crianças tendem a apresentar menores valores de τVO_2 em relação aos adultos tanto em exercício moderado quanto em exercício pesado, porém, sem demonstrar diferenças significantes. Cooper et al. (1985) também demonstraram que durante exercícios de intensidades abaixo do LL, o τVO_2 foi mais rápido em crianças com idades entre 7-10 anos em relação a adolescentes de 15-18 anos de ambos os sexos, porém, também sem demonstrar diferenças estatísticas significantes. Sady (1981) reportou que durante ciclismo de intensidade supramáxima ($> \text{VO}_{2\text{max}}$), o tempo médio de resposta do VO_2 (significado fisiológico similar ao τVO_2), foi menor para meninos pré-púberes comparado com indivíduos de 30 anos do mesmo gênero. Os resultados foram considerados pelo autor como evidência para uma adaptação mais rápida do metabolismo aeróbio em crianças. Corroborando o estudo acima citado, Armon et al. (1991) encontraram um τVO_2 significativamente mais rápido em crianças durante exercício de ciclismo a 25, 50 e 75% Δ (25, 50 e 75% da diferença entre o LL e o $\text{VO}_{2\text{max}}$, respectivamente) comparado a adultos. Os autores sugerem que a cinética mais rápida durante exercício pesado pode relacionar-se a uma moderada resposta anaeróbia das crianças nos estágios iniciais do exercício quando comparadas a adultos e também a fatores relacionados às diferenças nas concentrações de hemoglobina, densidade capilar e atividade das enzimas oxidativas.

Fawkner (2002) apresenta o único estudo que verificou os efeitos do gênero na resposta do VO_2 durante exercício de intensidade pesada ($40\%\Delta$) em crianças. Diferenças significantes entre 23 meninos e 22 meninas pré-púberes foram encontradas no τVO_2 , com os meninos apresentando uma cinética mais rápida do que as meninas. Fawkner (2002) hipotetizou que os meninos podem apresentar uma distribuição melhor e mais rápida do O_2 no início do exercício de intensidade pesada.

Não foram encontrados estudos que analisaram os eventuais efeitos do tipo de exercício na cinética do VO_2 (τVO_2) no início do exercício, em crianças e adolescentes.

2.3 Componente lento do consumo de oxigênio

O componente lento do VO_2 é caracterizado por um custo adicional de O_2 observado em exercícios de cargas constantes com intensidade acima do LL. Essa superposição no componente respiratório causa uma certa demora em se atingir o estado estável do VO_2 . Quanto ao seu significado fisiológico e clínico, alguns dados parecem controversos. Autores sugerem que sua ocorrência relaciona-se diretamente ao comportamento do lactato sanguíneo, apresentando-se apenas quando a intensidade de esforço está acima do LL (WHIPP, 1987; BARSTOW, 1994; GAESSER, 1994).

Sugere-se também que o aumento do trabalho respiratório para manter uma efetiva troca gasosa nos pulmões pode atuar sobre o CL. Alguns estudos demonstraram que o custo de oxigênio para suprir o trabalho da musculatura respiratória resultou em um aumento de 18 para 23% no CL total (AARON et

al., 1992; GAESSER; POOLE, 1996). Há também indícios de que o aumento da temperatura corporal pode contribuir para o surgimento do CL, uma vez que já foi demonstrado que ao elevar-se a temperatura muscular em 6°C, houve uma diminuição de aproximadamente 20% na eficiência da respiração mitocondrial (WILLIS; JACKMAN, 1994). O recrutamento dos diferentes tipos de fibra muscular, especialmente do tipo II, pode também levar ao surgimento do CL (GAESSER; POOLE, 1996), devido ao seu menor potencial oxidativo (POOLE et al., 1991).

Casaburi et al. (1987) sugerem que a ocorrência do CL do VO_2 pode ser atenuada pelos efeitos do treinamento físico, assim como a diminuição das concentrações de lactato sangüíneo. Após um período de seis a oito semanas de treinamento de *endurance*, houve uma significativa diminuição no CL quando o exercício efetuado no pós-treinamento foi realizado sob as mesmas condições do que no período pré-treinamento (mesma carga absoluta). Nesse mesmo estudo, os autores verificaram que a menor amplitude do CL foi acompanhada por uma diminuição dos níveis de lactato sangüíneo e adrenalina plasmática, diminuição da ventilação pulmonar e da temperatura retal (CASABURI et al., 1987). Gaesser e Poole (1996) sugerem que o treinamento de *endurance* pode alterar também o recrutamento de fibras musculares, atenuando a ocorrência do CL por não enfatizar o recrutamento das fibras do tipo II.

Quanto à ocorrência e magnitude do CL em diferentes tipos de exercício, estudos têm demonstrado que há diferença para esta variável entre exercícios de corrida e ciclismo. Billat et al. (1998) verificaram que triatletas que se

exercitaram até a exaustão a 90%VO_{2max}, demonstraram no ciclismo maiores valores no CL quando comparados à corrida. Resultados similares foram encontrados por Jones e McConnell (1999), que justificaram os resultados baseando-se no fato de haver diferença no recrutamento de grupos musculares específicos pertinentes à prática dessas duas atividades. Carter et al. (2000) verificaram em indivíduos ativos que se exercitaram no ciclismo e corrida em três diferentes intensidades de esforço (25, 50 e 75%Δ), que o CL também foi maior durante o ciclismo, para todas as intensidades de exercício.

No que diz respeito à faixa etária, poucos estudos têm analisado a ocorrência do CL e os fatores que podem determiná-lo em crianças. Armon et al. (1991) verificaram a ausência da ocorrência do CL do VO₂ em aproximadamente 50% das crianças envolvidas em seu estudo. A pequena porcentagem que apresentou o fenômeno demonstrou uma magnitude menor em relação aos adultos para valores expressos tanto em l/min quanto em ml/kg/min, além de não demonstrarem aumento com a intensidade de esforço. Sugere-se que a ausência da ocorrência do CL do VO₂ deve-se ao fato das crianças produzirem menores concentrações de lactato em relação aos adultos e também a fatores que ainda se mostram desconhecidos (ARMON et al., 1991). Resultados similares foram obtidos por Williams et al. (2001) durante o exercício na esteira rolante. Nesse estudo, onde o exercício foi realizado a 50%Δ, a magnitude do CL expresso em valores absolutos e relativos ao aumento do VO₂ para a intensidade de exercício realizado (ganho) foi significativamente maior nos homens do que nos meninos (115,9 ± 7 ml/min e 8,3 ± 1,0%; 18,6 ± 18,9 ml/min e 0,9 ± 1,2%, respectivamente). Os adultos

tiveram também maiores mudanças nas concentrações de lactato sanguíneo ao final do exercício.

O único estudo que analisou os efeitos do gênero no CL foi realizado por Fawkner (2002). Nesse estudo, quando as crianças realizaram um exercício a 40% Δ , o componente lento do VO_2 foi menor nos meninos em relação às meninas. Sugere-se que isso se deva à diferença na porcentagem de fibras tipo I que se mostra maior em meninos em relação às meninas como foi anteriormente verificado por Barstow et al. (1996).

Similar à cinética do VO_2 no início do exercício (τVO_2), não foram encontrados estudos que analisaram os eventuais efeitos do tipo de exercício no CL do VO_2 em crianças.

2.4 Efeito do modo de exercício sobre o componente lento do consumo de oxigênio

Grande atenção tem sido dedicada à investigação da cinética do VO_2 , particularmente para os fatores que podem explicar o comportamento do CL. Entre os diversos fatores até aqui estudados, pode-se destacar o modo de exercício e/ou o tipo de contração muscular predominante (concêntrica x excêntrica), já que os mesmos parecem modular a magnitude do CL.

Carter et al. (2000) compararam respostas do CL do VO_2 durante ciclismo e corrida de intensidades pesada e severa utilizando para esta análise modelos matemáticos de ajustes mais sensíveis à verificação e quantificação desta variável. Os autores verificaram que a magnitude do CL em valores absolutos foi significativamente maior para ciclismo do que para corrida tanto

durante exercício de intensidade pesada ($334 \pm 183 \times 205 \pm 84,3$ ml/min, respectivamente) quanto de intensidade severa ($430 \pm 159 \times 302 \pm 154$ ml/min, respectivamente), o mesmo ocorrendo em relação aos valores relativos ($15,3 \pm 3,6 \times 7,3 \pm 1,4\%$; $16,9 \pm 2 \times 9,6 \pm 3,1\%$, respectivamente).

Hill et al. (2003) compararam as respostas da cinética do VO_2 em ciclismo e corrida no domínio severo (intensidades que levaram ao mesmo tempo de exaustão), utilizando além do ajuste exponencial para determinar o CL, uma análise delta (diferença $VO_{2max} - VO_2$ aos dois minutos de exercício). Os autores verificaram que os valores de CL obtidos pelo modelo exponencial não foram diferentes entre os dois ergômetros; no entanto, os valores resultantes da análise delta foram maiores durante exercício de ciclismo do que em corrida (299 ± 153 ml/min \times 177 ± 92 ml/min, respectivamente).

Entre os diversos autores que verificaram que o CL é maior no ciclismo do que na corrida, parece haver consenso de que o regime de contração muscular utilizado nesses exercícios possa ser a explicação para este comportamento. Durante exercício de corrida, parte importante do tempo gasto para gerar um ciclo completo de uma passada (34 %) é realizada em contração excêntrica, sendo esta um regime de contração mais eficiente por apresentar menor gasto energético (CARTER et al., 2000). Assim, a maior eficiência mecânica gerada pela contração excêntrica, pode levar a uma menor fadiga das fibras musculares ativas, limitando o recrutamento de unidades motoras adicionais ao longo do tempo, podendo atenuar expressivamente o CL durante a corrida.

Durante o ciclismo, a contração muscular predominante é do tipo concêntrica, a qual é caracterizada por um maior gasto metabólico em relação à contração excêntrica. Durante o exercício de carga constante, este tipo de contração pode levar mais rapidamente à fadiga as fibras musculares que estão sendo utilizadas, estimulando o recrutamento de uma maior quantidade de fibras tipo II que possuem alta capacidade glicolítica e alta taxa de produção de lactato (SCHNEIDER et al., 2002), o que pode contribuir para o surgimento e aumento do CL. Deve-se destacar também que o fluxo sanguíneo pode sofrer importante influência deste regime de contração muscular, podendo restringir a oferta de O₂ e a remoção de metabólitos. Finalmente, em intensidades pesada e severa, pode haver maior balanço do tronco e exagerada contração isométrica de membros superiores que consomem mais oxigênio sem gerar potência externa (BILLAT et al., 1998), fatores que podem contribuir para o aumento do CL no ciclismo.

Na busca por maiores informações sobre os efeitos dos diferentes regimes de contração muscular na magnitude do CL, Pringle et al. (2002) compararam o exercício de corrida realizado na intensidade de 50% Δ em superfície plana e em aclone. Os autores observaram que a maior ativação muscular concêntrica (verificada durante a corrida em aclone por alteração da inclinação do terreno) levou ao aumento do CL do VO₂ (corrida no plano = 9% x corrida em aclone = 12%). Os autores hipotetizaram que a corrida em aclone se assemelha mais ao exercício de ciclismo, apresentando uma importante oclusão do fluxo sanguíneo devido ao tipo de contração muscular exercida, menor eficiência da bomba muscular, menor retorno venoso levando a

dificuldades para remoção de metabólitos, fazendo com que haja maior dependência do metabolismo anaeróbio, possibilitando o aumento do recrutamento de fibras musculares tipo II e acelerando a fadiga.

Schneider et al. (2002) compararam o comportamento do CL entre exercício realizado com cicloergômetro de braço e cicloergômetro de perna. Os autores verificaram que o CL, expresso em valores percentuais ao aumento do VO_2 acima do terceiro minuto de exercício, foi maior durante o exercício de braço (12%) do que no exercício de perna (9%). Nestas condições, parece ser importante considerar que a eficiência mecânica é significativamente menor durante exercício em cicloergômetro de braço do que de perna, e ainda que as fibras musculares tipo II estão percentualmente mais presentes nos membros superiores e parte superior do corpo.

Os poucos estudos que verificaram os efeitos do modo de exercício sobre o CL do VO_2 foram conduzidos com a participação de adultos, não havendo dados que se refiram ao comportamento desta variável sob estas condições em crianças e adolescentes.

3. JUSTIFICATIVA

Diversos estudos têm verificado que a cinética do VO_2 (τVO_2 e CL) em adultos é influenciada por vários fatores, como por exemplo: estado de treinamento aeróbio, gênero, idade, tipo de exercício e intensidade de esforço (POWERS et al., 1985; PHILIPS et al., 1995). Em crianças, além da existência de poucos estudos, muitos apresentam deficiência nos equipamentos utilizados e na análise dos resultados (FAWKNER; ARMSTRONG, 2003). Mais recentemente, com o surgimento de equipamentos que podem medir a captação de gases respiração a respiração e de estudos que têm utilizado modelos matemáticos mais robustos, tem-se conseguido uma importante diminuição nos “ruídos” dos dados utilizados para a determinação da cinética do VO_2 , “ruídos” estes bastante presentes em crianças (FAWKNER; ARMSTRONG, 2003). Apesar dos estudos mais recentes terem melhorado a obtenção e análise dos dados, ainda há falta de informações dos fatores que podem influenciar a cinética do VO_2 durante o exercício severo (acima MLACSS ou PC). Dados recentes têm sugerido, por exemplo, que os efeitos do gênero na cinética do VO_2 só estariam presentes no exercício severo (FAWKNER; ARMSTRONG, 2004). Ainda sobre esse aspecto, a maioria

dos estudos realizados em crianças, limitou-se a analisar o exercício realizado em cicloergômetro. Desse modo, entende-se que a análise dos possíveis efeitos do tipo de exercício na cinética do consumo de oxigênio (τVO_2 e CL), pode contribuir para o entendimento dos mecanismos que determinam esta resposta fisiológica durante o exercício em crianças. Esses dados podem ter importantes implicações na prescrição do exercício em crianças, assim como nas áreas de crescimento e desenvolvimento e medicina do exercício.

4. OBJETIVOS

Com base nos dados apresentados anteriormente, os objetivos desse estudo foram:

- 1) Verificar a influência de diferentes modelos de análise (modelo matemático com três termos exponenciais e modelo ΔVO_2 6-3 min) na caracterização do CL durante o exercício severo em meninos de 11-12 anos de idade;
- 2) Verificar os efeitos do modo de exercício [corrida em esteira rolante (ER) x exercício em bicicleta ergométrica (BE)] no consumo de oxigênio de pico ($\text{VO}_{2\text{pico}}$) e limiar de lactato (LL, expresso em ml/kg/min e % $\text{VO}_{2\text{pico}}$) em meninos de 11-12 anos de idade;
- 3) Verificar os efeitos do modo de exercício na constante de tempo (τVO_2) e no CL da cinética do VO_2 durante o exercício severo em meninos de 11-12 anos de idade.

5. ARTIGO ORIGINAL 1*

Componente lento do VO_2 em crianças durante exercício severo de corrida: análise com base em diferentes modelos matemáticos

* Artigo publicado na Revista Brasileira de Medicina do Esporte. v. 12 (6): 308-12, 2006.

Resumo

O objetivo deste estudo foi verificar e quantificar a magnitude do componente lento do consumo de oxigênio (CL) em crianças submetidas a exercício de corrida em esteira rolante, com cargas constantes de intensidade acima do limiar de lactato ($75\%\Delta$), utilizando para isto dois modelos de análise: a) modelo matemático com três termos exponenciais e; b) modelo ΔVO_2 6-3 min. Participaram do estudo 8 crianças do sexo masculino ($11,92 \pm 0,63$ anos; $44,06 \pm 13,01$ kg; $146,63 \pm 7,25$ cm e níveis de maturação sexual 1 e 2), aparentemente saudáveis, não treinadas, que realizaram em diferentes dias: 1) Teste incremental na esteira rolante para a determinação do consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}) e do limiar de lactato (LL) e; 2) Dois testes de carga constante em esteira rolante durante seis minutos na intensidade de $75\%\Delta$ [$75\%\Delta = LL + 0,75 \times (VO_{2pico} - LL)$]. Para determinação do CL utilizou-se: a) modelo matemático de três termos (Exp3) e; b) a diferença no VO_2 entre o sexto e o terceiro minuto de exercício (ΔVO_2 6-3 min). O CL foi expresso em valores absolutos (ml/min) e também como a contribuição percentual do CL para o aumento do VO_2 no final do exercício (%CL). O CL determinado pelo modelo Exp3 ($129,69 \pm 75,71$ ml/min e $8,4 \pm 2,92$ %) foi significativamente maior do que o obtido pelo modelo ΔVO_2 6-3 min ($68,69 \pm 102,54$ ml/min e $3,6 \pm 7,34$ %). Portanto, os valores de CL obtidos em crianças durante o exercício de corrida realizado no domínio acima do LL ($75\%\Delta$) são dependentes do modelo de análise (Exp3 x ΔVO_2 6-3 min).

Palavras-chave: corrida, componente lento, exercício pesado, crianças.

Abstract

The purpose of this study was to identify and quantify the magnitude of the slow component of VO_2 (SC) in children during running exercise, performed at above the lactate threshold intensity domain ($75\%\Delta$), using two different mathematical models: a) three-exponential model and; b) ΔVO_2 6-3 min. Eight healthy male children (11.92 ± 0.63 years; 44.06 ± 13.01 Kg; 146.63 ± 7.25 cm and; sexual maturity levels 1 and 2), not trained, performed in different days the following tests: 1) Incremental running treadmill test to determine the peak oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) and the lactate threshold (LT) and; 2) Two transitions from baseline to $75\%\Delta$ [$75\%\Delta = \text{LT} + 0.75 \times (\text{VO}_{2\text{peak}} - \text{LT})$] for six minutes on treadmill. The SC was determined by two models: a) three-exponential model (Exp3) and; b) the VO_2 difference between the sixth and the third exercise minute (ΔVO_2 6-3min). The SC was expressed as the absolute (ml/min) and percent contribution (%) to the total change in VO_2 . The SC values determined by model Exp3 (129.69 ± 75.71 ml/min and 8.4 ± 2.92 %) and ΔVO_2 6-3 min (68.69 ± 102.54 ml/min and 3.6 ± 7.34 %) were significantly different. So, the SC values in children during running exercise performed at above LT intensity domain ($75\%\Delta$) are dependent of the analysis model (Exp3 x ΔVO_2 6-3 min).

Key words: running, slow component, heavy exercise, children.

Introdução

O comportamento do sistema respiratório observado durante a transição repouso-exercício apresenta variações dependentes da intensidade de esforço aplicada. Em exercícios de cargas constantes com intensidades acima do limiar de lactato (LL), caracterizadas a partir desse ponto como exercício pesado, podemos observar um custo adicional do consumo de oxigênio (VO_2), que ocasiona um atraso em se atingir um novo estado estável para esta variável. Esta superposição no comportamento respiratório é denominada componente lento (CL) do VO_2 (DENADAI; CAPUTO, 2003).

O CL do VO_2 tem sua ocorrência e magnitude bastante variada em relação ao tipo de exercício realizado. A maior parte dos trabalhos realizados objetivando a verificação e quantificação do CL, prioriza o exercício realizado em cicloergômetro. No entanto, os valores encontrados neste ergômetro em adultos, mostram-se sempre maiores do que os obtidos durante exercício de corrida (BILLAT et al., 1998; CARTER et al., 2000). Além das implicações teóricas, a compreensão e determinação do CL podem ser bastante importantes na prescrição do exercício, já que alguns autores têm proposto que a tolerância máxima ao esforço realizado acima da máxima fase estável de

lactato ou potência crítica ($\sim 80-85 \%VO_{2max}$), pode ser dependente do comportamento do CL (JONES; CARTER, 2005). Entre outras aplicações (JONES; CARTER, 2005), este aspecto pode ser importante na prescrição do exercício em crianças e adolescentes, já que vários estudos têm verificado que a melhora da aptidão aeróbia nesta população parece ser dependente da utilização de intensidades de exercício ($> 80-85 \%VO_{2max}$) (BAQUET et al., 2003) onde o CL pode estar presente.

Entretanto, poucos estudos têm analisado a ocorrência do CL e os fatores que podem determiná-lo em crianças e adolescentes. Armon et al. (1991) verificaram a ausência da ocorrência do CL do VO_2 em aproximadamente 50% das crianças analisadas em seu estudo. Entre as que apresentaram o fenômeno, verificou-se uma magnitude menor em relação aos adultos para valores expressos tanto em l/min quanto em ml/kg/min, além de não demonstrarem aumento com a intensidade de esforço. Armon et al. (1991) sugeriram que a ausência da ocorrência do CL do VO_2 deve-se ao fato das crianças apresentarem menores concentrações de lactato em relação aos adultos. Resultados similares foram obtidos por Williams et al. (2001) durante o exercício na esteira rolante. Neste estudo, onde o exercício foi realizado a $50\% \Delta$ (50% da diferença entre o LL e o VO_{2max}), a magnitude do CL expresso em valores absolutos ($288,5 \pm 39,7$ ml/min vs. $18,6 \pm 18,9$ ml/min) e relativos ($8,3 \pm 1,0$ % vs. $0,9 \pm 1,2$ %) ao aumento do VO_2 para a intensidade de exercício realizado (ganho), foi significativamente maior nos homens do que nos meninos, respectivamente. Os adultos obtiveram também maiores mudanças nas concentrações de lactato sanguíneo ao final do exercício.

Entretanto, Fawkner e Armstrong (2004) verificaram em meninos (10,6 anos) durante o exercício realizado a 40% Δ em cicloergômetro, valores relativos de CL (~ 10 %) bem superiores ao estudo de Williams et al. (2001). Conforme discutido anteriormente, estes dados antagônicos poderiam ser explicados, pelo menos em parte, pelos diferentes tipos de exercícios que foram analisados no estudo de Williams et al. (2001) e Fawkner e Armstrong (2004) (corrida x ciclismo, respectivamente).

Para a determinação e quantificação desta variável, alguns investigadores utilizam um critério que considera um rígido intervalo de tempo para estimar a magnitude do CL. Especificamente, utiliza-se da diferença do VO_2 entre o sexto minuto e o terceiro minuto (ΔVO_2 6-3 min) de exercício como índice para tal (BILLAT et al., 1998; BOHNERT et al., 1998; WOMACK et al., 2000). Neste critério, assume-se que o VO_2 só atingiria o valor correspondente à carga após três minutos de exercício. Porém, análises matemáticas que utilizaram dois ou três termos exponenciais, têm demonstrado que o CL do VO_2 pode iniciar antes do terceiro minuto de exercício, levando a crer que outros métodos de verificação e quantificação são necessários para não subestimar seu valor, considerando outras características do comportamento respiratório durante a transição repouso-exercício de intensidades constantes acima do LL (BARSTOW, 1994; BEARDEN; MOFFATT, 2000). Estes diferentes critérios poderiam justificar em parte, os dados antagônicos obtidos por Armon et al. (1991) e Fawkner e Armstrong (2004) durante o exercício em cicloergômetro. Assim, é possível hipotetizar que não só o tipo de exercício, mas também os critérios utilizados podem influenciar na caracterização do componente lento do

VO₂ em crianças. Entretanto, deve-se considerar que não foram encontrados estudos que tenham analisado a influência de diferentes critérios no cálculo do CL do VO₂ em crianças durante a corrida realizada no domínio pesado e/ou severo (> LL). Sendo assim, o objetivo deste estudo foi verificar e quantificar a magnitude do componente lento do VO₂ em crianças submetidas a exercícios de corrida em esteira rolante, com cargas constantes de intensidade acima do LL (75%Δ), utilizando para isto dois modelos de análise: a) modelo matemático com três termos exponenciais e; b) modelo ΔVO₂ 6-3 min.

Material e Métodos

Sujeitos

Participaram do estudo oito crianças aparentemente saudáveis do gênero masculino (idade = $11,92 \pm 0,63$ anos; massa corporal = $44,06 \pm 13,01$ kg; estatura = $146,63 \pm 7,25$ cm), com níveis de maturação sexual 1 e 2 (pilosidade pubiana) determinado de acordo com o modelo proposto por Tanner (1962). A partir da aplicação de um questionário (APÊNDICE I), verificou-se que as crianças participavam regularmente das aulas de Educação Física Escolar, além de realizarem outras práticas com carga horária de aproximadamente três horas semanais. Porém, nenhum dos participantes encontrava-se inserido em programas de treinamento competitivo de qualquer espécie. Cada participante foi informado sobre os procedimentos do experimento e suas implicações, tendo juntamente com seu responsável legal, assinado um termo de consentimento para a participação no estudo (ANEXO I). O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição onde o experimento foi realizado (Ofício CEP 22/2004, ANEXO II).

Delineamento experimental

As crianças realizaram três visitas ao Laboratório de Avaliação da *Performance Humana*, Unesp – Rio Claro, SP. A primeira visita foi destinada à realização de um teste preliminar para que a criança se adaptasse ao ergômetro e ao protocolo a ser utilizado e também para as mensurações da massa corporal, estatura e determinação do nível maturacional. A segunda visita foi destinada à realização de um teste incremental para a determinação do LL e do $VO_{2\text{pico}}$. A terceira visita foi destinada à realização dos testes de carga constante para a caracterização da cinética do VO_2 durante o exercício severo (75% Δ).

Teste incremental

O teste incremental foi realizado em esteira rolante (Imbramed Millenium Super ATL, Porto Alegre, Brasil). A velocidade inicial foi de cinco km/h com incrementos de um km/h a cada três minutos, sendo mantida uma inclinação constante durante todo o teste equivalente a 1%. Todos os estágios foram seguidos por 30 segundos de recuperação. O teste foi mantido até a exaustão dos participantes, que foram encorajados verbalmente a se manterem em exercício pelo maior tempo possível (MACHADO et al., 2002). As variáveis cardiorrespiratórias foram medidas utilizando um analisador de gases (Cosmed K4b², Roma, Itália), coletando dados respiração a respiração. Antes de cada teste os sistemas de análise do O_2 e CO_2 foram calibrados usando o ar ambiente e um gás com concentrações conhecidas de O_2 e CO_2 , enquanto a turbina bi-direcional (medidor de fluxo) foi calibrada usando uma seringa de 3-L

(Cosmed K4b², Roma, Itália). Os dados do teste incremental foram reduzidos a médias com intervalos de 15 segundos e o maior valor obtido durante o teste, dentro desses intervalos, foi aceito como o $VO_{2\text{pico}}$. Antes do início do teste, durante o período de pausa entre os estágios e ao final do mesmo, foram coletadas amostras de sangue do lóbulo da orelha (25 μ l) para análise da concentração de lactato sangüíneo (YSL 2300 STAT, Yellow Springs, Ohio, USA). As concentrações de lactato foram plotadas em função da velocidade, sendo considerado o LL a intensidade de exercício onde ocorreu o primeiro e sustentado aumento da concentração de lactato acima das concentrações de repouso.

Testes de carga constante

As crianças realizaram um aquecimento de cinco minutos a 50% $VO_{2\text{pico}}$ e após o repouso de cinco minutos realizaram em cada ergômetro duas transições repouso-exercício com carga constante na intensidade correspondente a 75% Δ . Cada transição teve a duração de seis minutos com um intervalo de pelo menos 30 minutos entre cada uma delas. Amostras de sangue (25 μ l) foram coletadas do lóbulo da orelha imediatamente antes e após o período de seis minutos de exercício nas duas transições. A diferença entre a concentração de lactato final e inicial foi expressa como um valor delta da concentração de lactato sangüíneo ($\Delta[\text{La}]$). A intensidade correspondente a 75% Δ foi determinada como:

$$75\%\Delta = \text{LL} + 0,75 \times (\text{VO}_{2\text{pico}} - \text{LL}) \quad (1)$$

Análise da cinética do VO₂

Para cada transição de exercício, os dados de respiração a respiração do VO₂ foram linearmente interpolados para obter valores com intervalos de um segundo. Os dados referentes às duas transições foram alinhados e assim calculadas as médias para os valores do VO₂ com o objetivo de diminuir o “ruído” e acentuar as características fundamentais das respostas fisiológicas. Modelos de regressão não linear foram utilizadas para ajustar os dados de VO₂ após o início do exercício com uma função exponencial. Para determinar os parâmetros do melhor ajuste das curvas, foi utilizado um algoritmo não linear dos quadrados mínimos (MatLab, versão 6.5) que adotou a minimização da soma dos erros quadrados como critério de convergência. O modelo matemático foi constituído de três termos, com cada um representando uma fase da resposta. O primeiro termo teve início após o começo do exercício (tempo = 0), enquanto os outros termos iniciaram-se após os tempos de atraso independentes.

$$\begin{aligned}
 \text{VO}_2(t) &= \text{VO}_{2\text{base}} + A_0 \times (1 - e^{-t/\tau_0}) \quad (\text{Fase 1 – componente cardiodinâmico}) \\
 &+ A_1 \times (1 - e^{-(t-\text{TA}_1)/\tau_1}) \quad (\text{Fase 2 – componente primário}) \quad (2) \\
 &+ A_2 \times (1 - e^{-(t-\text{TA}_2)/\tau_2}) \quad (\text{Fase 3 – componente lento})
 \end{aligned}$$

Onde: VO₂(t) = consumo de oxigênio do tempo t; VO₂base = consumo de oxigênio no início do teste; A₀, A₁ e A₂ são as amplitudes assintóticas para os três termos exponenciais; τ₀, τ₁ e τ₂ são as constantes de tempo; TA₁ e TA₂ são os tempos de atraso. O termo da fase 1 terminou no início da fase 2 (i.e., no TA₁) e foi apontado o valor para o tempo (A'₀)

$$A'_0 = A_0 \times (1 - e^{-\text{TA}_1/\tau_0}) \quad (3)$$

O VO_2 no final da fase 1 (A'_0) e a amplitude da fase 2 (A_1) foram somadas para calcular a amplitude da fase 2 (A'_1). A amplitude do componente lento foi determinada como o aumento do VO_2 do TA_2 até o final do exercício (A'_2), ao invés do valor assintótico (A_2), pois este apresenta freqüentemente valores acima dos limites fisiológicos. O componente lento foi calculado também em valores relativos.

$$A'_2 \text{ relativo} = A'_2 / (A_1 + A'_2) \times 100 \quad (4)$$

Uma mensuração adicional do componente lento foi considerada como a diferença no VO_2 entre os valores do sexto (valor médio entre cinco minutos e 30 segundos e seis minutos) e terceiro minuto de exercício (valor médio entre dois minutos e 45 segundos e três minutos e 15 segundos de exercício) (ΔVO_2 6-3 min).

Análise estatística

Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão. O teste de *Wilcoxon* foi utilizado para comparar os valores do CL do VO_2 (absolutos e relativos) pelos dois diferentes métodos, adotando nível de significância $p \leq 0,05$.

Resultados

Na tabela 5.1 encontram-se os valores médios \pm DP do $VO_{2\text{pico}}$ e sua respectiva velocidade ($vVO_{2\text{pico}}$), do VO_2 correspondente à intensidade do LL, da frequência cardíaca máxima (FC_{max}) e do lactato pico obtidos durante o teste incremental.

Tabela 5.1 - Valores médios \pm DP do consumo de oxigênio de pico ($VO_{2\text{pico}}$) e da sua respectiva velocidade ($vVO_{2\text{pico}}$), do consumo de oxigênio correspondente à intensidade do limiar de lactato (LL), da frequência cardíaca máxima (FC_{max}) e do lactato pico obtidos durante o teste incremental.

	$VO_{2\text{pico}}$ (ml/kg/min)	$vVO_{2\text{pico}}$ (km/h)	LL (ml/kg./min)	LL (% $VO_{2\text{pico}}$)	FC_{max} (bpm)	Lactato pico (mM)
Média	45,90	10,37	36,10	77,92	192	5,57
DP	7,12	1,50	9,02	11,08	13	2,93

Na tabela 5.2 encontram-se os valores médios \pm DP da velocidade referente a 75% Δ e seu respectivo percentual do $VO_{2\text{pico}}$, da FC (média do último minuto de cada transição) e do Δ [La] obtidos durante o teste de intensidade constante.

Tabela 5.2 - Valores médios \pm DP da velocidade e percentual do % $VO_{2\text{pico}}$ referente a 75% Δ , da frequência cardíaca (FC) e da variação (valor inicial – final) do lactato sanguíneo (Δ [La]) obtidos nos testes de carga constante.

	75% Δ (km/h)	75% Δ (% $VO_{2\text{pico}}$)	FC (bpm)	Δ [La] (mM)
Média	9,20	94,4	181	2,19
DP	1,39	2,70	10	1,34

Os parâmetros da cinética do VO_2 derivados da análise com três termos exponenciais encontram-se na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio durante o exercício realizado a 75% Δ derivados da análise de três termos exponenciais.

Parâmetros	Modelo com três termos exponenciais
VO_{2base} (ml/min)	360,0 \pm 100,0
A'_0 (ml/min)	350,49 \pm 135,85
TA_1 (seg)	13,43 \pm 4,17
A'_1 (ml/min)	1332,7 \pm 394,50
τ_1 (seg)	20,64 \pm 4,17
TA_2 (seg)	129,28 \pm 29,34
A'_2 (ml/min)	129,69 \pm 75,71
τ_2 (seg)	250,03 \pm 84,43
% A'_2	8,49 \pm 2,92
VO_{2final} (ml/min)	1462,72 \pm 457,22

τ_1 e τ_2 constantes de tempo; TA_1 e TA_2 tempos de atraso; A'_0 é o VO_2 no final da fase 1, A'_1 somatória do VO_2 no final da fase 1 (A'_0) e a amplitude da fase 2 (A_1); A'_2 e % A'_2 aumento do consumo até o final do exercício em valores absolutos e relativos, respectivamente (componente lento).

Na figura 5.1 está representado o exemplo da resposta do consumo de oxigênio (VO_2) observada em um sujeito típico deste estudo durante o exercício de carga constante realizado a 75 % Δ .

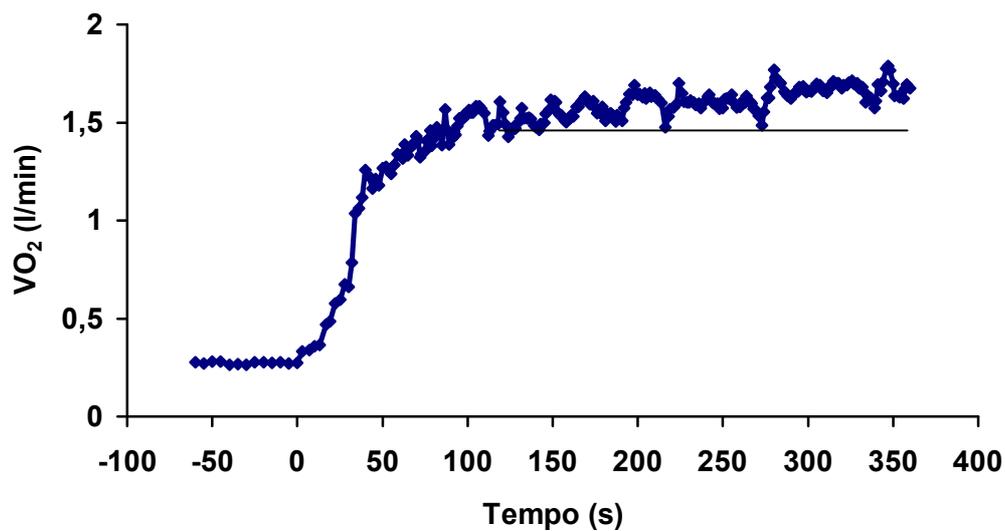


Figura 5.1 – Exemplo da resposta do consumo de oxigênio (VO_2) observada em um sujeito típico deste estudo durante o exercício de carga constante realizado a 75 % Δ .

Os valores absolutos (ml/min) e relativos (%) do CL obtidos nos dois métodos de análise estão apresentados na figura 5.2. Os valores absolutos e relativos do CL foram significativamente menores pelo método ΔVO_2 6-3 do que pelo método com três termos exponenciais.

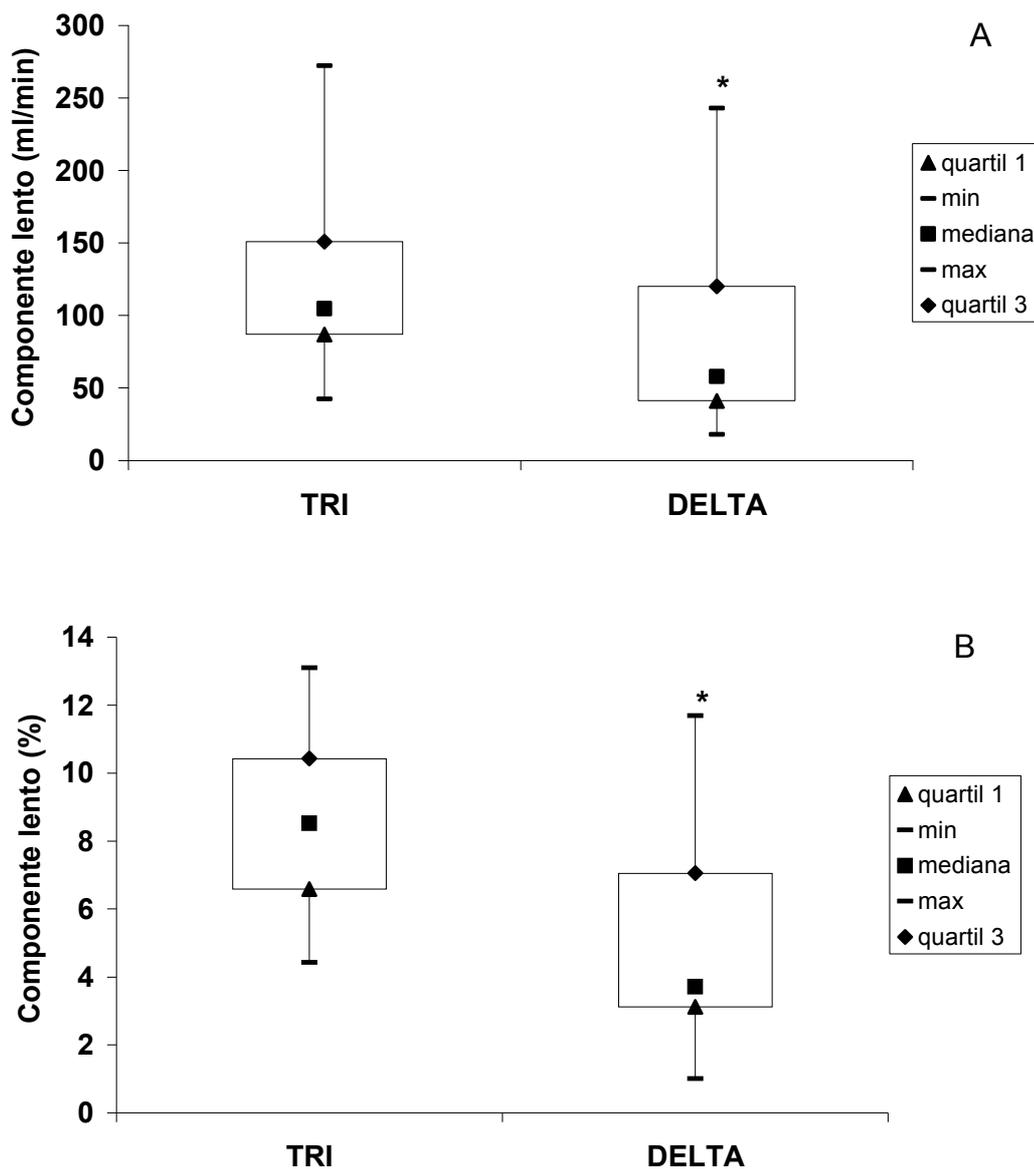


Figura 5.2 – Box plot dos valores absolutos (Painel A) e relativos (Painel B) referentes ao componente lento encontrados no modelo matemático com três termos exponenciais (TRI) e no modelo ΔVO_2 6-3 min (DELTA). * $P < 0,05$ em relação ao modelo com três termos exponenciais.

Discussão

O objetivo deste estudo foi verificar e quantificar a magnitude do CL do VO_2 em crianças submetidas a exercícios de corrida em esteira rolante, com cargas constantes de intensidade acima do LL ($75\%\Delta$), utilizando para isto dois modelos de análise: a) modelo matemático com três termos exponenciais e; b) modelo ΔVO_2 6-3 min. Nosso principal achado foi que os valores de CL, nas condições estudadas, são dependentes do modelo de análise utilizado (modelo exponencial com três termos x ΔVO_2 6-3 min). Assim, crianças submetidas a esforços de carga constante na corrida com intensidades acima do LL, apresentam a ocorrência da superposição do consumo de oxigênio (CL). Ainda que os valores encontrados possam ser específicos e característicos desta faixa etária e do modo de exercício, há clara observação da ocorrência desse fenômeno respiratório, ocasionando um atraso em se atingir um novo estado estável deste comportamento, na intenção de suprir as necessidades impostas pelo exercício.

Nossos resultados corroboram os encontrados por Fawkner e Armstrong (2004) que utilizando um modelo exponencial com dois termos, claramente

identificaram a ocorrência do CL (100 ± 60 ml/min e $9,4 \pm 4,6$ %), em crianças com idades entre 10 e 11 anos submetidas a um protocolo de exercício pesado de cargas constantes em cicloergômetro. Por outro lado, nossos resultados são diferentes dos obtidos por Armon et al. (1991) que verificaram a ausência da ocorrência do CL do VO_2 na maioria das crianças analisadas durante o exercício de carga constante no cicloergômetro. Armon et al. (1991) utilizaram em seu estudo um modelo de análise monoexponencial para a determinação do CL, considerando que este modelo apresentou relação linear bastante consistente (73%) com a análise do aumento do VO_2 entre o terceiro e o sexto minuto de exercício. Assim, pode-se hipotetizar inicialmente, que as discordâncias entre os estudos conduzidos em crianças de 10 a 11 anos, se devem mais ao modelo de análise do CL do que ao modo de exercício (corrida x ciclismo).

Billat et al. (1998) caracterizaram o CL como a diferença no VO_2 entre o terceiro e o sexto minuto de exercício de intensidade pesada, assumindo que próximo e a partir desse momento, é possível observar o aparecimento do CL. A partir disso, alguns estudos utilizaram o critério do intervalo de tempo 6-3 minutos para estimar a magnitude do CL (BOHNERT et al., 1998; WOMACK et al., 2000). No entanto, modelos matemáticos mais robustos têm demonstrado que o CL do VO_2 tem início antes do terceiro minuto de exercício, levando a crer que a determinação pelo método ΔVO_2 6-3 minutos pode subestimar os valores reais deste parâmetro em adultos e crianças (BARSTOW, 1994; BEARDEN; MOFFATT, 2000).

Para o nosso conhecimento este estudo foi o primeiro a identificar em crianças que o modelo de análise (modelo matemático com três termos exponenciais x modelo ΔVO_2 6-3 min) modifica a caracterização do CL, com o modelo ΔVO_2 6-3 min provavelmente subestimando a sua magnitude. Este comportamento pode ser claramente explicado, quando se verifica que o início do CL ocorreu após aproximadamente dois minutos de exercício ($\text{TA}_2 = 129$ seg) antes, portanto, do tempo utilizado no modelo ΔVO_2 6-3.

Os valores de CL encontrados em nosso estudo não podem, em princípio, ser diretamente comparados com os obtidos em outros estudos conduzidos em crianças na corrida. Além das diferenças nos modelos de análise, não foram encontrados dados do CL na intensidade analisada neste estudo ($75\%\Delta$). Em adultos, utilizando o mesmo modo de exercício (corrida), modelo de análise (três componentes) e intensidade ($75\%\Delta$), Carter et al. (2000) verificaram valores absolutos ($301,5 \pm 58,3$ ml/min) bem superiores ao encontrado no presente estudo ($129,69 \pm 75,71$ ml/min). Entretanto, quando são analisados os valores relativos, que ao nosso ver é a forma mais apropriada de comparação, os obtidos por Carter et al. (2000) são bem semelhantes ao do nosso estudo ($9,6 \pm 1,2$ x $8,49 \pm 2,92$ %, respectivamente). Assim, pode-se sugerir que para a corrida pelo menos, os valores de CL expressos em valores relativos, não parecem depender da idade cronológica. Dentro deste aspecto ainda, é importante destacar que Fawkner e Armstrong (2004) verificaram durante um acompanhamento longitudinal (2 anos), que o CL (absoluto e relativo), aumentou significativamente entre os 10,6 e 12,6 anos durante o exercício pesado ($40\%\Delta$) realizado no cicloergômetro.

Interessantemente, alguns estudos conduzidos em adultos com diferentes níveis de treinamento aeróbio, têm verificado que o CL (absoluto e relativo) é maior durante o exercício pesado realizado no ciclismo do que na corrida (BILLAT et al., 1998; JONES; McCONNELL, 1999). Com isso, pode-se hipotetizar também que o CL parece ser dependente da interação entre o tipo de exercício e a idade cronológica.

Alguns estudos apontam que a ocorrência e magnitude do CL estariam relacionadas ao acúmulo de lactato sanguíneo durante exercício pesado (CASABURI et al., 1987; ROSTON et al., 1987). Outros, porém, verificaram baixa correlação entre as variáveis associadas ao CL e o lactato sanguíneo durante exercício em esteira e bicicleta (BILLAT et al., 1998). Em crianças, uma das hipóteses apontadas para a ausência e/ou pequena magnitude do CL do VO_2 durante exercício pesado, seria em razão das mesmas apresentarem menores concentrações de lactato sanguíneo em relação aos adultos. No entanto, nossos valores de $\Delta [La]$ ($2,02 \pm 1,24$ mM) são menores do que os valores encontrados por Carter et al. (2000) em adultos ($4,0 \pm 0,5$ mM), sugerindo que a relação entre acúmulo de lactato e CL possa não existir, já que os valores relativos de CL foram semelhantes entre os estudos.

Sendo assim, concluímos que há ocorrência do CL do VO_2 em crianças submetidas a exercício de corrida em esteira rolante sob intensidade acima do limiar de lactato, sendo os valores relativos semelhantes aos encontrados em adultos exercitados sob as mesmas condições. Ao compararmos os dois métodos de análise (modelo matemático com três termos exponenciais e modelo ΔVO_2 6-3 min), observamos diferenças estatísticas significantes para os

valores de CL, levando-nos a concordar com a literatura existente sobre o fato de haver subestimação desses valores ao utilizarmos para análise modelos mais simples.

Referências bibliográficas

ARMON, Y. et al. Oxygen uptake dynamics during high-intensity exercise in children and adults. **J Appl Physiol**, v. 70, p. 841-848, 1991.

BAQUET, G. et al. Endurance training and aerobic fitness in young people. **Sports Med**, v. 33, p. 1127-1143, 2003.

BARSTOW, T.J. Characterization of VO_2 kinetics during heavy exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 26, p.1327-1334, 1994.

BEARDEN, S.E.; MOFFATT, R.J. VO_2 kinetics and the O_2 deficit in heavy exercise. **J Appl Physiol**, v. 88, p.1407-1412, 2000.

BILLAT, V.L. et al. The VO_2 slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. **J Appl Physiol**, v. 85, p. 2118-2124, 1998.

BOHNERT, B. et al. Effects of prior arm exercise on pulmonary gas exchange kinetics during high-intensity leg exercise in humans. **Exp Physiol**, v. 83, p. 557-570, 1998.

CARTER, H. et al. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. **J Appl Physiol**, v. 89, p. 899-907, 2000.

CASABURI, R. et al. Effect of endurance training on possible determinants of VO_2 during heavy exercise. **J Appl Physiol**, v. 62, p. 199-207, 1987.

DENADAI, B.S.; CAPUTO, F. Efeitos do treinamento sobre a cinética do consumo de oxigênio durante o exercício realizado nos diferentes domínios de intensidade de esforço. **Motriz**, v. 9, p.1-7, 2003.

FAWKNER, S.G.; ARMSTRONG, N. Longitudinal changes in the kinetic response to heavy-intensity exercise in children. **J Appl Physiol**, v. 97, p. 460-466, 2001.

JONES, A.M.; McCONNELL, A.M. Effect of exercise modality on oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 80, p. 213-219, 1999.

JONES, A.M.; CARTER, H. Oxygen uptake dynamics: from muscle to mouth - an introduction to the symposium. **Med Sci Sports Exerc**, v. 37, p.1542-1550, 2005.

MACHADO, F.A. et al. Velocidade de corrida associada ao consumo máximo de oxigênio em meninos de 10 a 15 anos. **Rev Bras Med Esporte**, v. 8, p. 1-6, 2002.

ROSTON, W.L. et al. Oxygen uptake kinetics and lactate concentrations during exercise in humans. **Am Rev Respir Dis**, v. 135, p. 1080-1084, 1987.

TANNER, J.M. **Growth and adolescence**. Oxford: Blackwell, 1962.

WILLIAMS, C.A. et al. Oxygen uptake kinetics during treadmill running in boys and men. **J Appl Physiol**, v. 90, p.1700-1706, 2001.

WOMACK, C.J. et al. The effects of a short-term training program on the slow component of $\dot{V}O_2$. **J Strength Cond Res**, v. 14, p. 50-53, 2000.

6. ARTIGO ORIGINAL 2*

**Efeito do modo de exercício no pico do consumo de oxigênio e
resposta do lactato sanguíneo em meninos de 11-12 anos**

* Artigo publicado na Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano. v. 8(3): 11-15, 2006.

Resumo

O objetivo do trabalho foi analisar os efeitos do modo de exercício (corrida x ciclismo) sobre os índices relacionados com a aptidão aeróbia ($VO_{2\text{pico}}$ e resposta de lactato ao exercício) em crianças. Participaram do estudo 20 meninos aparentemente saudáveis e ativos (idade = $11,48 \pm 0,41$ anos; massa corporal = $41,38 \pm 10,45$ kg; estatura = $147,45 \pm 6,56$ cm), com níveis de maturação sexual 1 e 2 (pilosidade pubiana), que realizaram dois testes incrementais, com estágios de 3 minutos até a exaustão voluntária, em esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE), para a determinação do pico do consumo de oxigênio ($VO_{2\text{pico}}$) e do limiar de lactato (LL). O $VO_{2\text{pico}}$ foi determinado através do maior valor obtido em intervalos de 15 segundos. O LL foi determinado através da intensidade de exercício onde ocorreu o primeiro e sustentado aumento da concentração de lactato acima das concentrações de repouso. O $VO_{2\text{pico}}$ ($45,16 \pm 5,98$ x $42,93 \pm 7,51$ ml/kg/min), frequência cardíaca máxima (196 ± 6 x 187 ± 9 bpm), VO_2 no LL ($31,82 \pm 10,09$ x $25,19 \pm 7,36$ ml/kg/min) e FC no LL (150 ± 17 x 131 ± 12 bpm) foram significativamente maiores na ER do que na BE, respectivamente. Portanto, similar ao encontrado em adultos, meninos de 11 a 12 anos apresentam maiores índices aeróbios submáximos e máximos na corrida do que no ciclismo, o que pode ter importantes implicações para profissionais de saúde que utilizam o exercício físico para a promoção de saúde, reabilitação e investigação clínica.

Palavras-chave: corrida, ciclismo, exercício, crianças.

Abstract

The objective of this paper was to analyze the effects of exercise mode (running x cycling) on the indexes related to aerobic fitness (VO_{2peak} and blood lactate response to exercise) in children. Participated of this study 20 active boys apparently healthy (age = $11,48 \pm 0,41$ yr.; body mass = $41,38 \pm 10,45$ kg; stature = $147,45 \pm 6,56$ cm), with sexual maturational level 1 and 2 (pubic hair), which performed two incremental tests, with stages of 3 minutes until voluntary exhaustion, in treadmill (TR) and cycle ergometer (CE), to the determination of peak oxygen uptake (VO_{2peak}) and lactate threshold (LT). The VO_{2peak} was determined through the higher value obtained at intervals of 15 seconds. The LT was determined as the exercise intensity where the first and sustained increase of blood lactate above rest level occurred. The VO_{2peak} ($45,16 \pm 5,98$ x $42,93 \pm 7,51$ ml/kg/min), maximal heart rate (196 ± 6 x 187 ± 9 bpm), VO_2 at LL ($31,82 \pm 10,09$ x $25,19 \pm 7,36$ ml/kg/min) and HR at LL (150 ± 17 x 131 ± 12 bpm) were significantly higher in TR than CE, respectively. Thus, similar to adults, boys of 11 to 12 years present higher submaximal and maximal aerobic indexes in running than cycling, which can have important implications for healthy professionals that utilize exercise for the healthy promotion, rehabilitation and clinical investigation.

Key-words: running, cycling, exercise, children.

Introdução

O consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) ou pico do consumo de oxigênio (VO_{2pico}), definido como a mais alta taxa de oxigênio consumida para realizar um esforço máximo (ASTRAND, 1952; ARMSTRONG; WELSMAN, 1994), tem sido considerado como o índice fisiológico que melhor representa a capacidade funcional do sistema cardiorrespiratório (WILMORE; COSTILL, 1999), caracterizando a máxima e perfeita integração do organismo em captar, transportar e utilizar oxigênio para os processos aeróbios de transferência de energia durante exercício físico. Mais recentemente, entretanto, a resposta de lactato sanguíneo ao exercício, freqüentemente denominada de limiar de lactato (LL) ou limiar anaeróbio (LAn), também tem sido amplamente utilizada em diferentes populações, para a caracterização da aptidão aeróbia dos indivíduos (DENADAI, 1999). Deste modo, tanto o VO_{2pico} como a resposta de lactato ao exercício, têm sido utilizados para a classificação e comparação da aptidão aeróbia dos indivíduos, para a análise do impacto de programas de exercício físico e principalmente para a quantificação e dosagem da carga de treinamento aeróbio, que objetive desde a melhora da saúde até o aumento do rendimento esportivo.

Diversos estudos conduzidos em crianças e adolescentes têm verificado que o $VO_{2\text{pico}}$ expresso em valores absolutos (l/min) apresenta um aumento progressivo com a idade cronológica e biológica (ARMSTRONG; WELSMAN, 1994). Quando analisados em valores relativos à massa corporal (ml/kg/min), o $VO_{2\text{pico}}$ tende a se manter estável nos indivíduos do gênero masculino com o avanço da idade cronológica (ARMSTRONG; WELSMAN, 1994). Entretanto, quando analisados em função da idade biológica, alguns estudos encontraram aumento dos valores relativos do $VO_{2\text{pico}}$ (ARMSTRONG et al., 1998). Em relação à resposta de lactato sangüíneo ao exercício, as crianças parecem apresentar uma menor concentração deste metabólito durante o esforço submáximo (ERIKSSON et al., 1973) e máximo (TANAKA; SHINDO, 1985). Este comportamento tem sido atribuído ao maior número de mitocôndrias, maior fluxo sangüíneo e maior estoque intramuscular de triglicerídeos obtidos em crianças quando comparados aos adultos (ERIKSSON et al., 1973). Estes menores valores de lactato durante o exercício submáximo fazem com que indivíduos jovens atinjam o LL (ponto de inflexão na curva lactato-intensidade) e o LAn (intensidade correspondente a 4 mM de lactato sangüíneo) em uma intensidade relativa ($\%VO_{2\text{pico}}$) maior do que em adultos (ARMSTRONG; WELSMAN, 1994).

Além dos efeitos da idade, o $VO_{2\text{pico}}$ e o LL parecem depender, pelo menos em adultos, do modo de exercício (CAPUTO et al., 2003; CAPUTO; DENADAI, 2004). Recentemente, Caputo e Denadai (2004) verificaram em indivíduos sedentários, que o $VO_{2\text{pico}}$ e o LL expresso de forma relativa ($\%VO_{2\text{pico}}$) foram maiores na corrida do que no ciclismo. No ciclismo, as

contrações musculares de características isométricas (BIJKER et al., 2001), parecem modificar o retorno venoso e o ajuste do fluxo sanguíneo muscular, podendo reduzir a oferta de oxigênio acarretando um maior recrutamento de fibras do tipo II. Em crianças, poucos estudos analisaram os possíveis efeitos do modo de exercício no $VO_{2\text{pico}}$. Boileau et al. (1977) analisando meninos de 11-14 anos e Armstrong et al. (1991) estudando meninos e meninas de 11-15 anos, encontraram valores de $VO_{2\text{pico}}$ entre 8 e 11% maiores na esteira rolante (ER) do que na bicicleta ergométrica (BE). Nestes estudos, entretanto, as possíveis interações entre modo de exercício e idade biológica não foram estudadas, já que os indivíduos foram analisados apenas com base na idade cronológica. Este aspecto pode ser importante, pois como já apontado anteriormente, os valores de $VO_{2\text{pico}}$ (absolutos e relativos) parecem depender da idade cronológica e biológica (ARMSTRONG; WELSMAN, 1994; ARMSTRONG et al., 1998). Além disso, para o nosso conhecimento nenhum estudo investigou os eventuais efeitos do modo de exercício na resposta de lactato sanguíneo nesta população. Baseado nas características metabólicas que as crianças apresentam durante o exercício submáximo (maior potencial oxidativo) e nos possíveis mecanismos que explicam as diferenças no LL e LAn entre os modos de exercício (menor eficiência e fluxo sanguíneo muscular no ciclismo), pode-se hipotetizar que em crianças estas diferenças na resposta de lactato ao exercício possam no mínimo ser atenuadas em comparações com os adultos. A análise dos efeitos do modo de exercício no $VO_{2\text{pico}}$ e na resposta de lactato em crianças, além de permitir o entendimento dos mecanismos que explicam as diferenças nas respostas fisiológicas nos dois ergômetros, pode

auxiliar os profissionais de saúde que trabalham com a população pediátrica nas áreas de crescimento e desenvolvimento e medicina do exercício com objetivos de promoção de saúde, reabilitação e investigação clínica. Deste modo, o objetivo central deste estudo foi analisar os efeitos do modo de exercício (ER x BE) sobre os índices relacionados com a aptidão aeróbia ($VO_{2\text{pico}}$ e resposta de lactato ao exercício) em crianças do gênero masculino com idade de 11-12 anos.

Material e Métodos

Sujeitos

Participaram deste estudo 20 crianças aparentemente saudáveis do gênero masculino (idade = $11,48 \pm 0,41$ anos; massa corporal = $41,38 \pm 10,45$ kg; estatura = $147,45 \pm 6,56$ cm), com níveis de maturação sexual 1 e 2 (pilosidade pubiana) determinado de acordo com o modelo proposto por Tanner (1962). A partir da aplicação de um questionário, verificou-se que as crianças participavam regularmente das aulas de Educação Física Escolar, além de realizarem outras práticas com carga horária de aproximadamente três horas semanais (APÊNDICE I). Porém, nenhum dos participantes se encontrava inserido em programas de treinamento competitivo de qualquer espécie. Cada participante foi informado sobre os procedimentos do experimento e suas implicações, tendo juntamente com seu responsável legal, assinado um termo de consentimento para a participação no estudo (ANEXO I). O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição onde o experimento foi realizado (Ofício CEP 22/2004, ANEXO II).

Delineamento experimental

As crianças realizaram três visitas ao Laboratório de Avaliação da *Performance Humana*, UNESP – Rio Claro, SP. A primeira visita foi destinada à realização de testes preliminares para que a criança se adaptasse aos ergômetros e também para as mensurações da massa corporal, estatura e determinação do nível maturacional. A segunda e a terceira visitas foram destinadas à realização dos testes incrementais para a determinação do LL e do $VO_{2\text{pico}}$ na ER e BE. Estes dois protocolos foram feitos em ordem aleatória.

Teste incremental na esteira rolante

O teste incremental de corrida foi realizado em uma esteira rolante (Imbramed Millenium Super ATL, Porto Alegre, Brasil). A velocidade inicial foi de cinco km/h com incrementos de um km/h a cada três minutos, sendo mantida uma inclinação constante durante todo o teste equivalente a 1%. Entre cada estágio houve uma pausa de 30 segundos para a coleta de 25 μ l de sangue do lóbulo da orelha para análise da concentração de lactato sanguíneo e a mensuração da frequência cardíaca (FC) através de um freqüencímetro (Polar Electro, Kempele, Finland). O teste foi mantido até a exaustão voluntária, sendo os participantes encorajados verbalmente a se manterem em exercício pelo maior tempo possível.

Teste incremental em bicicleta ergométrica

O teste incremental no ciclismo foi realizado em uma bicicleta ergométrica de frenagem mecânica (Monark, São Paulo, Brasil), com a carga

inicial de 30 W e aumento de 30 W a cada três minutos, com uma cadência de 60 rpm. Antes do aumento da carga, sem pausa, foram coletados 25µl de sangue do lóbulo da orelha para análise da concentração de lactato sangüíneo e a mensuração da FC. O teste foi mantido até a exaustão voluntária, sendo os participantes encorajados verbalmente a se manterem em exercício pelo maior tempo possível, podendo ainda ser interrompido caso não fosse mantida a cadência estabelecida.

Determinação do $VO_{2\text{pico}}$ e LL

As variáveis cardiorrespiratórias foram medidas utilizando um analisador de gases (Cosmed K4b², Roma, Itália), coletando dados respiração a respiração. Antes de cada teste os sistemas de análise do O₂ e CO₂ foram calibrados usando o ar ambiente e um gás com concentrações conhecidas de O₂ e CO₂, enquanto a turbina bi-direcional (medidor de fluxo) foi calibrada usando uma seringa de 3-L (Cosmed K4b², Roma, Itália). Os dados foram reduzidos a médias com intervalos de 15 segundos e o maior valor obtido durante os testes, dentro desses intervalos, foi aceito como o $VO_{2\text{pico}}$. As concentrações de lactato sangüíneo (YSL 2300 STAT, Yellow Springs, Ohio, USA) foram plotadas em função da velocidade (ER) ou da potência (BE), sendo considerado o LL a intensidade de exercício onde ocorreu o primeiro e sustentado aumento da concentração de lactato acima das concentrações de repouso.

Análise estatística

Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão (DP). A comparação das variáveis submáximas e máximas obtidas nos dois ergômetros foi feita através do teste *t Student* para dados pareados. O nível de significância adotado foi de $p \leq 0,05$.

Resultados

A tabela 6.1 apresenta os valores médios \pm DP do $VO_{2\text{pico}}$ em valores absolutos e relativos à massa corporal, lactato pico (Lac_{pico}), frequência cardíaca máxima (FC_{max}), velocidade máxima ou potência máxima atingida ($Intensidade_{\text{máx}}$), razão de troca respiratória (R) e ventilação pulmonar (VE) verificados nos testes incrementais na ER e BE. Os valores de $VO_{2\text{pico}}$ e FC_{max} foram significativamente maiores na ER do que na BE ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa no Lac_{pico} , R e VE ($p > 0,05$).

Tabela 6.1 - Valores médios \pm DP do consumo pico de oxigênio em valores absolutos e relativos à massa corporal ($VO_{2\text{pico}}$), lactato pico (LaC_{pico}), frequência cardíaca máxima (FC_{max}), velocidade máxima ou potência máxima atingida ($\text{Intensidade}_{\text{max}}$), razão de troca respiratória (R) e ventilação pulmonar (VE) verificados nos testes incrementais em esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE). N = 20

	ER	BE
$VO_{2\text{pico}}$ (l/min)	$1,85 \pm 0,44$	$1,73 \pm 0,29^*$
$VO_{2\text{pico}}$ (ml/kg/min)	$45,16 \pm 5,98$	$42,93 \pm 7,51^*$
LaC_{pico} (mM)	$4,01 \pm 2,40$	$4,97 \pm 2,01$
FC_{max} (bpm)	196 ± 6	$187 \pm 9^*$
$\text{Intensidade}_{\text{max}}$	$10,85 \pm 1,31^a$	$113,5 \pm 18,14^b$
R	$1,04 \pm 0,07$	$1,05 \pm 0,10$
VE (l/min)	$70,33 \pm 12,56$	$68,27 \pm 14,40$

* $p < 0,05$ em relação à ER; ^a valores expressos em km/h; ^b valores expressos em Watts

A tabela 6.2 apresenta os valores médios \pm DP do VO_2 , $\%VO_{2\text{pico}}$, Intensidade, FC e $\%FC_{\text{max}}$ referentes ao LL obtidos durante os testes incrementais na ER e na BE. Os valores de VO_2 , $\%VO_{2\text{pico}}$, FC e $\%FC_{\text{max}}$ referentes ao LL foram significativamente maiores na ER do que na BE ($p < 0,05$).

Tabela 6.2 - Valores médios \pm DP do consumo de oxigênio (VO_2), percentual do consumo de oxigênio de pico ($\%VO_{2\text{pico}}$), intensidade, frequência cardíaca (FC) e percentual da frequência cardíaca máxima ($\%FC_{\text{max}}$) referentes ao limiar de lactato (LL) obtidos durante os testes incrementais em esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE). N = 20

	ER	BE
VO_2 (ml/kg/min)	31,82 \pm 10,09	25,19 \pm 7,36*
$\%VO_{2\text{pico}}$	69,83 \pm 16,63	58,96 \pm 14,55*
Intensidade	6,70 \pm 1,63 ^a	48,00 \pm 15,08 ^b
FC (bpm)	150 \pm 17	131 \pm 12*
$\%FC_{\text{max}}$	76,71 \pm 9,67	70,20 \pm 7,03*

* $p < 0,05$ em relação à ER; ^a valores expressos em km/h; ^b valores expressos em Watts

Discussão

O objetivo central deste estudo foi comparar os valores de $VO_{2\text{pico}}$ e LL em crianças do gênero masculino na corrida e no ciclismo. Nosso principal achado foi que, similar ao encontrado em adultos (CAPUTO et al., 2003; CAPUTO; DENADAI, 2004), meninos com idades entre 11 e 12 anos e idades biológicas similares, apresentam maiores valores de $VO_{2\text{pico}}$, FC_{max} e LL ($\%VO_{2\text{pico}}$) na corrida do que no ciclismo.

Com relação ao efeito do modo de exercício em parâmetros máximos, nossos dados concordam com os dados obtidos por Caputo e Denadai (2004) em indivíduos adultos, no qual o $VO_{2\text{pico}}$ foi maior (15,6%) na corrida do que no ciclismo. Acredita-se que os menores valores de $VO_{2\text{pico}}$ encontrados no ciclismo possam ser em parte explicados pela maior tensão muscular dos membros inferiores, que na maior parte da trajetória do movimento, estão se contraindo com algum grau de isometria, podendo diminuir o fluxo sanguíneo para os músculos em atividade e conseqüentemente, ocasionar maior exigência do metabolismo anaeróbio e do recrutamento das fibras do tipo II (BOILEAU et al., 1977). Além disso, este modo de exercício parece exigir uma

menor quantidade de massa muscular predominantemente ativa (BOILEAU et al., 1977). Na corrida, as contrações são mais dinâmicas, existindo a presença do ciclo alongamento-encurtamento, com uma participação significativa da contração excêntrica no amortecimento no solo e no armazenamento de energia elástica, o que pode favorecer o fluxo sanguíneo periférico, particularmente durante o esforço máximo (VAN INGEN SCHENAU et al., 1997).

Da mesma forma do que em adultos, Boileau et al. (1977) verificaram em nadadores de 11-14 anos, maiores valores de VO_{2pico} na corrida do que no ciclismo (7,4-7,9%). Em outro estudo, Armstrong e Davies (1981) também encontraram em nadadores de 14 anos, uma diferença de 9% nos valores de VO_{2pico} da corrida em relação ao ciclismo. Em nosso estudo, onde foram estudadas crianças de 11-12 anos, a diferença do VO_{2pico} entre os modos de exercício foi aparentemente menor (4,9%) do que nos estudos citados anteriormente e aos estudos conduzidos em adultos (CAPUTO et al., 2003; CAPUTO; DENADAI, 2004). Estes dados nos permitem hipotetizar que a diferença no VO_{2pico} entre os dois modos de exercício é aumentada com o avanço da idade cronológica. Neste sentido, é possível que a menor resistência periférica e a maior eficiência do sistema oxidativo que as crianças apresentam, atenuem os mecanismos que determinam um maior efeito do modo de exercício no VO_{2pico} em adultos.

Apesar da diferença encontrada no VO_{2pico} , outros parâmetros utilizados na determinação do esforço máximo durante o teste incremental (R, VE e Lac_{pico}) foram similares entre os modos de exercício. Este comportamento

sugere que a diferença no $VO_{2\text{pico}}$ entre os modos de exercício, não ocorreu em função das crianças não terem atingido o esforço máximo no ciclismo. Salienta-se apenas a ocorrência de uma menor FC_{max} no ciclismo, fenômeno também observado em crianças (BOILEAU et al., 1977) e adultos (CAPUTO et al., 2005). Assim, o uso de determinadas regressões (p.ex., $FC_{\text{max}} = 220 - \text{idade}$, ou $FC_{\text{max}} = 208 - 0,7 \times \text{idade}$) (TANAKA et al., 2001) para se estimar indiretamente a FC_{max} na BE em crianças, deveria se feita com cautela. Utilizando-se estas equações, aumenta-se potencialmente o erro de predição do $\%FC_{\text{max}}$, e conseqüentemente, da intensidade de exercício a ser realizada. Recomenda-se deste modo que, existindo necessidade de um nível de precisão elevada e as condições permitirem (condições clínicas, disponibilidade de tempo e equipamentos), a FC_{max} deveria ser determinada diretamente para cada criança.

Em nosso estudo, a resposta de lactato ao exercício foi caracterizada pela determinação do LL (ponto de inflexão da curva lactato x intensidade). Embora este critério possa sofrer crítica quanto a sua objetividade, muitos autores sustentam a sua utilização em crianças, ao invés de determinadas concentrações fixas de lactato (p.ex., intensidade correspondente a 4 mM) (ARMSTRONG; WELSMAN, 1994). O LL além de individualizar melhor a resposta de lactato durante o exercício incremental, não está sujeito a uma importante crítica da utilização da concentração fixa de 4 mM, pois muitas crianças (15% - 35%), assim como observado em nosso estudo, não atingem esta concentração no $VO_{2\text{pico}}$ (ARMSTRONG; WELSMAN, 1994). Os valores de LL ($\%VO_{2\text{pico}}$) encontrados em nosso estudo (BE = 58%; ER = 69%) são bem

semelhantes aos encontrados em outros estudos realizados em crianças na corrida (ATOMI et al., 1986) e ciclismo (FAWKNER; ARMSTRONG, 2004).

Semelhante ao verificado em adultos, o LL ($\%VO_{2\text{pico}}$) em crianças também é dependente do modo de exercício (ER x BE) (CAPUTO et al., 2003; CAPUTO; DENADAI, 2004). Com isso, similar ao observado para o $VO_{2\text{pico}}$, o maior potencial oxidativo das crianças, não parece ser suficiente para modificar os mecanismos que influenciam as diferentes respostas de lactato em adultos nestes dois modos de exercício. Este aspecto pode ter importantes implicações práticas, já que se um exercício for realizado na mesma intensidade absoluta (FC ou VO_2) ou relativa ($\%FC_{\text{max}}$ ou $\%VO_{2\text{pico}}$) nos dois ergômetros, as respostas metabólicas, hormonais e o tempo máximo de exercício, são potencialmente diferentes. Este aspecto foi recentemente observado por Lazaar et al. (2004), que verificaram que a percepção de esforço foi maior na BE do que no ER em crianças de 8 a 11 anos, durante um exercício submáximo realizado na mesma FC.

Com base nestes dados, pode-se concluir que em meninos com idades entre 11 e 12 anos e idades biológicas similares, o $VO_{2\text{pico}}$ e o LL ($\%VO_{2\text{pico}}$) são dependentes do modo de exercício, pelo menos quando são comparados na corrida e no ciclismo.

Referências Bibliográficas

ARMSTRONG, N.; DAVIES, B. An ergometric analysis of age group swimmers. **Br J Sports Med**, v. 15, p. 20-16, 1981.

ARMSTRONG, N. et al. The peak oxygen uptake of British children with reference to age, sex and sexual maturity. **Eur J Appl Physiol**, v. 62, p. 369-375, 1991.

ARMSTRONG, N.; WELSMAN, J.R. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. In: Hollozy JO. (ed) **Exerc Sport Sci Rev**, Baltimore, MD: Williams; Wilkins, p.435-476, 1994.

ARMSTRONG, N.; WELSMAN, J.R, Kirby B. Peak oxygen uptake and maturation in 12-yr olds. **Med Sci Sports Exerc**, v. 30, p. 165-169, 1998.

ASTRAND, P.O. **Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age**. Copenhagen: Munksgaard, 1952.

ATOMI, Y. et al. Daily physical activity levels in preadolescent boys related to VO₂max and lactate threshold. **Eur J Appl Physiol**, v. 55, p.156-161, 1986.

BIJKER, K.E. et al. Delta efficiencies of running and cycling. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, p. 1546-1551, 2001.

BOILEAU, R.A. et al. Maximal aerobic capacity on the treadmill and bicycle ergometer of boys 11-14 years of age. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 17, p. 153-162, 1977.

CAPUTO, F. et al. Indexes of power and aerobic capacity obtained in cycle ergometry and treadmill running: Comparisons between sedentary, runners, cyclists and triathletes. **Rev Bras Med Esporte**, v. 9, p. 231-237, 2003

CAPUTO, F.; DENADAI, B.S. Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 93, p. 87-95, 2004.

CAPUTO, F. et al. Efeitos do estado e especificidade do treinamento aeróbio na relação %VO₂max versus %FCmax durante o ciclismo. **Arq Bras Cardiol**, v. 84, p. 20-23, 2005.

DENADAI, B.S. **Índices de avaliação aeróbia. Implicações práticas.** Ribeirão Preto: BSD, 1999.

ERIKSSON, B.O. et al. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. **Acta Physiol Scand**, v. 87, p. 485-497, 1973.

FAWKNER, S.G.; Armstrong, N. Longitudinal changes in the kinetic response to heavy-intensity exercise in children. **J Appl Physiol**, v. 97, p. 460-466, 2004.

LAZAAR, N. et al. Modalities of submaximal exercises on ratings of perceived exertion by young girls: a pilot study. **Percept Mot Skills**, v. 99, p. 1091-1096, 2004.

TANAKA, H.; SHINDO, M. Running velocity at blood lactate threshold of boys aged 6-15 years compared with untrained and trained young males. **Int J Sports Med**, v. 6, p. 90-94, 1985.

TANAKA, H. et al. Age-predicted maximal heart rate revisited. **J Am Coll Cardiol**, v. 37, p. 153-156, 2001.

TANNER, J.M. **Growth and adolescence.** Oxford: Blackwell, 1962.

VAN INGEN SCHENAU, G.J. et al. Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? **J Appl Biomech**, v.13, p. 389-415,1997.

WILMORE, J.H.; COSTILL, D.L. **Physiology of sport and exercise**. 2nd ed. Champaign, IL.; Human Kinetics, 1999.

7. Artigo original 3

Efeito do modo de exercício sobre a cinética do consumo de oxigênio durante o exercício severo em crianças

Resumo

O objetivo deste estudo foi verificar o efeito do modo de exercício sobre a constante de tempo (τVO_2) e o componente lento (CL) do VO_2 em crianças de 11-12 anos submetidas a exercício no domínio severo. Participaram do estudo 20 meninos aparentemente saudáveis e ativos (idade = $11,48 \pm 0,41$ anos; massa corporal = $41,38 \pm 10,45$ kg; estatura = $147,45 \pm 6,56$ cm), com níveis de maturação sexual 1 e 2 (pilosidade pubiana). As crianças realizaram em diferentes dias na esteira rolante (ER) e na bicicleta ergométrica (BE) os seguintes protocolos: 1) teste incremental para a determinação do consumo de oxigênio de pico ($\text{VO}_{2\text{pico}}$) e do LL e; 2) duas transições de seis minutos em cada ergômetro na intensidade de $75\%\Delta$ [$75\%\Delta = \text{LL} + 0,75 \times (\text{VO}_{2\text{pico}} - \text{LL})$] para a determinação da cinética do VO_2 (τVO_2 e CL). O $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ($45,16 \pm 5,98 \times 42,93 \pm 7,51$ ml/kg/min), o VO_2 expresso em valores relativos à massa corporal ($31,82 \pm 10,09 \times 25,19 \pm 7,36$ ml/kg/min) e ao $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ($69,83 \pm 16,63 \times 58,96 \pm 14,55$ %) e a frequência cardíaca ($150 \pm 17 \times 131 \pm 12$ bpm) correspondentes ao LL foram significativamente maiores na ER do que na BE, respectivamente. O CL expresso em valores absolutos ($165,75 \pm 143,76 \times 95,86 \pm 77,68$ ml/min) e como a contribuição percentual do CL para o aumento do VO_2 no final do exercício ($13,0 \pm 9,0 \times 7,0 \pm 5,0$ %) foi significativamente maior na BE do que na ER, respectivamente. Porém, nenhuma diferença foi observada em relação ao Tau nos dois modos de exercício (ER= $18,83 \pm 4,36 \times \text{BE} = 19,94 \pm 7,57$ seg). Pode-se concluir que, embora as crianças apresentem CL durante o exercício severo em ambos os ergômetros utilizados, na ER este foi consideravelmente menor do que o obtido no BE.

Palavras-chaves: componente lento, crianças, corrida, ciclismo.

Abstract

The objective of this study was to verify the effect of the exercise mode on the time constant (τVO_2) and the SC of the VO_2 in children aged 11 to 12 years during severe exercise. Twenty apparently healthy active boys (age = $11,48 \pm 0,41$ years; body mass = $41,38 \pm 10,45$ kg; height = $147,45 \pm 6,56$ cm), sexual maturation levels 1 and 2 (pubic hair) took part of this study. These children performed in different days on a motorized treadmill (TR) and on a cycle ergometer (CE) the following tests: 1) an incremental test in order to determine the peak oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) and the LT and; 2) a series of square-wave transitions of 6-min duration at $75\%\Delta$ [$75\%\Delta = \text{LT} + 0,75 \times (\text{VO}_{2\text{peak}} - \text{LT})$] in order to determine the VO_2 kinetics (τVO_2 and SC). The $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ($45,16 \pm 5,98$ vs. $42,93 \pm 7,51$ ml/kg/min), VO_2 expressed as relative values to body mass ($31,82 \pm 10,09$ vs. $25,19 \pm 7,36$ ml/kg/min) and $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ($69,83 \pm 16,63$ vs. $58,96 \pm 14,55$ %) and heart rate (150 ± 17 vs. 131 ± 12 bpm) corresponding to LT were significantly higher in TM than in CE, respectively. The SC expressed as absolute values ($165,75 \pm 143,76$ x $95,86 \pm 77,68$ ml/min) and as the percentage contribution of SC to the VO_2 increment at the end of exercise ($12,0 \pm 9,0$ x $7,0 \pm 5,0$ %) was significantly higher in CE than in TM. However, no differences were observed related to τVO_2 (TM = $18,83 \pm 4,36$ vs. CE = $19,94 \pm 7,57$ s) between exercise modes. We can concluded that, although a SC does indeed develop during both exercise mode, during treadmill running in children its magnitude is considerably lower than in cycling ergometer.

Key-words: slow component, children, running, cycling.

Introdução

Os domínios de intensidade de exercício físico são definidos pela sua exigência metabólica. Exercícios realizados até a carga correspondente ao limiar de lactato (LL) são definidos como exercícios de domínio moderado. Exercícios realizados acima do LL, porém abaixo da máxima fase estável de lactato (MLACSS) ou potência crítica (PC), são classificados como pertencentes ao domínio pesado. Acima destes índices (MLACSS ou PC), temos o domínio severo, onde o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) pode ser atingido durante o exercício de carga constante (FAWKNER; ARMSTRONG, 2003).

No início do exercício de domínio severo, o comportamento do consumo de oxigênio (VO_2) apresenta três fases distintas: 1ª fase – cardiodinâmica, onde o aumento do VO_2 ocorre em função principalmente do aumento do trabalho cardíaco (WASSERMAN et al, 1974); 2ª fase – aumento exponencial do VO_2 refletindo mudanças no metabolismo oxidativo muscular e; 3ª fase – caracterizada pela presença do componente lento (CL) que direciona os valores do VO_2 rumo ao seu valor máximo.

O CL, definido como o aumento do VO_2 acima daquele que pode ser predito pela relação VO_2 vs. carga obtida no domínio moderado, tem se mostrado um assunto de grande interesse experimental. Além das implicações teóricas, a compreensão e determinação do CL podem ser bastante importantes na prescrição do exercício, já que alguns autores têm proposto que a tolerância máxima ao esforço realizado no domínio severo ($\sim 80-85\%VO_{2max}$) pode ser dependente do comportamento do CL (JONES; CARTER, 2005). Entre os possíveis mecanismos que podem explicar o surgimento do CL estão o aumento das catecolaminas, da ventilação pulmonar e da temperatura corporal (WILLIS; JACKMAN, 1994). Entretanto, o recrutamento das fibras musculares do tipo II durante o exercício severo, parece ser a hipótese que reúne o maior número de evidências na literatura (POOLE et al., 1991; GAESSER; POOLE, 1996).

Especificamente em crianças e adolescentes, os estudos que procuraram analisar a ocorrência do CL e os fatores que podem determiná-lo, têm produzido dados que são aparentemente antagônicos. Armon et al. (1991) verificaram a ausência da ocorrência do CL do VO_2 em aproximadamente 50% das crianças durante o exercício em cicloergômetro realizado a 50 e 75% Δ (50 e 75% da diferença entre o LL e o VO_{2max} , respectivamente). Além disso, as crianças que desenvolveram o CL mostraram valores estatisticamente menores do que os adultos. Do mesmo modo, Williams et al. (2001) verificaram durante o exercício na esteira rolante realizado a 50% Δ , que o CL expresso em valores absolutos ($288,5 \pm 39,7$ ml/min vs. $18,6 \pm 18,9$ ml/min) e relativos ($8,3 \pm 1,0$ % vs. $0,9 \pm 1,2$ %) ao aumento do VO_2 para a intensidade de exercício realizado

(ganho), foi significativamente maior nos homens do que nos meninos, respectivamente. Por outro lado, Fawkner e Armstrong (2004) utilizando modo (cicloergômetro) e intensidade de exercício (40% Δ) similar ao estudo de Armon et al. (1991), verificaram claramente em meninos de 10,6 anos, a existência do CL (100 ± 6 ml/min; $9,4 \pm 4,6$ %).

Os diferentes métodos para determinar o CL utilizados por Armon et al. (1991) (CL = coeficiente da regressão linear do VO_2 x tempo do 3^o ao 6^o min de exercício) e Fawkner e Armstrong (2004) (CL = modelo exponencial com dois termos) poderiam justificar, em parte, estes dados antagônicos. Confirmando esta possibilidade, Machado et al. (2006) verificaram que os valores de CL em crianças durante o exercício severo (75% Δ) são dependentes dos métodos de análises (modelo matemático com três termos exponenciais x ΔVO_2 entre o 6^o e 3^o min de exercício). Entretanto, os métodos empregados por Williams et al. (2001) e Fawkner e Armstrong (2004) foram similares (modelo exponencial), o que permite hipotetizar que o modo de exercício analisado (corrida x ciclismo, respectivamente), pode influenciar o CL em crianças. De fato em adultos, o CL é significativamente maior no ciclismo (BE) do que na corrida (ER), independente do estado e especificidade de treinamento aeróbio dos indivíduos (JONES; McCONNELL, 1999; CARTER et al., 2000; HILL et al., 2003). Entretanto, para o nosso conhecimento, nenhum estudo analisou os efeitos do modo de exercício sobre o CL em crianças e adolescentes. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi verificar o efeito do modo de exercício (ER x BE) sobre a cinética do consumo de oxigênio em meninos de 11-12 anos submetidos ao exercício no domínio severo.

Material e Métodos

Sujeitos

Participaram deste estudo 20 crianças aparentemente saudáveis do gênero masculino (idade = $11,48 \pm 0,41$ anos; massa corporal = $41,38 \pm 10,45$ kg; estatura = $147,45 \pm 6,56$ cm, percentual de gordura = $17,93 \pm 7,13\%$) com níveis de maturação sexual 1 e 2 (pilosidade pubiana) determinado de acordo com o modelo proposto por Tanner (1962). A partir da aplicação de um questionário, verificou-se que as crianças participavam regularmente das aulas de Educação Física Escolar, além de realizarem outras práticas com carga horária de aproximadamente 3 h/semanais (APÊNDICE I). Porém, nenhum dos participantes se encontrava inserido em programas de treinamento competitivo de qualquer espécie. Cada participante foi informado sobre os procedimentos do experimento e suas implicações, tendo juntamente com seu responsável legal, assinado um termo de consentimento para a participação no estudo (ANEXO I). O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição onde o experimento foi realizado (Ofício CEP 22/2004, ANEXO II).

Delineamento experimental

As crianças realizaram cinco visitas ao Laboratório de Avaliação da Performance Humana, UNESP – Rio Claro, SP. A primeira visita foi destinada à realização de testes preliminares para que a criança se adaptasse aos ergômetros e também para as mensurações da massa corporal, estatura, dobras cutâneas e determinação do nível maturacional. A segunda e a terceira visitas foram destinadas à realização dos testes incrementais para a determinação do LL e do $VO_{2\text{pico}}$ na ER e BE. Estes dois protocolos foram feitos em ordem aleatória, com intervalo mínimo de 24 horas entre cada teste. A quarta e quinta visitas foram destinadas à realização dos testes de carga constante na ER e BE para a caracterização da cinética do VO_2 durante o exercício de intensidade severa ($75\%\Delta$), com intervalo mínimo de 24 horas entre cada teste.

Teste incremental na esteira rolante

O teste incremental na corrida foi realizado em uma esteira rolante (Imbramed Millenium Super ATL, Porto Alegre, Brasil). A velocidade inicial foi de 5 km/h com incrementos de 1 km/h a cada 3 minutos, sendo mantida uma inclinação constante durante todo o teste equivalente a 1% (MACHADO et al., 2002). Entre cada estágio houve uma pausa de 30 segundos para a coleta de 25 μ l de sangue do lóbulo da orelha para análise da concentração de lactato sangüíneo e a mensuração da frequência cardíaca (FC) por meio de um freqüencímetro (Polar Electro, Kempele, Finland). O teste foi mantido até a

exaustão voluntária, sendo os participantes encorajados verbalmente a se manterem em exercício pelo maior tempo possível.

Teste incremental em bicicleta ergométrica

O teste incremental no ciclismo foi realizado em uma bicicleta ergométrica de frenagem mecânica (Monark, São Paulo, Brasil), com a carga inicial de 30 W e aumentos de 30 W a cada 3 minutos, com uma cadência de 60 rpm. Antes do aumento da carga, sem pausa, foram coletados 25µl de sangue do lóbulo da orelha para análise da concentração de lactato sanguíneo e a mensuração da FC. O teste foi mantido até a exaustão voluntária, sendo os participantes encorajados verbalmente a se manterem em exercício pelo maior tempo possível, podendo ainda ser interrompido caso não fosse mantida a cadência estabelecida.

Determinação do $VO_{2\text{pico}}$ e LL

As variáveis cardiorrespiratórias foram medidas utilizando um analisador de gases (Cosmed K4b², Roma, Itália), coletando dados respiração a respiração. Antes de cada teste os sistemas de análise do O₂ e CO₂ foram calibrados usando o ar ambiente e um gás com concentrações conhecidas de O₂ e CO₂, enquanto a turbina bi-direcional (medidor de fluxo) foi calibrada usando uma seringa de 3-L (Cosmed K4b², Roma, Itália). Os dados foram reduzidos a médias com intervalos de 15 segundos e o maior valor obtido durante os testes, dentro desses intervalos, foi aceito como o $VO_{2\text{pico}}$. As concentrações de lactato sanguíneo (YSL 2300 STAT, Yellow Springs, Ohio,

USA) foram plotadas em função da velocidade (ER) ou da potência (BE), sendo considerado o LL a intensidade de exercício onde ocorreu o primeiro e sustentado aumento da concentração de lactato acima das concentrações de repouso; para isto, foi utilizado o critério de inspeção visual (TANAKA; SHINDO, 1985; TANAKA, 1986).

Testes de carga constante – esteira rolante e bicicleta ergométrica

As crianças realizaram um aquecimento de 5 minutos a 50% $VO_{2\text{pico}}$ e após o repouso de 5 minutos, realizaram um exercício com carga constante na intensidade correspondente a 75% Δ . Os participantes realizaram duas transições de exercício nesta carga, com a duração de 6 minutos e intervalo de pelo menos 30 minutos entre cada transição. Amostras de sangue (25 μ l) foram coletadas do lóbulo da orelha imediatamente antes e após o período de 6 minutos de exercício nas duas transições. A diferença entre a concentração de lactato final e inicial foi expressa como um valor delta da concentração de lactato sanguíneo (Δ [La]). A intensidade correspondente a 75% Δ foi determinada como sendo:

$$75\%\Delta = LL + 0,75 \times (VO_{2\text{pico}} - LL) \quad (1)$$

Análise da cinética do VO_2

Para cada transição de exercício, os dados de respiração a respiração do VO_2 foram linearmente interpolados para obter valores com intervalos de 1 segundo. Os dados referentes às duas transições foram alinhados e assim calculadas as médias para os valores do VO_2 com o objetivo de diminuir o

“ruído” e acentuar as características fundamentais das respostas fisiológicas. Técnicas de regressão não linear foram utilizadas para ajustar os dados de VO_2 após o início do exercício com uma função exponencial. Para determinar os parâmetros do melhor ajuste das curvas, foi utilizado um algoritmo não linear dos quadrados mínimos (MatLab, versão 6.5) que adotou a minimização da soma dos erros quadrados como critério de convergência. O modelo matemático foi constituído de três termos, com cada um representando uma fase da resposta. O primeiro termo teve início após o começo do exercício (tempo = 0), enquanto os outros termos iniciaram-se após os tempos de atraso independentes.

$$\begin{aligned}
 VO_2(t) = & VO_{2base} + A_0 \times (1 - e^{-t/\tau_0}) \quad (\text{Fase 1 – componente cardiodinâmico}) \\
 & + A_1 \times (1 - e^{-(t-TA_1)/\tau_1}) \quad (\text{Fase 2 – componente primário}) \quad (2) \\
 & + A_2 \times (1 - e^{-(t-TA_2)/\tau_2}) \quad (\text{Fase 3 – componente lento})
 \end{aligned}$$

Onde: $VO_2(t)$ = consumo de oxigênio do tempo t ; VO_{2base} = consumo de oxigênio no início do teste; A_0 , A_1 e A_2 são as amplitudes assintóticas para os três termos exponenciais; τ_0 , τ_1 e τ_2 são as constantes de tempo; TA_1 e TA_2 são os tempos de atraso. O termo da fase 1 terminou no início da fase 2 (i.e., no TA_1) e foi apontado o valor para o tempo (A'_0)

$$A'_0 = A_0 \times (1 - e^{-TA_1/\tau_0}) \quad (3)$$

O VO_2 no final da fase 1 (A'_0) e a amplitude da fase 2 (A_1) foram somadas para calcular a amplitude da fase 2 (A'_1). A amplitude do componente lento foi determinada como o aumento do VO_2 do TA_2 até o final do exercício

(A'₂), ao invés do valor assintótico (A₂), pois este apresenta freqüentemente valores acima dos limites fisiológicos (BARSTOW et al., 1994). O componente lento foi calculado também em valores relativos.

$$A'_2 \text{ relativo} = A'_2 / (A_1 + A'_2) \times 100 \quad (4)$$

Análise estatística

Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão (DP). A comparação entre os dois ergômetros das variáveis submáximas e máximas obtidas nos testes incrementais e do Tau foi feita através do teste *t Student* para dados pareados. O teste de *Wilcoxon* foi utilizado para comparar os valores do CL do VO₂ (absolutos e relativos) pelos dois diferentes métodos, adotando nível de significância $p \leq 0,05$.

Resultados

A tabela 7.1 apresenta os valores médios \pm DP do $VO_{2\text{pico}}$ em valores absolutos e relativos à massa corporal, lactato pico (Lac_{pico}), frequência cardíaca máxima (FC_{max}), velocidade máxima ou potência máxima atingida ($Intensidade_{\text{máx}}$), razão de troca respiratória (R) e ventilação pulmonar (VE) verificados nos testes incrementais na ER e BE. Os valores de $VO_{2\text{pico}}$ e FC_{max} foram significativamente maiores na ER do que na BE ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa no Lac_{pico} , R e VE ($p > 0,05$).

Tabela 7.1 - Valores médios \pm DP do consumo pico de oxigênio em valores absolutos e relativos à massa corporal ($VO_{2\text{pico}}$), lactato pico (LaC_{pico}), frequência cardíaca máxima (FC_{max}), velocidade máxima ou potência máxima atingida ($\text{Intensidade}_{\text{max}}$), razão de troca respiratória (R) e ventilação pulmonar (VE) verificados nos testes incrementais em esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE). N = 20

	ER	BE
$VO_{2\text{pico}}$ (l/min)	$1,85 \pm 0,44$	$1,73 \pm 0,29^*$
$VO_{2\text{pico}}$ (ml/kg/min)	$45,16 \pm 5,98$	$42,93 \pm 7,51^*$
LaC_{pico} (mM)	$4,01 \pm 2,40$	$4,97 \pm 2,01$
FC_{max} (bpm)	196 ± 6	$187 \pm 9^*$
$\text{Intensidade}_{\text{max}}$	$10,85 \pm 1,31^a$	$113,5 \pm 18,14^b$
R	$1,04 \pm 0,07$	$1,05 \pm 0,10$
VE (l/min)	$70,33 \pm 12,56$	$68,27 \pm 14,40$

* $p < 0,05$ em relação à ER; ^a valores expressos em km/h; ^b valores expressos em Watts

A tabela 7.2 apresenta os valores médios \pm DP do VO_2 , $\%VO_{2\text{pico}}$, intensidade, FC e $\%FC_{\text{max}}$ referentes ao LL obtidos durante os testes incrementais na ER e na BE. Os valores de VO_2 , $\%VO_{2\text{pico}}$, FC e $\%FC_{\text{max}}$ referentes ao LL foram significativamente maiores na ER do que na BE ($p < 0,05$).

Tabela 7.2 - Valores médios \pm DP do consumo de oxigênio (VO_2), percentual do consumo de oxigênio de pico ($\%VO_{2\text{pico}}$), intensidade, frequência cardíaca (FC) e percentual da frequência cardíaca máxima ($\%FC_{\text{max}}$) referentes ao limiar de lactato (LL) obtidos durante os testes incrementais em esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE). N = 20

	ER	BE
VO_2 (ml/kg/min)	31,82 \pm 10,09	25,19 \pm 7,36*
$\%VO_{2\text{pico}}$	69,83 \pm 16,63	58,96 \pm 14,55*
Intensidade	6,70 \pm 1,63 ^a	48,00 \pm 15,08 ^b
FC (bpm)	150 \pm 17	131 \pm 12*
$\%FC_{\text{max}}$	76,71 \pm 9,67	70,20 \pm 7,03*

* $p < 0,05$ em relação à ER; ^a valores expressos em km/h; ^b valores expressos em Watts.

Na tabela 7.3 estão expressos os valores médios \pm DP do $VO_{2\text{pico}}$, FC_{pico} e $IVO_{2\text{max}}$ (valores absolutos e percentuais) expresso em valores percentuais referentes à intensidade de $75\%\Delta$ nos dois modos de exercício (ER e BE).

Tabela 7.3 - Valores médios \pm DP de $VO_{2\text{pico}}$, FC_{pico} e $IVO_{2\text{max}}$ (valores absolutos e percentuais) expresso em valores percentuais referentes à intensidade de $75\%\Delta$ obtidos na esteira rolante (ER) e bicicleta ergométrica (BE). N=20

	ER	BE
% $VO_{2\text{pico}}$	92,38 \pm 4,03	89,23 \pm 3,83
% FC_{pico}	95,76 \pm 5,41	95,20 \pm 7,61
$IVO_{2\text{max}}$	9,00 \pm 1,23 ^a	94,31 \pm 16,98 ^b
% $iVO_{2\text{max}}$	83,04 \pm 6,35	83,20 \pm 8,42

^a valores expressos em km/h; ^b valores expressos em Watts.

A tabela 7.4 mostra os valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do VO_2 derivados da análise de três termos exponenciais e o Δ [La] para os dois modos de exercício (ER x BE). Os valores de A'_0 , A'_1 e $VO_{2\text{final}}$ foram significativamente maiores na ER do que na BE. Por outro lado, os valores de TA_2 , CL (A'_2 e $\%A'_2$) e Δ [La] foram significativamente maiores na BE do que na ER.

As correlações entre o Δ [La] e o CL (A'_2 e $\%A'_2$) foram estatisticamente significantes na ER ($r = 0,66$; $r = 0,61$), mas não na BE ($r = 0,05$; $r = 0,05$), respectivamente.

Tabela 7.4 - Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética derivados da análise de três exponenciais para o exercício realizado na bicicleta ergométrica (BE) e esteira rolante (ER). N =20

Parâmetros	BE	ER
A' ₀ (ml/min)	219,42 \pm 150,34*	282,59 \pm 168,02
TA ₁ (seg)	16,65 \pm 6,49	16,21 \pm 5,65
A' ₁ (ml/min)	1022,15 \pm 194,73*	1159,12 \pm 297,59
Tau ₁ (seg)	19,94 \pm 7,57	18,83 \pm 4,36
TA ₂ (seg)	156,23 \pm 50,85*	114,08 \pm 47,55
Tau ₂ (seg)	171,54 \pm 109,27	159,73 \pm 131,19
A' ₂ (ml/min)	165,75 \pm 143,76*	95,86 \pm 77,68
%A' ₂	13,0 \pm 9,0*	7,0 \pm 5,0
VO ₂ final (ml/min)	1187,90 \pm 261,54*	1256,74 \pm 338,74
Δ [La] (mM)	3,16 \pm 0,45*	1,31 \pm 0,42

Tau₁ e Tau₂ constantes de tempo; TA₁ e TA₂ tempos de atraso; A'₀ é o VO₂ no final da fase 1; A'₁ somatória do VO₂ no final da fase 1 (A'₀) e a amplitude da fase 2 (A₁); A'₂ e % A'₂ aumento do consumo até o final do exercício em valores absolutos e relativos, respectivamente (componente lento); VO₂final variação total do consumo de oxigênio; Δ [La] variação do lactato sanguíneo. *p < 0,05 em relação a ER.

A figura 7.1 exemplifica a resposta do VO_2 de um sujeito durante as duas transições de exercício a 75% Δ durante corrida em BE e ER.

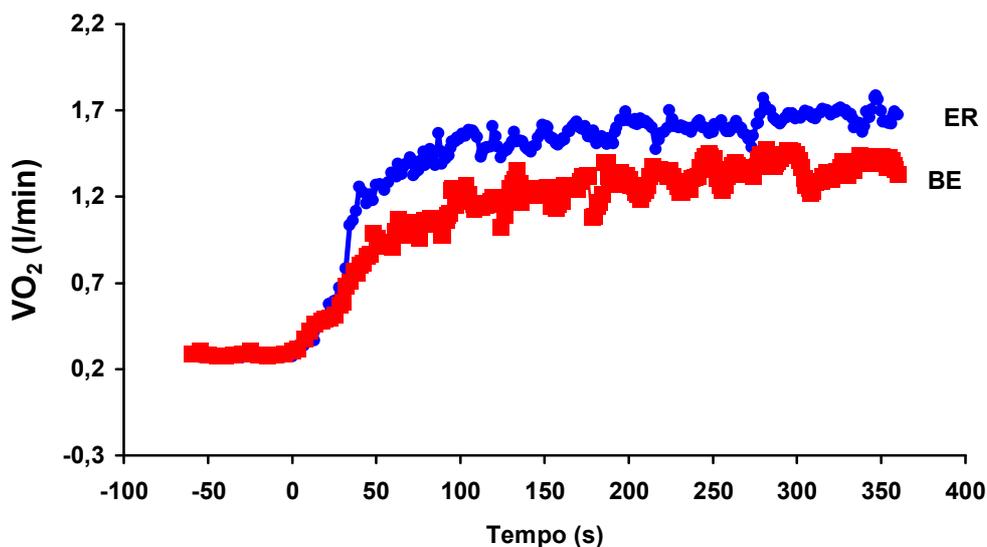


Figura 7.1 - Resposta do consumo de oxigênio (VO_2) de um sujeito durante as duas transições de exercício a 75% Δ durante corrida em bicicleta ergométrica (BE) e esteira rolante (ER).

Na figura 7.2 temos os valores médios do CL (valores absolutos e relativos) obtidos durante exercício em BE e ER na intensidade de 75% Δ .

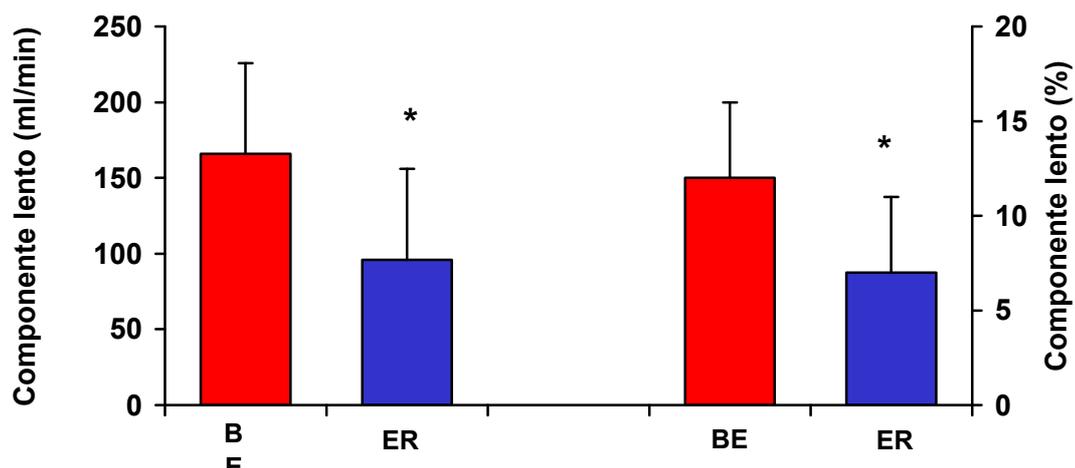


Figura 7.2 - Valores médios (\pm DP) do componente lento (CL) expresso em valores absolutos e relativos obtidos durante exercício na bicicleta ergométrica (BE) e esteira rolante (ER) na intensidade de 75% Δ .

* $p < 0,05$ em relação a BE.

Discussão

O principal objetivo deste estudo foi verificar o efeito do modo de exercício (ER x BE) sobre a cinética do VO_2 em meninos de 11-12 anos submetidos a exercício no domínio severo. Similar ao encontrado em adultos com diferentes níveis de aptidão aeróbia (JONES; McCONNELL, 1999; CARTER et al., 2000; HILL et al., 2003), crianças de mesma faixa etária e nível maturacional, apresentam CL significativamente maior na BE do que na ER.

Em relação à potência aeróbia, nossos dados estão de acordo com os reportados por Boileau et al. (1977) que verificaram em nadadores de 11-14 anos, maiores valores de VO_{2pico} na corrida do que no ciclismo (7,4 - 7,9%). Em outro estudo, Armstrong e Davies (1981) também encontraram em nadadores de 14 anos, uma diferença de 9% nos valores VO_{2pico} da corrida em relação ao ciclismo. Em nosso estudo, onde foram estudadas crianças de 11-12 anos, a diferença do VO_{2pico} entre os modos de exercício foi aparentemente menor (4,9%) do que nos estudos citados anteriormente e aos estudos conduzidos em adultos (9-12%) (CAPUTO et al., 2003; CAPUTO; DENADAI, 2004), sugerindo um possível efeito da idade sobre os mecanismos que determinam as diferenças na potência aeróbia entre os modos de exercício. Do mesmo

modo verificamos que o LL ($\%VO_{2\text{pico}}$) em crianças também se mostra dependente do modo de exercício (ER x BE). Com isso, o maior potencial oxidativo das crianças, não parece ser suficiente para modificar os mecanismos que influenciam as diferentes respostas de lactato que os adultos também apresentam nestes dois modos de exercício (CAPUTO; DENADAI, 2004).

Em relação à cinética do VO_2 , nossos resultados corroboram os encontrados por Fawkner e Armstrong (2004) que utilizando um modelo exponencial com dois termos, claramente identificaram a ocorrência do CL (100 ± 60 ml/min e $9,4 \pm 4,6$ %), em crianças com idades entre 10 e 11 anos submetidas a um protocolo de exercício acima do LL ($40\%\Delta$) de cargas constantes em cicloergômetro. Por outro lado, nossos resultados são diferentes dos obtidos por Armon et al. (1991) que verificaram a ausência da ocorrência do CL do VO_2 na maioria das crianças analisadas durante o exercício de carga constante no cicloergômetro. Armon et al. (1991) utilizaram em seu estudo um modelo de análise monoexponencial para a determinação do CL, considerando que este modelo apresentou relação linear bastante consistente (73%) com a análise do aumento do VO_2 entre o terceiro e o sexto minuto de exercício. Assim, pode-se hipotetizar inicialmente, que as discordâncias entre os estudos conduzidos em crianças de 10 a 11 anos durante exercício em cicloergômetro, podem ser explicadas, pelo menos em parte, pelos diferentes modelos de análise do CL.

Billat et al. (1998) caracterizaram o CL como a diferença no VO_2 entre o terceiro e o sexto minuto (ΔVO_2 6-3 minutos) de exercício de intensidade pesada, assumindo que próximo e a partir desse momento, é possível observar

o aparecimento do CL. A partir disso, alguns estudos utilizaram o critério do intervalo de tempo 6-3 minutos para estimar a magnitude do CL (BOHNERT et al., 1998; WOMACK et al., 2000). No entanto, modelos matemáticos mais robustos têm demonstrado que o CL do VO_2 tem início antes do terceiro minuto de exercício, levando a crer que a determinação pelo método ΔVO_2 6-3 minutos pode subestimar os valores reais deste parâmetro em adultos. Machado et al. (2006) em estudo realizado com crianças de 11-12 anos exercitados em esteira rolante sob intensidade severa, verificaram que o modelo de análise (modelo matemático com três termos exponenciais x modelo ΔVO_2 6-3 min), pode modificar a caracterização do CL, com o modelo ΔVO_2 6-3 minutos provavelmente subestimando a sua magnitude. No referido estudo, este comportamento pode ser claramente explicado, quando se verifica que o início do CL ocorreu após aproximadamente 2 minutos de exercício ($\text{TA}_2 = 129$ seg), antes, portanto do tempo utilizado no modelo ΔVO_2 6-3.

Por outro lado, Williams et al. (2001) e Fawkner e Armstrong (2004) obtiveram valores de CL durante a corrida ($18,6 \pm 18,9$ ml/min e $0,9 \pm 1,2$ %) e o ciclismo (100 ± 60 ml/min e $9,4 \pm 4,6$ %) respectivamente, que foram aparentemente diferentes, embora tenham empregado intensidades (40 – 50 % Δ) e métodos de análise (modelo exponencial) similares. Deste modo, seria possível hipotetizar que o modo de exercício analisado (corrida x ciclismo, respectivamente), pode influenciar o CL em crianças. De fato, nós observamos que os valores de CL (absoluto e relativo) obtidos na ER foram significativamente menores do que na BE. Como em adultos, este comportamento foi verificado em grupos com diferentes níveis de aptidão

aeróbia (sedentários, ciclistas e triatletas) (JONES; McCONNELL, 1999; CARTER et al., 2000; HILL et al., 2003), os mecanismos que determinam um maior CL no ciclismo, não parecem depender da idade e do estado de treinamento aeróbio.

Os mecanismos que determinam a existência do CL ainda estão para ser melhor definidos, embora seja amplamente aceito que o custo adicional de O_2 tem sua origem na musculatura primariamente empregada no exercício. Este custo adicional de O_2 parece ocorrer mais em função do aumento do consumo de ATP para gerar maior força muscular, do que ao aumento do custo de O_2 para a produção de ATP (ROSSITER et al., 2002). Este comportamento pode ocorrer em função do aumento do recrutamento de fibras com baixa eficiência oxidativa (tipo II) e/ou a um aumento progressivo do recrutamento de fibras mais eficientes sob o ponto de vista oxidativo. Com isso, alguns autores têm proposto que durante o ciclismo ocorreria um maior recrutamento das fibras do tipo II, determinando assim um maior CL neste modo de exercício. Isto poderia ocorrer em parte pelos diferentes tipos de contrações musculares predominantes na corrida e ciclismo. No ciclismo há predomínio da contração concêntrica, enquanto na corrida aproximadamente 34 % do tempo para se gerar uma passada, envolve a contração excêntrica. Além de ser mais eficiente metabolicamente, a contração excêntrica armazena energia para ser utilizada durante a fase concêntrica, podendo aumentar a força para um dado impulso neural. Portanto, estes diferentes regimes de contração muscular, poderiam reduzir o recrutamento das fibras do tipo II durante a corrida quando comparado com o ciclismo realizado na mesma intensidade relativa (i.e., 75 %

Δ). Deve-se enfatizar que a idade não parece modificar as diferentes repostas do CL observadas na BE e ER.

Alguns estudos apontam que a ocorrência e magnitude do CL estariam relacionadas ao acúmulo de lactato durante o exercício severo (CASABURI et al., 1987; ROSTON et al., 1987). De fato, nós verificamos que os valores médios de $\Delta[\text{La}]$ obtidos durante as duas transições de exercício na ER ($1,31 \pm 0,42$ mM) e BE ($3,16 \pm 0,45$ mM), foram significativamente diferentes, o que poderia justificar o maior CL durante a BE. Entretanto, foi observada correlação significativa entre $\Delta[\text{La}]$ e CL apenas na ER. Billat et al. (1998) também não verificaram correlação significativa entre as variáveis associadas ao CL e o lactato sangüíneo durante exercício em esteira e bicicleta. Em crianças, uma das hipóteses apontadas para a ausência e/ou pequena magnitude do CL do VO_2 durante exercício severo, seria em razão das mesmas apresentarem menores concentrações de lactato sangüíneo em relação aos adultos (ARMON et al., 1991). Nossos valores médios de $\Delta[\text{La}]$ obtidos durante as duas transições de exercício em ER e BE são menores do que os valores encontrados por Carter et al. (2000) em adultos ($4,0 \times 5,3$ mM, respectivamente), embora tenhamos observado a ocorrência do CL. Estes dados analisados em conjunto, podem sugerir que a relação entre acúmulo de lactato e ocorrência do CL possa não existir, e ser na verdade coincidente e não causal como já observado por alguns autores (BILLAT et al., 1998; SCHNEIDER et al., 2002).

Sendo assim, concluímos que, como observado em adultos, o CL pode ser observado em crianças de 11-12 anos submetidas a exercício de intensidade severa mostrando-se dependente do modo de exercício.

Referências Bibliográficas

ARMON, Y. et al. Oxygen uptake dynamics during high-intensity exercise in children and adults. **J Appl Physiol**. v. 70, p. 841-848, 1991.

ARMSTRONG, N.; DAVIES, B. An ergometric analysis of age group swimmers. **Br J Sports Med**, v. 15, p. 20-26, 1981.

BILLAT, V. et al. The VO_2 slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. **J Appl Physiol**, v. 85, p. 2118-2124, 1998.

BOHNERT, B. et al. Effects of prior arm exercise on pulmonary gas exchange kinetics during high-intensity leg exercise in humans. **Exp. Physiol**, v. 83, p. 557-570, 1998.

CAPUTO F. et al. Indexes of power and aerobic capacity obtained in cycle ergometry and treadmill running: Comparisons between sedentary, runners, cyclists and triathletes. **Rev Bras Med Esporte**, v. 9, p. 231-237, 2003.

CAPUTO, F.; DENADAI, B.S. Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 93, p.87-95, 2004.

CARTER, H. et al. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. **J Appl Physiol**. v. 89, p. 899-907, 2000.

CASABURI, R. et al. Effect of endurance training on possible determinants of VO_2 during heavy exercise. **J Appl Physiol**, v. 62, p. 199-207, 1987.

FAWKNER, S.G.; ARMSTRONG, N. Oxygen uptake kinetic response to exercise in children. **Sports Med**, v. 33, p. 651-669, 2003.

FAWKNER, S.G.; ARMSTRONG, N. Sex differences in the oxygen uptake kinetic response to heavy-intensity exercise in prepubertal children. **Eur J Appl Physiol**, v. 93, p. 210-216, 2004.

GAESSER, G.A.; POOLE, D.C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 24, p.35-71, 1996.

HILL, D.W. et al. Oxygen uptake kinetics during severe intensity running and cycling. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, p. 612-618, 2003.

JONES, A.M.; McCONNELL, A.M. Effect of exercise modality on oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 80, p. 213-219, 1999.

JONES, A.M.; CARTER, H. Oxygen uptake dynamics: from muscle to mouth - an introduction to the symposium. **Med Sci Sports Exerc**, v. 37, p.1542-1550, 2005.

MACHADO, F.A. et al. Velocidade de corrida associada ao consumo máximo de oxigênio em meninos de 10 a 15 anos. **Rev Bras Med Esporte**, v. 8, p. 1-6, 2002.

MACHADO, F.A. et al. Componente lento do VO_2 em crianças durante exercício severo de corrida: análise com base em diferentes modelos matemáticos. **Rev Bras Med Esporte**, v. 12, p. 308-312, 2006.

POOLE, D.C. et al. Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **J Appl Physiol**, v. 71, p. 1245-1253, 1991.

ROSSITER, H.B. et al. Dynamics of intramuscular ^{31}P -MRS Pi peak splitting and the slow components of PCr and O_2 uptake during exercise. **J Appl Physiol**, v. 93, p. 2059-2069, 2002.

ROSTON, W.L. et al. Oxygen uptake kinetics and lactate concentrations during exercise in humans. **Am Rev Respir Dis**, v. 135, p. 1080-1084, 1987.

SCHNEIDER, D.A. et al. Oxygen uptake and heart rate kinetics during heavy exercise: a comparison between arm cranking and leg cycling. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, p. 100-106, 2002.

TANAKA, H.; SHINDO, M. Running velocity at blood lactate threshold of boys aged 6-15 years compared with untrained and trained young males. **Int J Sports Med**, v. 6, p. 90-94, 1985.

TANAKA, H. Predicting running velocity at blood lactate threshold from running performance tests in adolescent boys. **Eur J Appl Physiol**, v. 55, p. 344-348, 1986.

TANNER, J.M. **Growth at adolescence**. 2^a ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1962.

WILLIAMS, C.A. et al. Oxygen uptake kinetics during treadmill running in boys and men. **J Appl Physiol**, v. 90, p.1700-7006, 2001.

WILLIS, W.T.; JACKMAN, M.R. Mitochondrial function during heavy exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 26, p. 1347-1353, 1994.

WOMACK, C.J. et al. The effects of a short-term training program on the slow component of $\dot{V}O_2$. **J Strength Cond Res**, v. 14, p.50-53, 2000.

8. CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados nestes estudos podemos concluir que:

a) em crianças de 11-12 anos os índices aeróbios tanto de caráter máximo ($VO_{2\text{pico}}$) como submáximo (LL), são influenciados pelo modo de exercício, sendo estes maiores durante exercício realizado em ER em relação à BE.

b) crianças submetidas a exercício de intensidade severa apresentam a ocorrência do CL do VO_2 , independente do modo de exercício analisado neste estudo (corrida x ciclismo). Entretanto, ao compararmos os dois métodos de análise (Exp3 x ΔVO_2 6-3 min), observamos diferenças estatísticas significantes para os valores de CL, levando-nos a concordar com a literatura existente sobre o fato de haver subestimação desses valores ao utilizarmos para análise modelos mais simples, fazendo com que a ocorrência e magnitude do CL do VO_2 sejam influenciadas pelo método de análise. Além disso, como observado em adultos, crianças de 11-12 anos também apresentam CL durante o exercício severo dependente do modo de exercício, sendo consideravelmente menor na ER do que na BE.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARON, E.A. et al. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. **J Appl Physiol**, v. 72, p. 1818-1825, 1992.

ARMON, Y. et al. Oxygen uptake dynamics during high-intensity exercise in children and adults. **J Appl Physiol.**, v. 70, p. 841-848, 1991.

BARSTOW, T.J.; MOLÉ, P.A. Linear and non-linear characteristics of kinetics during heavy exercise. **J Appl Physiol.** v. 71, p.2099-2106, 1991.

BARSTOW, T.J. Characterization of VO_2 kinetics during heavy exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 26, p. 1327-1334, 1994.

BILLAT, V. et al. The VO_2 slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. **J Appl Physiol**, v. 85, p. 2118-2124, 1998.

CAPUTO, F. Efeitos do treinamento aeróbio e da especificidade do Movimento sobre a aptidão aeróbia, tempo máximo de exercício e cinética do consumo de oxigênio: comparação entre corredores, ciclistas, triatletas e sedentários. **Dissertação de Mestrado**. Rio Claro (SP): Universidade Estadual Paulista, 2003.

CARTER, H. et al. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. **J Appl Physiol.** v. 89, p. 899-907, 2000.

CASABURI, R. et al. Effect of endurance training on possible determinants of VO_2 during heavy exercise. **J Appl Physiol**. v. 62, p. 199-207, 1987.

COOPER, D.M. et al. Kinetics of oxygen uptake and heart rate at onset of exercise in children. **J Appl Physiol**. v. 59, p. 211-217, 1985.

FAWKNER, S.G.; ARMSTRONG, N. Oxygen uptake kinetic response to exercise in children. **Sports Med**, v. 33, p. 651-669, 2003.

FAWKNER, S.G. **Oxygen uptake kinetics in children** (dissertation). Exeter: University of Exeter, 2002.

FAWKNER, S.G.; ARMSTRONG, N. Longitudinal changes in the kinetic response to heavy-intensity exercise in children. **J Appl Physiol**, v. 97, p.460-466, 2004.

GAESSER, G.A.; POOLE, D.C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 24, p. 35-71, 1996.

GAESSER, G.A. Influence of endurance training and catecholamines in children at the onset of steady rate exercise. **Res Quarterly Exerc Sport**, v. 52, p. 167-173, 1994.

GRASSI, B. Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? **Exerc Sport Sci Rev**, v. 3, p. 134-138, 2001.

HILL, D.W. et al. Oxygen uptake kinetics during severe intensity running and cycling. **Eur J Appl Physiol**. v. 89, p. 612-618, 2003.

HUGHSON, R.L. Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 29, p. 129-133, 2001.

JONES, A.M.; McCONNELL, A.M. Effect of exercise modality on oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Eur J Appl Physiol**. v. 80, p. 213-219, 1999.

PHILIPS, S.M. et al. Progressive effect of endurance training on VO_2 kinetics at the onset of submaximal exercise. **J Appl Physiol**. v. 79, p. 1914-1920, 1995.

POOLE, D.C. et al. Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **J Appl Physiol**. v. 71, p. 1245-1253, 1991.

POWERS, S.K. et al. Oxygen uptake kinetics in trained athletes differing in $\text{VO}_{2\text{max}}$. **Eur J Appl Physiol**. v. 54, p. 306-308, 1985.

PRINGLE, J.S.M. et al. Oxygen uptake kinetics during horizontal and uphill treadmill running in humans. **Eur J Appl Physiol**. v. 88, p. 163-169, 2002.

SADY, S.P. Transient oxygen uptake and heart rate responses at the relative endurance exercise in prepubertal boys and adult men. **Int J Sports Med**, v. 2, p. 240-244, 1981.

SCHNEIDER, D.A. et al. Oxygen uptake and heart rate kinetics during heavy exercise: a comparison between arm cranking and leg cycling. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, p. 100-106, 2002.

WASSERMAM, K. et al. Cardiodynamic hyperpnea: hyperpnea secondary to cardiac output increase. **J Appl Physiol**, v. 36, p. 457-464, 1974.

WHIPP, B.J. **Dynamics of pulmonary gas exchange**. *Circulation* 76 (Suppl. VI), p. 18-28, 1987.

WILLIAMS, C.A. et al. Oxygen uptake kinetics during treadmill running in boys and men. **J Appl Physiol**, v. 90, p. 1700-1706, 2001.

WILLIS, W.T.; JACKMAN, M.R. Mitochondrial function during heavy exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 26, p. 1347-1354, 1994.

APÊNDICE

APÊNDICE I – Ficha de identificação

Nome:

Data de nascimento: Idade:

Endereço:

Telefone para contato:

Em caso de emergência avisar:

1) Participa das aulas de Educação Física Escolar?

Sim Não

2) Pratica exercícios físicos fora das aulas de Educação Física?

Sim Não

Se a resposta foi “Sim”, quais e quantas vezes/horas por semana?

3) Tem algum problema de saúde?

Sim Não

Se a resposta foi “Sim”, qual?

4) Toma algum medicamento?

Sim Não

Se a resposta foi “Sim”, qual e para quê?

5) Tem problemas de coração (cardíacos) ou possui casos na família?

Sim Não

Se a resposta foi “Sim”, qual?

6) Tem Diabetes ou possui casos na família?

Sim Não

7) Tem problemas respiratórios (asma, bronquite) ou possui casos na família?

Sim Não

Se a resposta foi “Sim”, qual?

8) Sente dores de cabeça, dores no peito ou em outras partes do corpo?

Sim Não

Se a resposta foi “Sim”, em que região do corpo?

9) Sente falta de ar quando pratica algum exercício físico?

Sim Não

10) Sente tonturas, vertigens?

Sim Não

11) Tem, ou já teve, problemas de desmaio ou convulsões?

Sim Não

12) Já fez alguma cirurgia?

Sim Não

Se a resposta foi “Sim”, qual a cirurgia?

13) Já foi hospitalizado?

Sim Não

14) Já sofreu alguma fratura?

Sim Não

Se a resposta foi “Sim”, especifique o local da fratura.

ANEXO

ANEXO I - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Prezados Responsáveis,

Gostaríamos de proceder a aplicação de testes físicos e avaliação maturacional em meninos de 11 e 12 anos de idade. Tais testes visam pesquisar alguns parâmetros fisiológicos que possibilitem aumentar o conhecimento de respostas metabólicas e orgânicas em crianças desta faixa etária quando submetidas a esforço físico.

Procedimentos dos testes

Serão realizados testes laboratoriais de corrida em esteira rolante e em bicicleta ergométrica para verificação do consumo máximo de oxigênio das crianças. Em determinados momentos dos testes haverá coletas de amostras de sangue do lóbulo da orelha para análise da concentração de lactato sanguíneo; para este procedimento, utilizaremos sempre materiais descartáveis. A avaliação maturacional será realizada em cada participante individualmente, por meio de uma observação que se procederá da seguinte maneira: a criança irá despir-se parcialmente diante de um examinador do mesmo sexo e terá comparado com modelos fotográficos, segundo os padrões determinados por Tanner (1962), o desenvolvimento de suas genitálias, o teste é simples, seguro e ocorrerá num ambiente adequado e privado, garantindo total privacidade à criança sendo o teste realizado sempre na presença de um responsável para que não seja causado nenhum constrangimento.

Divulgação dos resultados obtidos

Todos os resultados obtidos serão divulgados em congressos e revistas de caráter científico pertinentes a área de aplicação dos mesmos, para tanto, sempre se resguardará a identidade dos participantes do projeto não havendo nenhum outro interesse que não o científico na divulgação dos mesmos. Os participantes, bem como seus responsáveis tomarão conhecimentos dos resultados obtidos.

Para tanto, necessitamos do consentimento dos senhores responsáveis para que as crianças possam participar dos testes bem como, da autorização dos mesmos para que os dados obtidos possam ser divulgados na literatura científica da área. Informamos que a participação é totalmente voluntária, com plena liberdade para negarem o consentimento ou retirarem as crianças do estudo a qualquer momento.

Local de realização dos testes

Todos os testes e demais procedimentos serão realizados no Laboratório de Avaliação da *Performance* Humana localizado junto ao Departamento de Educação Física da Unesp, Rio Claro – SP. Os testes ocorrerão em cinco (05) sessões previamente agendadas devendo as crianças comparecerem ao local para a realização dos mesmos estando, de preferência, acompanhadas por um responsável.

Responsabilidade sobre os procedimentos experimentais

Os responsáveis pelos testes comprometem-se em realizá-los dentro dos padrões e normas de segurança, mostrando-se conhecedores dos procedimentos a serem realizados; isentando-se, porém, de qualquer responsabilidade por acidentes não previstos durante a realização dos mesmos. Os testes não serão acompanhados por outros profissionais da área de saúde, como por exemplo: médicos, no entanto, em casos emergenciais não previstos, o atendimento será imediatamente providenciado e realizado junto à Unidade Básica de Saúde (UBS) da Vila Cristina, localizado à Avenida José Felício Castellano nº1784 sendo este, a unidade mais próxima ao Campus da Unesp e responsável pelos atendimentos nesta região da cidade de Rio Claro. Qualquer pergunta ou dúvidas em relação aos procedimentos utilizados deverão ser dirigidas aos responsáveis pela realização dos mesmos que estarão sempre à disposição para maiores esclarecimentos.

Eu, _____, portador do documento de identidade nº _____, como responsável por _____, autorizo sua participação nos testes acima descritos, estando ciente de todos os procedimentos a serem realizados e consentindo a publicação dos dados obtidos.

Data: ___/___/___

Assinatura do responsável

Fabiana Andrade Machado
Responsável pelo projeto

Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai
Orientador

ANEXO II – Aprovação do referido projeto pelo Comitê de Ética e Pesquisa
(CEP) do IB, UNESP, Rio Claro.

unesp 

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Rio Claro
Seção Técnica Acadêmica
Comitê de Ética em Pesquisa



Rio Claro, 12 de maio de 2004.

Ofício CEP 84/2004

Prezado Senhor,

Informo que em reunião realizada em 11.5.04, o Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, UNESP, Câmpus de Rio Claro (CEP-IB-UNESP), referendou a aprovação do projeto de pesquisa intitulado "Efeitos do gênero e do tipo de exercício sobre a cinética do consumo de oxigênio durante exercício severo em crianças", sob sua responsabilidade, protocolo 1108, datado de 17.2.04.

Sendo o que se apresenta para o momento, reitero meus protestos de consideração e coloco-me à disposição para eventuais esclarecimentos.

Atenciosamente,


Prof. Dra. Rosa Maria Feiteiro Cavalari
Coordenadora do Comitê

Ilmo. Sr.
Prof. Dr. Benedito Sergio Denadai
DD. Docente do Departamento de Educação Física
I.B. - UNESP - CRC

Instituto de Biociências
Avenida 24-A nº 1515 - CEP 13506-900 - Rio Claro - S.P. - Brasil
tel 19 3526-4100 - fax 19 3534-0009 - <http://www.rc.unesp.br>