

---

**REVISÃO**

---

# **Influência de fatores fisiológicos e biomecânicos na avaliação da capacidade cardiorrespiratória ( $VO_2$ máx) em pacientes hemiparéticos por sequela de acidente vascular encefálico**

## ***Influence of physiological and biomechanical factors in the assessment of cardiorespiratory fitness ( $VO_2$ max) in patients with hemiparetic stroke***

Wendell Bernardes\*, Paulo Tarso Veras Farinatti, D.Sc.\*\*

---

*\*Especialista em Fisioterapia Neurológica (Universidade Católica de Petrópolis- UCP) e Fisiologia do Exercício (Universidade Federal de São Carlos-UFSCar). Mestrando em Ciências da Atividade Física da Universidade Salgado de Oliveira (UNIVERSO), \*\*Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Professor Titular do Curso de Mestrado em Ciências da Atividade Física da Universidade Salgado de Oliveira (UNIVERSO)*

---

### **Resumo**

O acidente vascular encefálico (AVE) geralmente acarreta alterações neurológicas com comprometimentos sensitivos e motores. Isso leva à adoção de estilo de vida sedentário, com consequente redução da aptidão cardiorrespiratória. Por isso, exercícios aeróbios vêm sendo inseridos sistematicamente na reabilitação neurológica desses pacientes, tornando-se importante a avaliação de sua capacidade cardiorrespiratória. Porém, os protocolos de avaliação cardiopulmonar aplicados na população em geral não são adequados para indivíduos hemiparéticos, em virtude de características como o déficit neuromuscular, alterações musculares periféricas, instabilidade postural e mudança na biomecânica da marcha. A presente revisão analisou as principais influências dos fatores fisiológicos e biomecânicos na avaliação da capacidade cardiorrespiratória máxima

( $VO_2$ máx) em pacientes hemiparéticos por sequela de AVE. Os artigos foram obtidos nas bases de dados Medline (*National Library of Medicine*), Cochrane Database of Systematic Reviews, Lilacs, Physiotherapy Evidence Database (Pedro) e Scielo (Scientific Eletronic Library Online), originalmente publicados na língua inglesa e portuguesa, sem limite de data. As evidências indicam que as alterações vasculares e musculares no membro parético, bem como aspectos biomecânicos, prejudicam a correta avaliação do  $VO_2$  máx durante teste de esforço cardiopulmonar. São necessários estudos que examinem critérios para delinear protocolos de testes incrementais específicos para esta população, no contexto clínico e na pesquisa.

**Palavras-chave:** acidente vascular cerebral, hemiparesia, biomecânica, exercício esforço, saúde.

Recebido em 25 de outubro de 2013; aceito em 1 de novembro de 2013.

**Endereço para correspondência:** Paulo de Tarso Veras Farinatti, Laboratório de Atividade Física e Promoção da Saúde (LABSAU), Instituto de Educação Física e Desportos, Universidade do Estado do Rio de Janeiro Rua São Francisco Xavier, 524, 8o andar, salas 8.121-F e 8.133-F, 20550-013 Rio de Janeiro RJ, E-mail: farinatt@uerj.br

---

## Abstract

Cerebral Vascular Accident (CVA) may provoke neuro-sensitive and motor impairments, increasing sedentarism and compromising the maximal cardio-respiratory capacity ( $VO_{2max}$ ) of the patients. For this reason, aerobic exercises have been systematically introduced in the neurological rehabilitation of hemiparetic patients, making important to correctly evaluate their  $VO_{2max}$ . However, testing protocols currently used in the general population are not adequate to hemiparetic patients, since specific characteristics as neuromuscular deficit, peripheral muscle limitations, postural instability, and change in walking biomechanics may preclude their application. The present review discussed the particularities of hemiparetic patients with regard to physiological and biomechanical

factors, within the evaluation of their  $VO_{2max}$ . The articles were obtained from the following databases: Medline, Cochrane Database of Systematic Reviews, Lilacs, Physiotherapy Evidence Database (Pedro), and Scielo (Scientific Electronic Library Online), originally published in English and Portuguese, with unlimited data. The evidence indicated that vascular and muscle metabolic changes in the paretic limb, in addition to modifications in the walking biomechanics, limit a correct evaluation of  $VO_{2max}$ . Additional research is needed to develop specific criteria to design cardio-pulmonary testing protocols for hemiparetic CVA patients, to be applied in both clinic and research sets.

**Key-words:** stroke, hemiparesis, biomechanics, aerobic, exercise, health.

## Introdução

O acidente vascular encefálico (AVE) é caracterizado por uma síndrome clínica, tendo normalmente origem vascular (isquemia ou hemorragia), que produz alterações neurológicas com manifestações sensitivas, motoras e cognitivas [1]. A ocorrência da doença cerebrovascular (DCV) vem se tornando cada vez mais frequente, principalmente devido ao agravamento ou aumento da presença de fatores de risco na população, como hipertensão arterial sistêmica (HAS), diabetes, obesidade e sedentarismo [2]. Entretanto, grande parte da população acometida por AVE sobrevive, apresentando, contudo, sequelas, dentre as quais se destacam as disfunções neuromusculares.

Obviamente, esse tipo de seqüela limita a realização de exercícios físicos e atividades da vida diária [3]. São diversos os estudos indicando que as sequelas neurológicas apresentadas pelos indivíduos com AVE geram limitações significativas em sua capacidade funcional interferindo, negativamente, na qualidade de vida e independência [3,4]. Da mesma forma, vários são os estudos que demonstram que a aptidão cardiorrespiratória em indivíduos hemiparéticos por seqüela de AVE apresenta-se comprometida, com diminuição significativa da capacidade máxima de consumo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) e consequente aumento do gasto energético para realização das atividades

cotidianas [5,6]. Isso leva, progressivamente, a um estilo de vida mais sedentário, favorecendo o agravamento ou desenvolvimento de co-morbidades como insuficiência pulmonar, hipertensão, diabetes, obesidade, doenças cardiovasculares e doenças vasculares periféricas, além de propiciar a ocorrência de um novo evento vascular cerebral [2,3].

Por outro lado, a realização de exercícios aeróbios vem sendo recomendada como estratégia terapêutica para melhora da aptidão cardiorrespiratória de indivíduos hemiparéticos, objetivando uma redução das doenças associadas e sequelas motoras, bem como melhora da autoestima e qualidade de vida [7-9]. Entretanto, não é difícil entender que as dificuldades de locomoção constituem-se em importantes óbices não apenas para a realização desse tipo de exercício físico, mas também à avaliação da real capacidade de trabalho dos pacientes.

Diante da importância e necessidade de uma criteriosa avaliação do condicionamento cardiorrespiratório pré-participação aos exercícios aeróbios, vários protocolos de testes máximos ou submáximos são utilizados para prescrição de exercícios para indivíduos saudáveis, cardiopatas e pneumopatas [10]. Porém, esses protocolos podem não ser adequados para indivíduos com seqüela de AVE.

Algumas dificuldades encontradas na realização de testes máximos ou submáximos com esse

grupo de pacientes devem-se, principalmente, às limitações neuromotoras impostas pela lesão encefálica [1,3]. Desse modo, testes de esforço gradativo costumam ser limitados por sintomas específicos, mormente os de natureza neuromotora, fato que dificulta a obtenção de valores para o  $VO_2$  máx que traduzam, realmente, a capacidade funcional dos pacientes.

Assim sendo, o objetivo do presente estudo é analisar, através de uma revisão da literatura, as principais alterações fisiológicas periféricas e da biomecânica da marcha de indivíduos hemiparéticos por sequela de AVE e as possíveis repercussões destas para a realização do teste cardiopulmonar (TCP) com objetivo de determinação do  $VO_2$  máx.

## Material e métodos

Os artigos foram obtidos a partir de busca realizada nas seguintes bases de dados: *National Library of Medicine* (Medline), *Literatura Científica e Técnica da América Latina e Caribe* (Lilacs) e Scielo (Scientific Electronic Library Online), originalmente publicados na língua inglesa e portuguesa, sem limite de data. Com o objetivo de sistematizar a busca, esta foi realizada considerando três desfechos distintos que foram divididos em seções, a saber: alterações fisiológicas, alterações biomecânicas e protocolos de avaliação cardiopulmonar em hemiparéticos crônicos por sequela de AVE. Desta forma, utilizaram-se as seguintes palavras-chave: *overground, treadmill, stress test, skeletal muscle e vascular changes*, combinadas com *inclination, gait, biomechanics e hemiparetic stroke*, e sinônimos em português. Após a etapa de busca eletrônica, os artigos selecionados foram avaliados individualmente e interpretados à luz do objetivo do trabalho. Para facilitar a compreensão, o texto foi dividido em três sessões específicas, como descrito a seguir.

## Alterações cardiovasculares e neuromusculares em indivíduos hemiparéticos por sequela de AVE

Dentre as consequências cardiovasculares e neuromusculares que concorrem para uma diminuição expressiva do  $VO_2$  máx em pacientes

hemiparéticos [11], destacam-se: a) diminuição do fluxo e diâmetro vascular, com consequentes alterações no metabolismo oxidativo, principalmente nos músculos paréticos [12]; b) diminuição na velocidade de propagação e quantidade de impulsos nervosos e do potencial de recrutamento das unidades motoras (paresia), atrofia muscular, diminuição da capacidade oxidativa muscular [13,14].

Alguns pesquisadores vêm utilizando instrumentos mais precisos para avaliar a hemodinâmica, metabolismo muscular e consumo máximo de oxigênio em indivíduos com sequelas neurológicas. Billinger *et al.* [12], por exemplo, analisaram o fluxo sanguíneo, o diâmetro e a velocidade de pico de fluxo da artéria femoral dos membros inferiores de indivíduos hemiparéticos, através do *doppler* ultrassônico. Foi constatada uma redução significativa em todas essas variáveis no membro inferior parético. Ivey *et al.* [15] avaliaram o fluxo sanguíneo de repouso e a hiperemia reativa, através da plestimografia de oclusão venosa de mercúrio, demonstrando igualmente haver uma redução significativa de fluxo sanguíneo do membro inferior parético, quando comparado com o não parético. Ambos os estudos consideram que tais alterações no remodelamento vascular estariam associadas à redução da demanda metabólica muscular pela inatividade física após o acidente vascular encefálico.

Ryan *et al.* [13] avaliaram as alterações na composição corporal, estrutura e função muscular de 60 indivíduos hemiparéticos com mais de seis meses de lesão, através de exames específicos com a tomografia computadorizada (TC) e DEXA (absorimetria radiológica de raio x). Os resultados indicaram uma importante atrofia muscular e aumento do conteúdo de gordura intramuscular no membro inferior parético, quando comparado ao não parético. De Deyne *et al.* [16] e McKenzie *et al.* [17] confirmaram esses resultados através de biópsia muscular. O membro parético exibiu mudanças no metabolismo e composição das fibras musculares, com redução da proporção de fibras de contração lenta (metabolismo oxidativo) em relação às fibras de contração rápida. Esses estudos sugerem que a modificação no metabolismo muscular pode estar relacionada com as alterações neuromusculares que ocorrem

após AVE, ajudando a explicar a fadiga muscular precoce do membro inferior parético durante a realização de exercícios contínuos. Por outro lado, o desuso e a inatividade física poderiam estar na origem da significativa atrofia desta musculatura.

Com intuito de quantificar o  $VO_2$  máx dessa população, Kathleen *et al.* [18] avaliaram a aptidão cardiorrespiratória em 28 pacientes hemiparéticos, observando um  $VO_2$  pico significativamente inferior quando comparado a dados normativos do *American College of Sports Medicine* (ACSM) [16] para idosos sedentários com a mesma faixa etária (11,7 ml.Kg.min vs. 25 ml.Kg.min, respectivamente). Macko *et al.* [11] quantificaram, também em esteira rolante, o  $VO_2$  máx de 19 indivíduos hemiparéticos crônicos com idade média de 67 anos, encontrando valores médios de 15,2 ml.Kg.min, o que corresponderia a aproximadamente 50% do habitualmente encontrado em indivíduos saudáveis sedentários de mesma faixa etária. Resultados semelhantes foram obtidos por Mackay-Lyons *et al.* [19] em 29 pacientes hemiparéticos com cerca de 64 anos, após 1 mês de ocorrência do evento vascular – nesse estudo o valor médio de  $VO_2$  pico foi de 14,4 ml.Kg.ml. Interessantemente, em todos os estudos citados, relatou-se que a principal causa de interrupção dos testes ergoespirométricos, ao menos nos indivíduos hemiparéticos, foi fadiga muscular de membros inferiores.

A conjunção desses fatores contribui com o declínio da capacidade de indivíduos hemiparéticos realizarem atividades de vida diária, afetando negativamente a sua qualidade de vida, tanto no aspecto físico quanto emocional. Assim, de maneira geral se aceita que alterações vasculares, metabólicas e musculares constituem importantes marcadores fisiológicos, que poderiam justificar os impactos negativos na capacidade funcional de indivíduos hemiparéticos.

### **Análise da biomecânica da marcha no solo e esteira ergométrica em hemiparéticos crônicos**

A presente seção tem como objetivo descrever as alterações da marcha comumente apresentadas por esses indivíduos, bem como a forma pela qual influenciariam na elaboração de protocolos adaptados de teste.

A marcha é um meio natural de locomoção e a sua estabilidade e gasto energético dependem da interação entre características biomecânicas e controle motor mediado pelo sistema nervoso central e periférico [20]. Embora o ato de andar, para indivíduos normais, represente um baixo consumo energético, para indivíduos hemiparéticos por seqüela de AVE a qualidade da marcha se apresenta comprometida, fatores que podem aumentar significativamente o consumo energético para a locomoção [20].

Apesar de as incapacidades apresentadas por indivíduos hemiparéticos por seqüela de AVE apresentarem características individuais, dependendo da área e extensão da lesão encefálica, a hemiparesia é o déficit de controle motor mais frequente, com alterações no tônus e força muscular [21]. Essas alterações no controle motor geram como consequência alteração do padrão de marcha.

Entretanto, devido à preservação da função do lado não parético, estes indivíduos apresentam estratégias de compensação para se locomoverem. Em geral, na fase de balanço a flexão em massa de quadril, joelho e tornozelo é utilizada para garantir a liberação do pé do contato com o solo, enquanto que na fase de apoio o padrão extensor de quadril, joelho e tornozelo serão utilizados para garantir a estabilidade [20]. Apesar dessas compensações, o déficit de estabilidade e maior gasto energético acarretam, com diferentes gravidades, redução da autonomia, dependência de terceiros, limitação das atividades cotidianas e restrição da participação social, diminuição da capacidade cardiorrespiratória, intolerância à realização de exercícios e diminuição da qualidade de vida em geral [20]. Por isso, a recuperação da capacidade de andar é uma das principais metas do tratamento desses pacientes.

Em que pese o avanço das pesquisas sobre a marcha, poucos são os estudos que compararam a biomecânica do ato de andar na esteira e no solo em indivíduos hemiparéticos crônicos. Kautz *et al.* [22] compararam variáveis espaço-temporais, cinemáticas, eletromiográficas e de controle motor entre o andar na esteira e no solo em 56 idosos hemiparéticos crônicos (idade média 60 anos) e 17 idosos saudáveis (idade média 65 anos). Diferenças significativas

foram detectadas com relação à medida espaço-temporal – o ato de caminhar na esteira foi mais lento, a cadência aumentou e o comprimento do passo diminuiu, além de haver um aumento do percentual do ciclo da marcha na fase de apoio sobre os membros inferiores. Tais modificações foram observadas tanto no grupo controle, quanto no grupo de hemiparéticos.

Apesar das semelhanças entre os grupos estudados, a velocidade autosseleccionada pelos indivíduos hemiparéticos em comparação com idosos saudáveis foi aproximadamente 65% inferior na esteira (0,38 m/s vs. 1,06 m/s, respectivamente) e 54% inferior no solo (0,58 m/s vs. 1,24 m/s, respectivamente). Além disso, o comprimento do passo foi 50% inferior tanto na esteira (0,52 m vs. 1,04 m, respectivamente) quanto no solo (0,85 m vs. 1,30 m, respectivamente). Resultados semelhantes já haviam sido encontrados no estudo de Bayat *et al.* [23], que postulavam que a fraqueza muscular, alterações sensório-motoras associadas ao déficit de equilíbrio e a falta de familiarização com a esteira seriam responsáveis por estas alterações. Tais diferenças levam a crer que seria indicado diminuir a velocidade inicial, final e a razão de incremento em protocolos de avaliação da capacidade cardiorrespiratória de indivíduos hemiparéticos, quando são aplicados testes na esteira ergométrica.

Somando-se às alterações biomecânicas citadas acima, Brower *et al.* [24] observaram 10 sujeitos hemiparéticos com idade média de 64 anos. Ao compararem o gasto energético entre andar no solo e na esteira, observou-se que o caminhar na esteira proporcionou um maior custo metabólico, o que se traduziu em aumento da frequência cardíaca (92bpm x 87bpm, respectivamente) e do consumo de oxigênio (10,91ml/Kg/min x 9,58ml/kg/min, respectivamente) para uma mesma velocidade autosseleccionada. Isso poderia justificar a fadiga precoce dos hemiparéticos ao caminhar na esteira, sugerindo que estes indivíduos poderiam se beneficiar, caso fossem submetidos a um processo de familiarização com o ergômetro antes de uma avaliação cardiopulmonar.

Além da velocidade, a inclinação da esteira é uma variável importante em um teste ergométrico, pois seu incremento promove alterações no

consumo energético e biomecânica da marcha. Nesse sentido, Werner *et al.* [25] avaliaram a influência da inclinação da esteira (0-2-4-6-8%) na marcha de indivíduos hemiparéticos crônicos (n = 20; idade média = 63 anos) em uma velocidade constante. Observou-se aumento do comprimento do passo e diminuição da cadência, aumento relativo da fase de apoio com diminuição da fase de balanço do membro inferior parético, além de aumento da frequência cardíaca ao longo do incremento na inclinação da esteira, com impacto significativo no gasto energético. O estudo destacou que inclinações superiores a 8% poderiam aumentar o desequilíbrio na caminhada, com consequente aumento do risco de queda.

Moreno *et al.* [26] analisaram o efeito da inclinação da esteira (0%, 5% e 10%) sobre os padrões cinemáticos e variáveis espaço-temporais da marcha em velocidade constante (autosseleccionada), em 18 indivíduos hemiparéticos crônicos (idade média 55 anos). Dentre as principais alterações observadas, destacaram-se o aumento da amplitude total de movimento do quadril e joelho, aumento da flexão máxima do quadril na fase de apoio inicial e diminuição da extensão máxima do quadril na fase de apoio terminal, aumento da dorsiflexão de tornozelo na fase de balanço e aumento do ângulo de flexão do quadril, joelho e tornozelo no contato inicial. Infelizmente, o estudo não avaliou as alterações nos padrões de ativação muscular, cuja análise poderia ser relevante para justificar essas mudanças angulares.

Evidentemente, as modificações encontradas nos estudos de Werner *et al.* [25] e Moreno *et al.* [26] podem se constituir em fatores limitantes para a obtenção da real capacidade aeróbia máxima de indivíduos hemiparéticos. Não é incomum que os pacientes interrompam precocemente o teste ergoespirométrico, devido à fadiga muscular de membros inferiores e desequilíbrio com consequente aumento do risco de queda, principalmente quando a inclinação ultrapassa os 5% de grau. Desse modo, protocolos de avaliação da capacidade cardiorrespiratória baseados em aumentos abruptos e crescentes da inclinação da esteira, como, aliás, ocorre em diversos estudos [11,19], podem não ser adequados para indivíduos hemiparéticos.

## Protocolos incrementais para a medida da capacidade funcional em hemiparéticos

Os protocolos incrementais de exercícios mais tradicionalmente aplicados para avaliação da capacidade funcional máxima na esteira ergométrica apresentam como características gerais aumento da velocidade ou inclinação [27]. Além da obtenção do  $\text{VO}_2$  máx, os protocolos incrementais são utilizados para definir a tolerância máxima ao exercício e seus fatores limitantes, estimar o limiar de lactato, limiares ventilatórios e outros componentes da resposta submáxima ao esforço progressivo [10,27]. Pelas razões expostas, a aplicação desses protocolos a indivíduos hemiparéticos crônicos torna-se inviável, principalmente devido ao tempo total do teste, alta velocidade inicial e altos percentuais de inclinação, além do incremento abrupto das cargas. Esse conjunto de características predispõe os pacientes à interrupção precoce do teste, em geral bem antes de se atingirem valores de frequência cardíaca e  $\text{VO}_2$  compatíveis com trabalho máximo.

Uma alternativa viável para os indivíduos hemiparéticos seria a utilização de protocolos em rampa, caracterizados pelo fato de a razão de incremento da velocidade e inclinação ser constante e menor, proporcionando uma relação mais harmoniosa entre o aumento das cargas e as respostas fisiológicas associadas [10,28]. Dentre as vantagens desse tipo de protocolo, destaca-se uma melhor relação linear entre consumo de oxigênio e a razão da carga aplicada e a individualização, já que se pode ajustar o incremento das cargas à capacidade física do paciente [28].

Entretanto, considerando os argumentos até aqui expostos, para a individualização do protocolo em rampa para indivíduos hemiparéticos crônicos por sequela de AVE alguns questionamentos devem ser feitos: 1) Qual a melhor maneira de prescrever a velocidade e inclinação inicial e final do teste e qual sua duração ideal?; 2) Qual seria a melhor maneira de programar a razão de incremento da carga?; 3) Como gerenciar a inclinação da esteira, no caso de protocolos com esse tipo de ergômetro?

Em função da complexidade de fatores que contribuem para a redução da capacidade cardiorrespiratória dos indivíduos hemiparéticos, alguns

protocolos de avaliação da capacidade cardiorrespiratória vêm sendo desenvolvidos com objetivo de se avaliar a capacidade funcional máxima desses indivíduos, conseqüentemente melhorando a qualidade e segurança na prescrição de exercícios aeróbicos [29-31].

Devido à fraqueza muscular e dificuldade de equilíbrio durante a marcha, o cicloergômetro tem sido frequentemente adotado para determinação da capacidade aeróbia máxima de pacientes hemiparéticos. Por exemplo, Potempa *et al.* [29] aplicaram um protocolo em rampa no cicloergômetro, iniciando com carga de 10 Watts com incremento de 10 W a cada minuto até o esforço máximo. Os critérios para considerar o teste como máximo incluíam a exaustão voluntária e razão de troca respiratória (RER) superior a 1,15. Os testes eram interrompidos face a quaisquer sinais ou sintomas cardíacos indesejáveis. A faixa etária do grupo avaliado era de 43 a 72 anos de idade e os resultados demonstraram uma variação de  $\text{VO}_2$  de pico de 15,1 a 16,6  $\text{ml.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , demonstrando uma redução significativa da capacidade cardiorrespiratória quando comparado ao  $\text{VO}_2$  máx previsto para a idade.

Apesar das vantagens do cicloergômetro para avaliar a capacidade cardiorrespiratória, principalmente, devido ao déficit do equilíbrio dinâmico durante a marcha, a dificuldade em se manter a rotação do pedal poderá constituir em um fator limitante para obtenção de um maior  $\text{VO}_2$  máx para esta população. Adicionalmente, deve-se reconhecer que a maioria desses pacientes não tem o pedalar como atividade funcional principal – como dito, protocolos realizados na esteira rolante, além de avaliarem a aptidão cardiorrespiratória, podem ser valiosos para avaliar funcionalmente a qualidade da marcha, o que se faz fundamental nessa população.

Desse modo, protocolos na esteira ergométrica foram desenvolvidos para avaliar a capacidade física de pacientes hemiparéticos. Em estudo pioneiro, Macko *et al.* [11] avaliaram a capacidade cardiorrespiratória de 31 indivíduos hemiparéticos. Antes da aplicação do teste, os pacientes realizaram uma adaptação prévia à esteira ergométrica, que consistia em uma caminhada sem inclinação com velocidade inicial de 0,5 mph, incrementada em 0,1 mph até atingir-se a velocidade de conforto (autosseleção

nada). O protocolo de avaliação em si consistia em caminhar na velocidade autosseleccionada, inicialmente com 0% de grau de inclinação por 2 min. Em seguida, a inclinação era aumentada para 4% de grau de inclinação e, a partir daí, 2% grau de inclinação a cada 2 min. Os indivíduos eram orientados a minimizar o apoio dos membros superiores no corrimão e todos usaram cinto de segurança para realização do teste. Os critérios para interrupção foram instabilidade da marcha e anormalidades cardiovasculares pré-determinadas pelo ACSM. Neste protocolo os pacientes foram capazes de alcançar, em média um  $VO_2$  máx de 15,2 ml.Kg.min, o que corresponderia a aproximadamente 50% do habitualmente encontrado em indivíduos saudáveis sedentários de mesma faixa etária. Como esperado, as principais causas de interrupção do teste relacionaram-se à fadiga de membros inferiores.

Mackay-Lyons *et al.* [19] tomaram por base o protocolo de Macko *et al.* [11] para avaliar a capacidade cardiorrespiratória de 17 pacientes hemiparéticos (idade =  $64 \pm 13$  anos) após um mês da ocorrência do AVE. A velocidade inicial do teste foi definida conforme proposto por Macko *et al.* [11] (velocidade autosseleccionada), mas o incremento das carga foi feito de forma diversa. Assim, após um minuto de aquecimento caminhando-se a 60-70 % da velocidade autosseleccionada, o teste iniciava sem inclinação e na velocidade autosseleccionada por 2 min. Após esse primeiro estágio, seguia-se incremento de inclinação de 2,5% de grau a cada 2 min até se atingir 10% de inclinação. A partir daí a inclinação era mantida e a velocidade era aumentada 0,05 m/s a cada 2 min. Ao atingir-se o esforço máximo, a velocidade era novamente reduzida para 60-70% da autosseleccionada e a inclinação voltava a 0 grau, permanecendo-se 2 min em desaquecimento. Os critérios para interrupção do teste foram os mesmos adotados por Macko *et al.* [11]. O valores médios de  $VO_2$  máx e percentual da FC máx obtidos foram, respectivamente, de 14,4 ml.Kg.min e 84,9 bpm. O estudo relatou que a fadiga generalizada e a falta de ar foram as principais causas de interrupção do teste.

Em todos esses estudos, o protocolo baseou-se em incremento de carga, principalmente através do aumento da inclinação. Porém, apesar do cuidado em garantir com que os pacientes

caminhassem a uma velocidade autosseleccionada constante, há evidências que uma inclinação da esteira ergométrica acima de 5% de grau acarretaria alterações na biomecânica da marcha, com aumento nos ângulos de flexão dos quadris, joelhos e tornozelos, tanto em indivíduos saudáveis como hemiparéticos [25,26]. Como na hemiparesia, normalmente, os músculos flexores de quadril e joelho, bem como os dorsiflexores de tornozelo, se encontram enfraquecidos, a inclinação acaba sendo um componente que aumenta a dificuldade para completar o teste, contribuindo com a sua interrupção precoce em consequência do desequilíbrio e fadiga dos membros inferiores.

Com objetivo de estabelecer a validade de um teste submáximo em esteira, comparando-o com um teste máximo realizado em cicloergômetro, Eng *et al.* [30] realizaram, com pacientes hemiparéticos, teste de caminhada de seis minutos na esteira ergométrica. A velocidade inicial correspondia a 60% da velocidade determinada pelo teste de caminhada de 6 minutos (TC6) no solo. A cada 20 s durante o primeiro minuto do teste a velocidade era aumentada em 0,5 Km/h. No segundo minuto a velocidade permaneceu constante e a inclinação foi incrementada em 2% de grau a cada 20 segundos. Do terceiro ao sexto minutos, velocidade e inclinação permaneceram constantes. Os valores de  $VO_2$  e FC ao final do teste corresponderam, em média, a 77% do  $VO_2$  de pico ( $17,2 \text{ mL.Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) e 80% da frequência cardíaca (148 bpm) aferidos no teste máximo em cicloergômetro. Apesar de o esforço submáximo não substituir o teste de esforço máximo, o estudo concluiu que o teste de seis minutos na esteira poderia ser uma ferramenta importante para subsidiar a prescrição de exercícios cardiorrespiratórios para esses pacientes.

Ovando *et al.* [31] realizaram um teste cardiorrespiratório em hemiparéticos ( $n = 8$ ) como critério para avaliação pré-participação em exercícios aeróbios. Seu protocolo baseou-se em uma adaptação do protocolo de Mackay-Lyons *et al.* [33]: as velocidades inicial e final na esteira ergométrica foram determinadas com base nas velocidades de marcha confortável e máxima obtidas em uma pista de 100 metros. Assim, estabeleceu-se como velocidade inicial calculada como 70% da velocidade confortável, enquanto para a velocidade final cresceu-se 40% à máxima velocidade, ambas aferidas no teste de pista

de 100 metros. O teste tinha duração prevista de 8 min e a inclinação máxima estabelecida foi fixada em 10% de grau. Durante a realização do teste, foi permitido o apoio de membros superiores, devido à instabilidade da marcha. O teste era interrompido mediante solicitação do paciente ou no momento em que fossem observadas instabilidade da marcha, anormalidades clínicas, hemodinâmicas ou eletrocardiográficas. A principal causa de interrupção do teste foi o cansaço, principalmente dos membros inferiores. Os valores de  $\text{VO}_2$  e frequência cardíaca de pico variaram de 46% a 83% e 57% a 99% do estimado para a idade, respectivamente. Pode-se pensar, assim, que o protocolo em rampa individualizado proposto caracterizou-se como sendo submáximo. Desse modo, o protocolo poderia ser utilizado para prescrição de exercícios aeróbios, apesar de limitado para avaliação da máxima capacidade funcional dos pacientes.

Deduz-se que há necessidade de estudos adicionais para definir critérios que otimizem a aplicação de testes incrementais em esteira rolante para indivíduos hemiparéticos por sequela de AVC. Isso, aliás, foi reconhecido em posicionamento da *American Heart Association* [32], indicando ser preciso investir na elaboração de modelos de avaliação que sirvam de base para a prescrição do treinamento aeróbio para esses pacientes. Em linhas gerais, as principais dificuldades encontradas na definição de recomendações concretas para a elaboração de protocolos de rampa, em se tratando de indivíduos hemiparéticos, consistem na padronização e determinação de critérios para a determinação da velocidade e inclinação iniciais e finais na esteira ergométrica. Isso, aliado a uma melhor definição do tempo ideal do teste, ajudaria a estabelecer razões de incremento de carga que pudessem ser suportadas por esses pacientes, de maneira a evitar-se a interrupção precoce do teste ou sua prolongação desnecessária. Evidentemente, ambas as situações podem comprometer a validade do teste e a confiança nas informações obtidas.

## Conclusão

Em virtude das dificuldades neuromotoras, sensitivas e, por vezes, cognitivas, os pacientes com sequela de AVE não conseguem realizar com sucesso protocolos tradicionais de testes de

esforço máximo. Somando-se a estas disfunções, o presente estudo demonstrou que alterações fisiológicas periféricas e as modificações dos padrões biomecânicos da marcha nesta população podem dificultar a obtenção da real capacidade de trabalho em um protocolo incremental na esteira ergométrica. Isso dificulta a prescrição de exercícios aeróbios, comprometendo-se o grau de segurança e efetividade do treinamento.

Apesar dos estudos disponíveis sobre avaliação da capacidade cardiorrespiratória em indivíduos hemiparéticos, pode-se afirmar que há carência de pesquisas que tenham examinado sistematicamente critérios para o delineamento de protocolos de testes incrementais de esforço especificamente desenvolvidos para pacientes com AVE. Estudos adicionais com esse propósito são necessários, fazendo-se úteis no contexto clínico e na pesquisa relacionada à prescrição de exercícios e avaliação funcional desses pacientes.

## Referências

1. Umphered D. Reabilitação Neurológica. 2nd ed. São Paulo: Manole; 2004; 1118p.
2. Kaiser SE. Aspectos epidemiológicos nas doenças coronarianas e cerebrovasculares. *Revista Brasileira da SOCERJ* 2004;1(17):11-7.
3. American College of Sports Medicine. Pesquisas do ACSM para a Fisiologia do Exercício Clínico: Afecções Musculoesqueléticas, Neuromusculares, Neoplásicas, Imunológicas e Hematológicas. American College of Sport Medicine. 2nd ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2010. 302p.
4. Sue AS. Cuidados cardiorrespiratórios em pacientes com déficit neurológico: uma abordagem baseada em evidências. In: De Turk WE, Cahalin LP, eds. *Fisioterapia Cardiorrespiratória – Baseada em Evidências*. Porto Alegre: Artmed; 2007.
5. Mackay-Lyons MJ, Howlett J. Exercise capacity and cardiovascular adaptations to aerobic training early after stroke. *Top Stroke Rehabil* 2005;12(1):31-44.
6. Rimmer JH, Wang E. Aerobic exercise training in stroke survivors. *Top Stroke Rehabil* 2005;12(1):17-30.
7. Teixeira-Salmela LF, Teixeira-Salmela LF, Olney SJ, Nadeau S, Brouwer B et al. Muscle strengthening and physical conditioning to reduce impairment and disability in chronic stroke survivors. *Arch Phys Med Rehabil* 1999;80(10):1211-8.

8. Dean CM, Richards CL, Malouin F. Task-related circuit training improves performance of locomotor tasks in chronic stroke: a randomized, controlled pilot trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2000;81(4):409-17.
9. Gordon NF, Cochair MG, Cochair FC, Fletcher G, Franklin BA, Roth EJ et al. Physical Activity and Exercise Recommendations for Stroke Survivors: American Heart Association Scientific Statement From the Council on Clinical Cardiology, Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention; the Council on Cardiovascular Nursing; the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; and the Stroke Council. *Stroke* 2004;35:1230-40.
10. Diretrizes do ACMS para os testes de esforço e sua prescrição/ American College of Sports Medicine. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2010.
11. Macko RF, Smith GV, Dobrovolsky L, Sorkin JD, Goldberg AP, Silver KH. Treadmill training improves fitness reserve in chronic stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:879-84.
12. Billinger SA, Gajewski BJ, Guo LX, Kluding PM. Single limb exercise induces femoral artery remodeling and improves blood flow in the hemiparetic leg poststroke. *Stroke* 2009;40(9):3086-90.
13. Ryan AS, Dobrovolsky CL, Smith GV, Silver KH, Macho RF. Hemiparetic muscle atrophy and increased intramuscular fat in stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:1703-7.
14. Hafer-Macko CE, Ryan AS, Ivey FM, Macko RF. Skeletal muscle changes after Hemiparetic stroke and potential beneficial effects of exercise intervention strategies. *J Rehabil Res Develop* 2008;45(2):261-72.
15. Ivey FM, Hafer-Macko CE, Ryan AS, Macko RF. Impaired leg vasodilatory function after stroke. Adaptations with treadmill exercise training. *Stroke* 2010;41:2913-17.
16. De Deyne PG, Hafer-Macko CE, Ivey FM, Ryan A, Macko RF. Muscle molecular phenotype after stroke is associated with gait speed. *Muscle & Nerve* 2004;30:209-15.
17. McKenzie MJ, Yu S, Prior SJ, Macko RF, Hafer-Macko CE. Hemiparetic stroke alters vastus lateralis myosin heavy chain profiles between the paretic and nonparetic muscle. *Res Sports Med* 2009;17(1):17-27.
18. Kathleen M, Allen JK, Macko RF. Reduced ambulatory activity after stroke: the role of balance, gait, and cardiovascular fitness. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:1552-6.
19. Mackay-Lyons MJ. Exercise capacity early after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:1697-1702.
20. Kuo AD, Donelan JM. Dynamic principles of gait and their clinical implications. *Phys Ther* 2010;90:157-74.
21. Oliveira-Teixeira IND. O envelhecimento cortical e a reorganização neural após o acidente vascular encefálico (AVE): implicações para a reabilitação. *Ciênc Saúde Coletiva* 2008;13(2):2171-78.
22. Kauts SA, Bowder MG, Clark DJ, Neptune RR. Comparison of motor control deficits during treadmill and overground walking poststroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2011;25(8):756-65.
23. Bayat R, Barbeau H, Lamontagne A. Speed and temporal distance adaptations during treadmill and overground walking following stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2005;19:115-24.
24. Brower B, Parvatanemi K, Olney SJ. A comparison of gait biomechanics and metabolic requirements of overground and treadmill walking in people with stroke. *Clin Biomech* 2009;24:729-34.
25. Werner C, Lindquist AR, Bardeleben A, Hesse S. The influence of inclination on the gait of ambulatory hemiparetic subjects. *Neurorehabil Neural Repair* 2007;21:76-80.
26. Moreno CC, Mendes L, Lindquist AR. Effects of treadmill inclination on the gait of individuals with chronic hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil* 2011;92: 1675-80.
27. Neder JA, Nery LE. Fisiologia clínica do exercício teoria e prática. 1nd. São Paulo: Artes Médicas; 2003.404p.
28. Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M, Froelicher VF. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol* 1991;17(6):1334-42.
29. Potempa K, Lopez M, Braun LT, Szidom JP, Fogg L, Tincknell T. Physiological outcomes of aerobic exercise training in hemiparetic stroke patients. *Stroke* 1995;26:101-5.
30. Eng JJ, Dawson AS, Chu KS. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85(1):113-7.
31. Ovando AC, Stella MM, Carvalho T, Herber V. Avaliação da aptidão cardiopulmonar em indivíduos com hemiparesia após acidente vascular encefálico. *Arq Bras Cardiol* 2011;96(2):140-7.
32. Gary J, Arena R, Sietsema K, Meyers J, Coke L, Fletcher GF. Council on peripheral vascular disease and interdisciplinary council on quality of care and outcomes research. Clinicians guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;122:191-225.