

## Aplicação do Ponto Ótimo Cardiorrespiratório na avaliação cardiorrespiratória em esforço de indivíduos com lesão medular

### Cardiorespiratory Optimal Point application in cardiopulmonary assessment in effort of individuals with spinal cord injury

Jeter Pereira de Freitas<sup>1</sup> , Míriam Raquel Meira Mainenti<sup>2</sup> , Camila Brasil e Silva<sup>3</sup> ,  
Patrícia dos Santos Vigário<sup>1</sup> 

1. Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

2. Escola de Educação Física do Exército (EsFEEx), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

3. Companhia de Comando da 4ª Brigada de Infantaria Leve de Montanha (Cia C 4ª Bda Inf L Mth), Juiz de Fora, MG, Brasil

#### RESUMO

**Introdução:** A Lesão Medular (LM) se relaciona à baixa aptidão cardiorrespiratória e ao aumento da morbimortalidade cardiovascular. Em indivíduos com LM, a avaliação da capacidade cardiorrespiratória, cuja melhor variável para análise é o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ), é comumente prejudicada devido à interrupção precoce do esforço. Consequentemente, as mensurações obtidas em intensidades submáximas se fazem necessárias, como o ponto ótimo cardiorrespiratório (POC). **Objetivo:** Descrever e comparar a aptidão cardiorrespiratória em esforço de indivíduos com LM alta, baixa e sem LM. **Métodos:** Estudo seccional em participantes com LM alta incompleta, LM baixa completa e sem LM, realizado com testes progressivos em cicloergômetro para membros superiores, considerando pico do exercício, limiar ventilatório 1 (LV1) e POC. **Resultados:** Os indivíduos com LM apresentaram menor tolerância ao esforço e menor  $VO_2$  de pico em relação aos indivíduos sem LM, apesar de todos os grupos terem chegado igualmente ao término do exercício com uma maior contribuição do metabolismo anaeróbio na produção de energia. Quanto às análises em intensidades submáximas de esforço, os indivíduos com tetraplegia, dentre os três grupos, foram aqueles que alcançaram a máxima eficiência ventilatória (POC) em percentuais mais altos do  $VO_2$  de pico. **Conclusão:** Indivíduos com LM apresentam menor aptidão cardiorrespiratória no pico e em intensidades submáximas de esforço quando comparados com indivíduos sem LM. Particularmente em relação ao POC, quanto mais alto o nível da LM, maior a necessidade ventilatória para o atendimento das demandas metabólicas do exercício.

**Palavras-chave:** pessoas com deficiência; consumo de oxigênio; exercício físico.

#### ABSTRACT

**Introduction:** Spinal Cord Injury (SCI) is related to low cardiorespiratory fitness and increased cardiovascular morbidity and mortality. In individuals with SCI, the assessment of cardiorespiratory capacity, whose best variable for analysis is maximal oxygen consumption ( $VO_{2max}$ ), is commonly impaired due to early interruption of effort. Consequently, measurements obtained at submaximal intensities are necessary, such as the cardiorespiratory optimal point (POC). **Objective:** To describe and compare the cardiorespiratory fitness in exertion of individuals with high, low and no LM. **Methods:** Cross-sectional study in participants with incomplete high LM, complete low LM and without LM, performed with progressive tests on a cycle ergometer for upper limbs, considering peak exercise, ventilatory threshold 1 (LV1) and POC. **Results:** Individuals with SCI had lower exercise tolerance and lower peak  $VO_2$  compared to individuals without SCI, despite the fact that all groups reached the end of the exercise equally with a greater contribution of anaerobic metabolism in energy production. As for the analysis of submaximal exertion intensities, individuals with quadriplegia, among the three groups, reached maximum ventilatory efficiency (POC) at higher percentages of peak  $VO_2$ . **Conclusion:** Individuals with SCI have lower cardiorespiratory fitness at peak and submaximal exertion intensities when compared to individuals without SCI. Particularly in relation to POC, the higher the level of LM, the greater the ventilatory need to meet the metabolic demands of exercise.

**Keywords:** people with disability; oxygen consumption; exercise.

Recebido em: 27 de janeiro de 2022; Aceito em: 23 de março de 2022.

Correspondência: Patrícia dos Santos Vigário, Programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação, Centro Universitário Augusto Motta (PPGCR/ UNISUAM), Rua Dona Isabel, 94, Bonsucesso, 21041-020 Rio de Janeiro, RJ. [patriciavigario@yahoo.com.br](mailto:patriciavigario@yahoo.com.br)

## Introdução

A lesão medular (LM) está associada a alterações no funcionamento de diversos sistemas do organismo e que podem variar de acordo com a altura da lesão [1]. Em paralelo, uma maior prevalência de comportamento sedentário é descrita em indivíduos com LM devido a barreiras ambientais – como a falta de acessibilidade – e psicoemocionais, como desmotivação e autoestima e autoimagem prejudicadas [2]. Em conjunto, esses fatores contribuem para uma baixa aptidão cardiorrespiratória e aumentam o risco de complicações relacionadas à saúde [3].

O consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) é a variável que melhor descreve a aptidão cardiorrespiratória dos indivíduos [4] e valores mais elevados se relacionam a um risco menor de morbimortalidade cardiovascular [5]. Sua obtenção acontece por meio da análise metabólica dos gases ventilatórios durante a realização de um esforço progressivo máximo, comumente em cicloergômetros selecionados de acordo com as características individuais do avaliado. Em indivíduos com limitações funcionais, assim como acontece na LM, no entanto, é comum a interrupção do esforço devido a fatores periféricos tal como a baixa capacidade muscular, limitando a realização do movimento [6]. Isso dificulta a obtenção do  $VO_{2máx}$ , tornando limitada a interpretação dos resultados do teste [7]. Frente a esta dificuldade, Ramos *et al.* [8] propuseram a análise do menor valor do equivalente ventilatório de oxigênio durante o esforço como um indicador que representaria a maior economia ventilatória para a captação do oxigênio e consequente oferta para a musculatura ativa. A esta variável foi atribuída o nome de “Ponto Ótimo Cardiorrespiratório” (POC), tendo como vantagem a sua obtenção em intensidade submáxima de esforço. Trata-se de uma variável alternativa para análise da capacidade cardiorrespiratória, especialmente em situações cujo esforço máximo não é alcançado (como em limitações funcionais diversas) ou não é desejável (como em determinadas fases do treinamento esportivo) [9]. Após consultas às bases de dados PubMed/Medline e Scielo utilizando a combinação dos termos “ponto ótimo cardiorrespiratório” e “lesão medular”, não foram encontrados estudos que tivessem analisado esta variável na população de indivíduos com LM.

A importância de uma avaliação periódica da capacidade cardiorrespiratória de indivíduos com LM reside em identificar e atuar em diferentes cenários, incluindo reabilitação e prescrição de treinamento físico com fins esportivos [10]. Logo, é necessário que as variáveis medidas reproduzam efetivamente a realidade e o nível de condicionamento físico, para que intervenções eficientes sejam selecionadas e os ganhos maximizados. Dessa forma, o objetivo do presente estudo é testar as hipóteses: a) indivíduos com LM possuem aptidão cardiorrespiratória inferior a indivíduos sem LM em diferentes intensidades de esforço e b) especificamente em relação ao POC, indivíduos com LM possuem maior necessidade ventilatória durante o exercício.

## Métodos

### *Estudo e participantes*

Foi realizado um estudo observacional comparativo de corte transversal com a participação de 27 homens com idade maior ou igual a 18 anos divididos em três grupos: LM alta incompleta (grupo TETRA; da quarta à sétima vértebra cervical; N = 9), LM baixa completa (grupo PARA; primeira vértebra torácica à segunda vértebra lombar; N = 8) e sem LM (N = 10). Todos eram fisicamente ativos há pelo menos seis meses: prática de rugby em cadeira de rodas no grupo TETRA, basquete em cadeira de rodas no grupo PARA e exercícios aeróbios e de força no grupo sem LM. Os indivíduos sem LM foram classificados como “ativo” ou “muito ativo” a partir do preenchimento do *International Physical Activity Questionnaire* (IPAQ) versão curta [11]. Os grupos de participantes com LM foram selecionados por conveniência em duas associações de esportes para pessoas com deficiência no Rio de Janeiro, Brasil. Foram excluídos os indivíduos tabagistas, usuários de substâncias que interferem na resposta de frequência cardíaca (e.g. beta-bloqueadores, simpatomiméticos e simpatolíticos), e aqueles que apresentassem dor ou limitação musculoesquelética incapacitante para a realização do teste cardiopulmonar de esforço (TCPE).

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa institucional (CAAE: 37041520.4.0000.5235) e todos os participantes assinaram termo de consentimento livre e esclarecido antes da participação no estudo.

### *Aptidão cardiorrespiratória em esforço*

Para a avaliação da aptidão cardiorrespiratória em esforço foi realizado um TCPE de intensidade crescente em um cicloergômetro para membros superiores (*TopExcite, TechnoGym; Itália*). Os testes foram realizados no período da manhã, em um laboratório com temperatura ( $\approx 22^\circ\text{C}$ ) e umidade controladas ( $\approx 60\%$ ) [12].

A carga inicial foi de 20w com sucessivos incrementos de 2w ou 5w a cada minuto – de acordo com a funcionalidade dos membros superiores do participante – e ciclagem entre 50-60 rpm [13]. Os participantes foram incentivados verbalmente a desempenharem o máximo de esforço, sendo este interrompido por exaustão ou no aparecimento de um dos critérios definidos pelo *American College of Sports Medicine* [4].

Ao longo de todo o teste, os participantes permaneceram conectados a um analisador metabólico de gases ventilatórios (*VO2000, MedGraphics; Brasil*) que permitiu a leitura da ventilação pulmonar (VE, L/min) e das frações expiradas de oxigênio ( $\text{FeO}_2$ , %) e de gás carbônico ( $\text{FeCO}_2$ , %). As informações foram registradas respiração-a-respiração e plotadas como a média de 30 segundos. Foram calculadas as seguintes variáveis: consumo de oxigênio relativo e absoluto ( $\text{VO}_2$ ,  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  e L/min, respectivamente) e equivalentes ventilatórios de oxigênio (VE/ $\text{VO}_2$ ) e de gás carbônico (VE/ $\text{VCO}_2$ ). O  $\text{VO}_2$  foi considerado máximo caso fosse observado: I) presença de um platô na curva do  $\text{VO}_2$  concomitante ao aumento da intensidade do esforço;

II) quociente respiratório ( $R \geq 1,1$ ; e III) existência do LV1 [12]. Na ausência do  $VO_2$  máximo, foi considerado como pico o maior valor apresentado no último minuto do teste.

#### *Limiar ventilatório 1*

O limiar ventilatório 1 (LV1) foi identificado de acordo com as recomendações propostas por Gaskill *et al.* [14], que incluem a combinação de análise de três métodos: I) equivalentes ventilatórios de oxigênio e gás carbônico; II) excesso de dióxido de carbono e III) V-slope modificado. A inspeção visual para determinar o LV1 foi realizada independentemente por dois avaliadores experientes. Caso a diferença entre os avaliadores em relação ao  $VO_2$  no LV1 estivesse dentro de 3%, o valor médio foi adotado como resultado final. Se a diferença excedesse 3%, um terceiro avaliador seria solicitado a determinar o LV1.

#### *Ponto Ótimo Cardiorrespiratório*

O Ponto Ótimo Cardiorrespiratório (POC) foi considerado como o menor valor do equivalente ventilatório de oxigênio ( $VE/VO_2$ ) durante o esforço [8]. Também foram analisados o  $VO_2$  relativo ( $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ), o  $VO_2$  absoluto (L/min), o percentual do  $VO_2$  de pico, a carga (w) e o tempo de esforço (s) relativos ao POC.

#### *Procedimentos estatísticos*

Uma vez que a amostra elegível foi composta por todos os atletas praticantes de rugby em cadeira de rodas de uma equipe regional, foi realizado cálculo post hoc do tamanho de efeito mínimo (f) a ser detectado para comparação entre grupos, usando o *software G\*Power*. Considerando erro tipo I igual a 5% e poder do teste igual a 80% (erro tipo II igual 20%), tamanhos de efeito (f) mínimos de 0,63 podem ser detectados na comparação de 3 grupos com total de 27 participantes.

A análise exploratória dos dados foi apresentada pela mediana e valores mínimo e máximo. A distribuição das variáveis foi verificada por meio do teste de Shapiro Wilk e após as análises optou-se pela adoção de procedimentos não-paramétricos. As comparações entre os três subgrupos do estudo foram feitas com o teste de Kruskal Wallis e as diferenças identificadas pelo teste de Mann-Whitney com correção de Bonferroni para as três possíveis combinações de pares ( $p < 0,017$ ). As comparações entre os grupos TETRA e PARA foram feitas com o teste de Mann-Whitney. O nível de significância estatística adotado foi de 5% e as análises foram realizadas no SPSS 20.0 (Armonk, NY: International Business Machines Corporation).

## **Resultados**

As características gerais e de prática de exercícios físicos dos participantes do estudo estão descritas na Tabela I. Na comparação com o grupo sem LM, o grupo TETRA apresentou menor massa corporal e o grupo PARA maior idade. O tempo de prática de exercícios físicos foi semelhante entre os grupos TETRA e PARA, e maior

que o apresentando pelo grupo sem LM. Também não foi constatada diferença entre o tempo de LM.

**Tabela I** - Características gerais dos participantes do estudo, de acordo com o subgrupo de análise

	TETRA (N = 09)	PARA (N = 08)	Sem LM (N = 10)	P-valor
Idade (anos)	34 (25-47)	44,5 <sup>b</sup> (25-50)	31,5 (22-40)	0,028 <sup>1</sup>
Massa corporal (kg)	69 <sup>a</sup> (50,7-80,1)	80,2 (58,9-100,2)	85,6 (71,5-102)	0,008 <sup>1</sup>
Estatura (cm)	180 (171-188,5)	175 (164-184)	181,5 (169-185)	0,277 <sup>1</sup>
Tempo de LM (anos)	13 (4-24)	6 (3-26)	-	0,114 <sup>2</sup>
Tempo de prática de exercício físico (meses)	48 <sup>c</sup> (6-132)	54 <sup>b</sup> (36-60)	12 (6-18)	0,001
Frequência semanal de prática de exercício físico (dias/semana)	3 (3-3)	2 <sup>b</sup> (1-5)	4 (3-5)	0,006

TETRA = Lesão medular alta e incompleta; PARA = lesão medular baixa; LM = lesão medular; <sup>1</sup>Teste de Kruskal Wallis, significância estatística quando  $p < 0,05$ ; <sup>2</sup> Teste de Mann-Whitney, significância estatística quando  $p < 0,05$ ; <sup>a</sup>Teste de Mann-Whitney com correção de Bonferroni, significância estatística quando  $p < 0,017$  (TETRA  $\neq$  PARA); <sup>b</sup>Teste de Mann-Whitney com correção de Bonferroni, significância estatística quando  $p < 0,017$  (PARA  $\neq$  Sem LM); <sup>c</sup>Teste de Mann-Whitney com correção de Bonferroni, significância estatística quando  $p < 0,017$  (TETRA  $\neq$  Sem LM)

Na Tabela II estão apresentados os resultados relativos ao TCPE. Os grupos TETRA e PARA apresentaram menores tempo e carga total de esforço,  $VO_{2\text{pico}}$  relativo e  $VO_{2\text{pico}}$  absoluto, em comparação ao grupo sem LM. O R no término do esforço, no entanto, não se diferiu entre os três grupos. Todos os participantes relataram interrupção do esforço devido à fadiga periférica dos membros superiores envolvidos no movimento.

Em relação ao POC, os grupos mostraram similaridade em relação ao tempo no momento do alcance ( $p = 0,476$ ) e à carga ( $p = 0,239$ ). O valor do POC foi menor no grupo TETRA em relação aos sem LM e o  $\%VO_{2\text{pico}}$  no POC foi maior no TETRA tanto em relação ao PARA, quanto em relação aos sem LM. Um participante do grupo TETRA apresentou o POC depois do LV1 (tempo POC= 03 min: 52s; tempo LV1= 02 min: 51s). Todos os demais participantes apresentaram o POC antes do LV1. De todos os participantes do estudo, somente dois do grupo TETRA não alcançaram o LV1. Os grupos TETRA e PARA alcançaram este ponto mais precocemente que os sem LM, assim como com menores cargas,  $VO_2$  ( $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) e  $VO_2$  (L/min). O  $\%VO_{2\text{pico}}$  no LV1 foi maior nos participantes do grupo TETRA em relação aos PARA e sem LM.

**Tabela II** – Variáveis relativas ao teste cardiopulmonar de esforço dos participantes do estudo, de acordo com o subgrupo de análise

	<b>TETRA (N = 09)</b>	<b>PARA (N = 08)</b>	<b>Sem LM (N = 10)</b>	<b>P-valor<sup>1</sup></b>
<b>Tempo total de esforço (min:s)</b>	08:21 <sup>b</sup> (01:43-18:35)	08:39 <sup>c</sup> (06:13-21:11)	18:28 (13:09-23:09)	<b>0,001</b>
<b>Carga no final do esforço (w)</b>	40 <sup>b</sup> (22-60)	57,5 <sup>c</sup> (45-120)	110 (85-135)	<b>&lt;0,001</b>
<b>VO<sub>2pico</sub> (mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	10,2 <sup>b</sup> (5,3-16)	15,7 <sup>c</sup> (9,6-23,7)	31,9 (22,6-38,6)	<b>&lt;0,001</b>
<b>VO<sub>2pico</sub> (L/min)</b>	0,8 <sup>a,b</sup> (0,4-0,9)	1,2 <sup>c</sup> (0,9-2,3)	2,9 (1,7-3,7)	<b>&lt; 0,001</b>
<b>R</b>	1,1 (0,5-1,4)	1,0 (0,9-1,2)	1,0 (0,8-1,5)	0,725
<b>Tempo no POC (min:s)</b>	01:51 (00:30-03:55)	01:45 (00:47-04:06)	02:30 (00:30-04:30)	0,476
<b>Carga no POC (w)</b>	25 (20-35)	25 (20- 40)	30 (20-40)	0,239
<b>Menor VE/ VO<sub>2</sub> (POC)</b>	23,1 <sup>b</sup> (17,5-36,2)	18,8 (14,4-30,8)	16,0 (13,3-20,2)	<b>0,004</b>
<b>VO<sub>2</sub> no POC (mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	8,9 (5,5-14,1)	4,9 (0,5-9,5)	8,1 (5,8-12,3)	<b>0,044</b>
<b>%VO<sub>2pico</sub> no POC (%)</b>	85 <sup>a,b</sup> (58,6-100)	43,7 (2,3-56,8)	27,4 (22,5-35,0)	<b>&lt; 0,001</b>
<b>Tempo no LV1 (min:s)</b>	02:56 <sup>b</sup> (02:20-10:51)	04:18 <sup>c</sup> (02:46-13:16)	09:00 (06:30-12:30)	<b>0,004</b>
<b>Carga no LV1 (w)</b>	30 <sup>b</sup> (24-40)	37,5 <sup>c</sup> (30-95)	72,5 (50-85)	<b>0,001</b>
<b>VO<sub>2</sub> no LV1 (mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	9,0 <sup>b</sup> (4,2-13,1)	10,2 <sup>c</sup> (0,9-14,1)	17,0 (10,5-23,8)	<b>0,002</b>
<b>VO<sub>2</sub> no LV1 (L/min)</b>	0,7 <sup>b</sup> (0,3-1,0)	0,8 <sup>c</sup> (0,1-1,3)	1,4 (1,0-2,0)	<b>0,001</b>
<b>%VO<sub>2pico</sub> no LV1 (%)</b>	77,6 <sup>a,b</sup> (70,1-87,3)	62,5 (10,3-74,1)	55,4 (43,3-68,8)	<b>0,001</b>

TETRA = Lesão medular alta e incompleta; PARA = lesão medular baixa; LM = lesão medular; 1Teste de Kruskal Wallis, significância estatística quando  $p < 0,05$ ; aTeste de Mann-Whitney com correção de Bonferroni, significância estatística quando  $p < 0,017$  (TETRA ≠ PARA); bTeste de Mann-Whitney com correção de Bonferroni, significância estatística quando  $p < 0,017$  (TETRA ≠ SEM LM); cTeste de Mann-Whitney com correção de Bonferroni, significância estatística quando  $p < 0,017$  (PARA ≠ SEM LM)

## Discussão

Os principais achados do presente estudo incluem a menor tolerância ao esforço e o menor VO<sub>2</sub> de pico nos participantes com LM em relação aos indivíduos sem LM, apesar de todos os grupos terem chegado ao término do exercício igualmente com uma maior contribuição do metabolismo anaeróbio no processo de produção de energia (R médio dos grupos  $\geq 1$ ;  $p = 0,725$ ). No que diz respeito às análises em intensidades submáximas de esforço, os indivíduos com tetraplegia alcançaram a máxima

eficiência ventilatória, isto é, o POC, em percentuais mais altos do  $VO_2$  de pico, assim como o LV1. Essa diferença foi observada tanto em comparação aos indivíduos com paraplegia quanto em relação àqueles sem LM. Que seja de conhecimento dos autores, essa foi a primeira abordagem sobre a aplicação do POC em indivíduos com LM.

A menor tolerância ao esforço observada no grupo com LM pode ser reflexo da menor quantidade de massa muscular geralmente apresentada nos membros superiores desses indivíduos, sobretudo aqueles com lesões mais altas nos quais a perda é mais acentuada. Essas perdas estruturais impactam a funcionalidade e mobilidade, pela interrupção total ou parcial de passagem de informação sensorial e motora abaixo do nível da lesão [1]. Deve-se considerar, todavia, que o exercício foi realizado com os membros superiores, que são bastante solicitados pelos indivíduos com LM para o deslocamento diário, porém o movimento realizado para a propulsão da cadeira de rodas difere-se do gesto realizado no cicloergômetro utilizado. Logo, também é possível que essa diferença tenha influenciado, de certa forma, a ocorrência de fadiga precoce.

Quanto ao  $VO_2$  ao término do exercício, as diferenças observadas entre os indivíduos com e sem LM, além de poderem ser explicadas pela quantidade de massa muscular envolvida durante a realização do teste, também podem estar associadas à modulação do inotropismo cardíaco pelo sistema nervoso autônomo [15]. Por meio dos ramos simpáticos e parassimpáticos, que, respectivamente, aumentam e diminuem a função cardíaca, observam-se alterações na frequência cardíaca e na força de contração [16]. Uma vez que as fibras simpáticas que inervam o coração são originadas na medula espinhal, na altura entre a primeira e a quinta vértebras torácicas e as fibras parassimpáticas são originadas no nervo vago, conclui-se que indivíduos com LM nos referidos níveis possuem prejuízos no tônus simpático, e, conseqüentemente, do estímulo positivo ao trabalho cardíaco. De acordo com Draghici e Taylor [17], os prejuízos das vias autonômicas frente a uma LM podem não estar necessariamente associados ao nível/altura da lesão, ou ainda se é completa ou incompleta. Contudo, considerando as origens das fibras simpáticas e parassimpáticas que inervam o coração, o controle simpático teria um maior prejuízo quanto maior fosse o nível/altura da lesão, enquanto o controle parassimpático manter-se-ia sem alterações.

Os prejuízos no controle simpático incluem menor frequência cardíaca em níveis submáximo e máximo de esforço, menor pressão arterial e menor débito cardíaco. Essas alterações durante o exercício físico se traduzem em uma menor oferta de sangue para a musculatura ativa e, conseqüentemente, menor  $VO_2$  [18]. Nightingale *et al.* [19] investigaram a capacidade cardiorrespiratória em esforço no cicloergômetro para membros superiores de pacientes com LM cervical, LM torácica alta e LM toracolombar, constatando-se diferenças entre os grupos tanto em relação ao  $VO_2$  de pico quanto à potência máxima – ou seja, quanto maior a altura/nível da lesão, menor o  $VO_2$  e a potência. Em um trabalho comparando a capacidade cardiorrespiratória em esforço em duas condições a) utilizando somente o cicloergômetro para membros superiores e b) o cicloergômetro associado com estimulação elétrica, também verifi-

cou-se uma relação inversa entre a altura/nível da lesão e o  $VO_2$  de pico, independente da condição testada [20]. Ressalta-se que, na presença da estimulação elétrica, os valores do  $VO_2$  mostraram-se mais altos. Essa mesma relação entre nível/altura da LM foi observada no presente estudo, embora sem significância estatística em algumas comparações.

Nas aferições obtidas, o POC foi um dos momentos considerados para a caracterização da capacidade cardiorrespiratória em intensidade submáxima de esforço. No trabalho de Ramos e Araújo [21], valores do POC menores que 22 mostraram-se associados a um menor risco de mortalidade tanto em indivíduos saudáveis quanto em indivíduos com doenças crônicas. Cabe ressaltar, contudo, que a avaliação foi feita em cicloergômetro para membros inferiores e não necessariamente esse valor será o mesmo para exercícios realizados em outros ergômetros, como a esteira e o cicloergômetro para membros superiores. Até o presente momento, não é de conhecimento dos autores a delimitação de um ponto de referência para a classificação de risco de mortalidade pela análise do POC obtido por meio de cicloergômetro para membros superiores. No entanto, se valores mais baixos do POC se associam a um risco menor, no presente estudo pode-se supor que o grupo TETRA talvez esteja sob um maior risco ou, mais apropriadamente, apresente uma pior economia ventilatória, uma vez que apresentou o maior POC mediano dentre os três subgrupos avaliados no estudo (valor mediano do grupo TETRA = 23,1). Logo, para os indivíduos com LM mais alta, seria necessário um volume maior de ar a ser ventilado para o consumo de 100 mL de  $O_2$  em relação aos indivíduos com LM baixa e indivíduos sem LM. Em relação aos indivíduos com LM baixa esta mesma análise se reproduz em relação aos indivíduos sem LM.

Outra observação que corrobora a menor capacidade cardiorrespiratória do grupo TETRA em relação aos demais grupos é o percentual do  $VO_{2\text{ pico}}$  em que o POC foi alcançado. Ainda com valores de referência para outros cicloergômetros que não o de membros superiores, a literatura aponta que o POC é alcançado, em média entre 30 e 50% do  $VO_2$  máximo/pico [8]. O referido grupo alcançou o POC com cerca de 85% do  $VO_2$  de pico (valor mediano), ou seja, mais próximo do maior valor de  $O_2$  consumido durante o teste. Isso pode sugerir que após o alcance da maior economia ventilatória não houve um aumento muito expressivo no  $VO_2$  até o fim do teste.

O LV1, que representa o início da transição do predomínio do metabolismo aeróbio para o anaeróbio, foi outra medida submáxima em que os indivíduos com LM apresentaram menor desempenho em relação àqueles sem LM. O alcance mais precoce desse ponto pode estar associado aos mesmos fatores discutidos anteriormente; menor massa muscular nos membros superiores, gesto motor realizado no teste diferente daquele habitualmente utilizado no dia-a-dia para a propulsão da cadeira de rodas e alterações no controle autonômico cardíaco. Ressalta-se que, mesmo que os indivíduos com LM tenham alcançado o LV1 em percentuais maiores do  $VO_{2\text{ pico}}$  em relação aos indivíduos sem LM, isso não reflete uma melhor aptidão cardiorrespiratória uma vez que o  $VO_{2\text{ pico}}$  desses indivíduos foi, em geral, baixo.



Uma proposta de análise das referidas variáveis foi recentemente realizada por Costa *et al.* [22] em pacientes com limitação funcional devido à amputação unilateral de membro inferior, condição que ocasiona prejuízo de mobilidade e menor tendência à prática de exercícios tal como se é observado na LM. Nos indivíduos testados quando comparados com indivíduos sem amputação, verificou-se também menores valores de  $VO_{2pico}$  para a mesma intensidade de esforço e o POC alcançado em percentuais maiores de  $VO_{2pico}$ . O menor desempenho cardiovascular dos indivíduos com amputação, de maneira semelhante aos resultados do presente estudo, sugere que as limitações de mobilidade, associadas às dificuldades cotidianas que estas impõem, possam constituir um fator de risco para menor capacidade cardiovascular.

O presente estudo apresenta como limitação a realização do TCPE em um cicloergômetro para membros superiores e não em uma esteira adaptada para cadeira de rodas, no caso dos indivíduos com LM. Assim, o gesto motor diário poderia ser reproduzido refletindo com maior precisão a capacidade cardiorrespiratória desses sujeitos. No entanto, ainda trata-se de uma investigação inédita nessa população, que pode vir a ser beneficiada por meio da prescrição de exercícios físicos e reabilitação indicados de maneira mais específica para ganhos funcionais direcionados. Existe ainda a compreensão de que a amostra analisada pertence a uma minoria dos pacientes com LM, tendo em vista que uma grande parte desses indivíduos não possui acesso à prática regular de exercícios adaptados. Em estudos futuros, sugere-se a abordagem de participantes sedentários, especialmente considerando-se a prevalência significativa de indivíduos com LM e o risco cardiovascular aumentado nessa população e, dessa forma, contribuir para a estabelecer mais concretamente esse risco e individualizar abordagens para minimizá-lo.

## Conclusão

Indivíduos com LM apresentam menor aptidão cardiorrespiratória no pico e em intensidades submáximas de esforço quando comparados com indivíduos sem LM. Particularmente em relação ao POC, quanto mais alto o nível da LM, maior a necessidade ventilatória para o atendimento das demandas metabólicas do exercício.

### Potencial conflito de interesse

Nenhum conflito de interesses com potencial relevante para este artigo foi reportado.

### Fontes de financiamento

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001, pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) (edital E-26/203.256/2017) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Os autores também agradecem à Academia Paralímpica Brasileira, do Comitê Paralímpico Brasileiro (APB/CPB), pelo apoio científico.

### Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Freitas JP, Vigário PS, Mainenti MRM; Obtenção de dados: Freitas JP; Análise e interpretação dos dados: Freitas JP, Vigário PS, Mainenti MRM; Análise estatística: Vigário PS, Mainenti MRM; Obtenção de financiamento: Vigário OS; Redação do manuscrito: Freitas JP, Vigário PS, Mainenti MRM; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Silva CB.

## Referências

1. Raguindin PF, Bertolo A, Zeh RM, Fränkl G, Itodo OA, Capossela S, *et al.* Body composition according to spinal cord injury level: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med* 2021;10(17):3911. doi: 10.3390/jcm10173911
2. Verschuren O, Dekker B, van Koppenhagen C, Post M. Sedentary behavior in people with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2016;97(1):173. doi: 10.1016/j.apmr.2015.10.090
3. Maher JL, McMillan DW, Nash MS. Exercise and health-related risks of physical deconditioning after spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2017;23(3):175-187. doi: 10.1310/sci2303-175
4. ACSM. Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição. 10 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2018.
5. Khan H, Jaffar N, Rauramaa R, Kurl S, Savonen K, Laukkanen JA. Cardiorespiratory fitness and non fatal cardiovascular events: A population-based follow-up study. *Am Heart J* 2017;184:55-61. doi: 10.1016/j.ahj.2016.10.019
6. Bento S, Carvalho MP, Faria F. Recondicionamento ao esforço na lesão medular. *Revista da SPMFR* 2016; 28(1):22-28.
7. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;167(2):211-77. doi: 10.1164/rccm.167.2.211
8. Ramos PS, Ricardo DR, Araújo CGS. Cardiorespiratory optimal point: A submaximal variable of the Cardiopulmonary Exercise Testing. *Arq Bras Cardiol* 2012;99(5):988-96. doi: 10.1371/journal.pone.0104932
9. Silva CGS, Castro CLB, Franca JF, Bottino A, Myers J, Araújo CGS. Ponto ótimo cardiorrespiratório em futebolistas profissionais: Uma nova variável submáxima do exercício. *Int J Cardiovasc Sci* 2018;31(4):323-32. doi: 10.5935/2359-4802.20180030
10. Mercier H, Taylor JA. The physiology of exercise in spinal cord injury (sci): an overview of the limitations and adaptations. *The Physiology of Exercise in Spinal Cord Injury* 2016;1-11 10. doi: 10.1007/978-1-4939-6664-6\_1
11. Matsudo S, Araújo T, Matsudo V, Andrade D, Andrade E, Oliveira LC, *et al.* Questionário Internacional de Atividade Física (IPAQ): estudo de validade e reprodutibilidade no Brasil. *Rev Bras Ativ Fís Saúde* 2012;6(2):5-18. doi: 10.12820/rbafs.v.6n2p5-18
12. Yazbek PJ, Carvalho RT, Sabbag LMS, Battistella LR. Ergoespirometria. Teste de esforço cardiopulmonar, metodologia e interpretação. *Arq Bras Cardiol* 1998;71(5):719-24. doi: 10.1590/s0066-782x1998001100014
13. Campos LFCC. Comparação entre métodos para mensuração da potência aeróbia em atletas tetraplégicos [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Educação Física da UNICAMP; 2013. doi: 10.47749/T/UNICAMP.2013.902347
14. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(11):1841-8. doi: 10.1097/00005768-200111000-00007
15. Biering-Sørensen F, Biering-Sørensen T, Liu N, Malmqvist L, Wecht JM, Krassioukov A. Alterations in cardiac autonomic control in spinal cord injury. *Auton Neurosci* 2018;209:4-18. doi: 10.1016/j.autneu.2017.02.004
16. Herring N, Kalla M, Paterson DJ. The autonomic nervous system and cardiac arrhythmias: current concepts and emerging therapies. *Nat Rev Cardiol* 2019;16(12):707-26. doi: 10.1038/s41569-019-0221-2.
17. Draghici AE, Taylor JA. Baroreflex autonomic control in human spinal cord injury: physiology, measurement, and potential alterations. *Auton Neurosci* 2018;209:37-42. doi: 10.1016/j.autneu.2017.08.007
18. Gee CM, West CR, Krassioukov AV. Boosting in elite athletes with spinal cord injury: A critical review of physiology and testing procedures. *Sports Med* 2015; 45(8):1133-42. doi: 10.1007/s40279-015-0340-9
19. Nightingale TE, Bhangu GS, Bilzon JLJ, Krassioukov AV. A cross-sectional comparison between cardiorespiratory fitness, level of lesion and red blood cell distribution width in adults with chronic spinal cord injury. *J Sci Med Sport* 2020; 23(2):106-11. doi: 10.1016/j.jsams.2019.08.015
20. Shaffer RF, Picard G, Taylor JA. Relationship of spinal cord injury level and duration to peak aerobic capacity with arms-only and hybrid functional electrical stimulation rowing. *Am J Phys Med Rehabil* 2018;97(7):488-91. doi: 10.1097/PHM.0000000000000903
21. Ramos PS, Araújo CGS. Cardiorespiratory optimal point during exercise testing as a predictor of all-cause mortality. *Rev Port Cardiol* 2017;36(4):261-9. doi: 10.1016/j.repce.2016.09.011
22. Costa RMR, Lisboa PMA, Santos MA, Mainenti MRM, Lopes AJ, Vigário PS. Aptidão cardiorrespiratória durante o teste cardiopulmonar de esforço de indivíduos com amputação unilateral de membro inferior. *Rev Bras Fisiol Exerc* 2021;20(5):542-551. doi: 10.33233/rbfex.v20i5.4824

