

RESPOSTAS CARDIO-RESPIRATÓRIAS EM PACIENTES COM TRAUMATISMO RAQUIMEDULAR

CARDIORESPIRATORY RESPONSES OF PATIENTS WITH SPINAL CORD INJURIES

FERNANDA ROSSI PAOLILLO¹, ALESSANDRA ROSSI PAOLILLO¹, ALBERTO CLIQUET JÚNIOR²

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi investigar as variáveis cardio-respiratórias (Pa, FC, VO₂, VCO₂ e Ve) durante a Estimulação Elétrica Neuromuscular (EENM) do quadríceps em portadores de lesão medular. Participaram da pesquisa dez pacientes (cinco paraplégicos e cinco tetraplégicos). O protocolo do teste consistiu em 10 minutos de repouso, 20 minutos de EENM dos quadríceps e 10 minutos de recuperação. Durante a EENM foram constatados baixos valores de VO₂ e VCO₂. Os paraplégicos apresentaram rápida cinética dos gases e os tetraplégicos lenta cinética dos gases. Houve o aumento da Pa sistólica e da FC. Ainda, os valores das variáveis cardio-respiratórias foram inversamente relatadas para o nível de lesão, ou seja, quanto maior o nível de lesão, menor os valores. Portanto, a maioria dos pacientes apresentaram algumas limitações nas respostas cardio-respiratórias, indicando realização de exercício exaustivo, mas apresentaram capacidade de realização de exercício induzido artificialmente, possivelmente devido aos benefícios da EENM.

Descritores: Pessoas Portadoras de Deficiência; Reabilitação; Tecnologia Médica, Exercício.

SUMMARY

The objective of this study was to investigate cardiorespiratory responses (Heart Rate, Blood Pressure, VO₂, VCO₂ e Ve) to Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) of the quadriceps in patients with spinal cord injury. Ten patients (five paraplegics and five tetraplegics) participated in this study. The protocol of the test consisted of ten minutes of rest, twenty minutes of NMES of the quadriceps and ten minutes of recovery. The findings in this study indicated that, during NMES, the patients demonstrated low levels of VO₂ and VCO₂ and slow gas kinetics for tetraplegic individuals, and a fast gas kinetics for paraplegic individuals. Moreover, there were increases in blood pressure and heart rate. Cardiorespiratory responses increased with descending spinal cord injury level, meaning that the more severe the lesion, the lower the values. Therefore, most of the patients presented some limitations in cardiorespiratory responses, indicating the performance of exhaustive exercise, but the use of NMES can elicit improvements in exercise tolerance due to its benefits.

Keywords: Disabled Individuals; Rehabilitation; Medical Technology, Exercise.

INTRODUÇÃO

Além da disfunção física e sensorial, várias são as seqüelas da lesão medular, por exemplo, atrofia do sistema músculo-esquelético, espasticidade, disfunção autonômica, mudanças metabólicas, hormonais e neuromusculares, redução da capacidade respiratória, da circulação sanguínea e das dimensões das estruturas cardíacas, que juntamente com o estado sedentário podem conduzir a doenças cardiovasculares e respiratórias. Estas alterações limitam as respostas fisiológicas à atividade motora, podendo ocorrer a rápida instalação da fadiga^(1,2).

A lesão medular, é amplamente investigada, seja através do transplante de células tronco, por meio da aplicação de drogas e de campos elétricos, bem como, pela execução de movimentos sincrônicos e repetitivos, como o treinamento da marcha utilizando o Sistema de Suspensão Corpórea e a reabilitação de membros superiores e inferiores através de Estimulação Elétrica Neuromuscular. Estas técnicas podem resultar em recuperação da função medular^(3,4,5).

A Estimulação Elétrica Neuromuscular é uma técnica alternativa para a restauração e/ou recuperação das funções sensório-motoras perdidas através da ativação artificial dos músculos esqueléticos^(6,7). O exercício induzido artificialmente no quadríceps, em portadores de lesão medular, é realizado na fase inicial do Programa de Reabilitação da Marcha através de EENM, pois o músculo quadríceps é o principal atuador durante a postura ereta e o andar. Assim, o presente estudo teve o intuito de investigar as variáveis cardio-respiratórias – Pressão Arterial (Pa), Frequência Cardíaca (FC), Consumo de Oxigênio (VO₂), Produção de Dióxido Carbônico (VCO₂), Ventilação Minuto (Ve), Pressão Parcial de Oxigênio (Po₂), Pressão Parcial de Dióxido de Carbono (Pco₂) – durante a EENM do quadríceps em paraplégicos e tetraplégicos.

METODOLOGIA

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Após o consentimento, participaram desta pesquisa 10 pacientes com lesão medular (5 paraplégicos e 5 tetraplégicos), do sexo masculino e que fazem parte do Programa de EENM.

O número de 10 pacientes mostra-se significativo para a realização deste estudo, pois são poucos os grupos com esta linha de pesquisa, por exemplo nos EUA, Canadá, Escócia, Japão e este no Brasil. Os pacientes inscritos no programa de Estimulação Elétrica Neuro-Muscular, são aproximadamente 20% tetraplégicos, 5% hemiplégicos e 75% paraplégicos. Estes fatores restringem o espaço amostral, além dos rígidos critérios de exclusão devido ao complexo quadro clínico destes pacientes.

O sistema de reabilitação de portadores de lesão medular através de Estimulação Elétrica Neuromuscular consiste na colocação de eletrodos auto-adesivos na superfície da pele, sobre o ponto motor dos músculos e/ou diretamente nos nervos periféricos, de acordo com os movimentos desejados. O Programa é dividido em três etapas: (1) a fase de condicionamento é realizada com os indivíduos sentados na própria cadeira de rodas, com duração de 20 minutos de estimulação do músculo quadríceps, gerando extensão dos joelhos direito e esquerdo alternadamente, seguidos por 15 minutos de estimulação do nervo fibular, evocando por reflexo a dorsiflexão do pé direito e esquerdo alternadamente, para os tetraplégicos, acrescenta-se 20 minutos de Estimulação de membros superiores; (2) quando é observada a manutenção da extensão do joelho, inicia-se o treinamento do apoio bípede com auxílio de andador e estimulação concomitante do músculo quadríceps direito e esquerdo; (3) posteriormente, inicia-se o treinamento da marcha com auxílio de andador e estimulação dos músculos quadríceps e dos nervos fibulares.

Trabalho realizado no Departamento de Engenharia Elétrica e Bioengenharia, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil. - Departamento de Engenharia Elétrica e Bioengenharia, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil.

Endereço para correspondência: Rua Irmã Maria Saint Felix, 85 – Jardim Cardinali - CEP:13569-600 – São Carlos, SP - E-mail: ferrp@itelefonica.com.br

1. Mestre em Engenharia – Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto e Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP
2. Professor Titular: Dep. Engenharia Elétrica – USP, São Carlos / Dep. Ortopedia e Traumatologia – FCM, UNICAMP

Trabalho recebido em: 23/12/04 aprovado em 20/04/05

A fase de condicionamento, o treinamento do apoio bípede e da marcha foram realizados uma vez por semana e o tempo das sessões variou com o desempenho individual, aproximadamente 45 minutos.

Foi realizado, de acordo com Barros Filho e cols., o Protocolo ASIA (escala de deficiência da American Spinal Injury Association) para classificação em lesão completa (A) ou lesão incompleta (B, C ou D) e o Protocolo FIM (Functional Independence Measure)⁽⁸⁾. O perfil destes pacientes é apresentado na Tabela 1.

Os valores da média e desvio padrão obtidos da altura (cm) e massa (Kg) corpórea dos pacientes paraplégicos são respectivamente, $177 \pm 7,8$ e $84,6 \pm 14,1$. Para os pacientes tetraplégicos os valores obtidos são respectivamente $177,2 \pm 6,94$ e $62,4 \pm 5,02$.

As avaliações cardio-respiratórias (Pa, FC, VO_2 , VCO_2 , Ve, PO_2 e Pco_2) foram realizadas no período diurno e os pacientes foram instruídos a seguir as seguintes recomendações^(9,10):

- Não poderá realizar atividade física intensa 3 dias antes dos testes.
- 24 horas antes do teste, não poderá consumir cafeína, bebida alcoólica e nicotina.
- Os medicamentos deverão ser suspensos 24 horas antes dos testes.
- O esvaziamento do intestino deverá ser realizado na noite anterior ou de manhã e o esvaziamento da bexiga, imediatamente antes do teste ou utilizar a cateterização, para evitar a disreflexia autonômica.
- Deverá realizar uma dieta controlada (30 minutos antes do teste), por exemplo, podendo comer 50g de pão, 10g de queijo, 10g de presunto e 200 ml de suco de laranja ou uma fruta, para evitar a hipoglicemia durante o exercício.

O Protocolo do teste consistiu em 10 minutos de repouso, 20 minutos de EENM do quadríceps direito/esquerdo (contração isotônica concêntrica) e 10 minutos de recuperação em repouso (Figura 1).

Os parâmetros de estimulação utilizados foram: tipo de onda monofásica bipolar, ciclo de trabalho 4/12, frequência de 25 Hz, duração de pulso de 300 ms e amplitude de 0 a 150 V ajustável de acordo com cada paciente para manter a extensão máxima do joelho durante a estimulação do quadríceps.

A Pa foi mensurada pelo método do esfigmomanômetro durante o 5º, 25º e 35º minuto de execução do teste. A FC foi monitorada por Eletrocardiograma (ECG), registrando os dados frequência à frequência (o ECG foi o método escolhido para mensuração da FC, pois no estudo piloto utilizou-se o Polar S810 e constatou-se ruído, durante a EENM, em alguns casos). Para avaliação do VO_2 , VCO_2 , Ve, PO_2 e Pco_2 foi utilizado o analisador de gases Sormedics V_{max} 29C, registrando os dados res-

Pacientes	Idade (anos)	Nível de Lesão	ASIA	FIM*	Causa da Lesão	Tempo de Lesão (anos)	Data de Início da EENM	Fase de Treinamento Atual no Programa de EENM
1	33	T9-T10	A	116	Ferimento por Arma de Fogo	4	Ago/2002	Marcha
2	28	T9	A	116	Ferimento por Arma de Fogo	4	Jan/2002	Marcha
3	36	T6-T7	B	116	Acidente Automobilístico	4	Fev/2000	Marcha
4	40	T6	A	114	Ferimento por Arma de Fogo	9	Fev/2000	Marcha
5	31	T5	B	113	Acidente Automobilístico	16	Set/1999	Marcha
6	35	C7	A	71	Ferimento por Arma de Fogo	8	Jun/2002	Condicionamento
7	31	C6-C7	B	88	Acidente Automobilístico	12	Mar/1999	Condicionamento
8	25	C5-C6	A	65	Mergulho	10	Fev/2003	Condicionamento
9	26	C5	A	74	Mergulho	2	Fev/2001	Condicionamento
10	28	C4-C5	A	55	Mergulho	14	Mar/1999	Condicionamento

Tabela 1 - Perfil dos pacientes com traumatismo raquimedular.

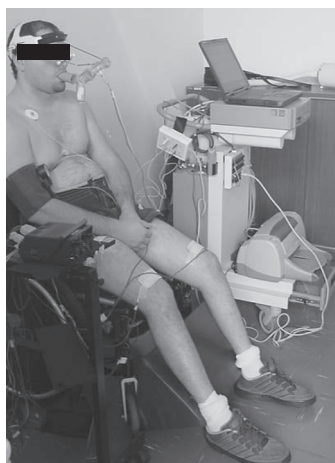


Figura 1 - Procedimento experimental.

piração à respiração. A aquisição dos parâmetros cardio-respiratórios foram obtidos utilizando o V_{max} Software.

Foi realizada a inspeção visual dos gráficos e posteriormente a partir dos resultados obtidos puderam se formar dois grupos (paraplégicos e tetraplégicos). A partir dos dados das fases de transição do teste (repouso, EENM e recuperação) foram obtidos a média e o desvio padrão dos valores das variáveis cardio-respiratórias dos pacientes em cada grupo.

RESULTADOS

De acordo com os resultados observados nas Tabelas 2 e 3, os tetraplégicos apresentaram valores inferiores das variáveis cardio-respiratórias durante o repouso e EENM, comparado aos paraplégicos.

Quanto aos parâmetros hemodinâmicos, durante o repouso foi observado apenas no grupo dos tetraplégicos a ocorrência de bradicardia e hipotensão. Durante a EENM houve o aumento

da FC e da Pa Sistólica na maioria dos pacientes paraplégicos e tetraplégicos, enquanto a Pa Diastólica não apresentou alterações. Entretanto, em alguns pacientes no início da EENM houve bradicardia ou FC inalterada, mas com aumento linear tardio, em outros casos, também foi observado o aumento inicial, seguido de queda e aumento novamente.

Os paraplégicos atingiram o regime permanente no início da estimulação, apresentando rápida cinética dos gases (Figura 2-a) comparada aos tetraplégicos que atingiram o regime permanente no final da EENM, apresentando lenta cinética dos gases (Figura 2-b). Ainda, na maioria dos pacientes foram constatados altos valores de PO_2 e baixos valores de Pco_2 (Figura 3).

Durante a recuperação os pacientes apresentaram o decréscimo linear na cinética dos gases, atingindo os valores de repouso, mas a FC ainda estava elevada (Figura 4).

DISCUSSÃO

Durante o repouso e EENM foram observados baixos valores de VO_2 , VCO_2 e Ve nos pacientes. Ainda, esses valores foram inversamente proporcionais ao nível de lesão, ou seja, em pacientes com tetraplegia os valores foram inferiores aos obtidos pelos pacientes com paraplegia. Estes resultados podem estar relacionados com a fraqueza ou algum grau de paralisia dos músculos respiratórios, além da menor distensibilidade do pulmão e do gradil torácico⁽¹¹⁾, pois a raiz motora para o diafragma ocorre entre C3-C5, para os músculos abdominais entre T7-T12 e para os músculos torácicos e intercostais entre T8-T12. Ainda, a demanda de oxigênio no músculo paralisado pode ser reduzida e a circulação hipocinética pode conduzir ao reduzido transporte

Variáveis Cardio-respiratórias	Repouso	EENM	Recuperação
VO_2 (l/min)	$0,22 \pm 0,02$	$0,48 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,02$
Vco_2 (l/min)	$0,15 \pm 0,01$	$0,40 \pm 0,08$	$0,19 \pm 0,02$
Ve (l/min) BTPS	$10,01 \pm 1,41$	$18,2 \pm 3,64$	$11,98 \pm 2,23$
pO_2 (mmHg) STPD	$93,48 \pm 2,73$	$100,63 \pm 3,37$	$105,61 \pm 2,24$
pCO_2 (mmHg) STPD	$37,99 \pm 1,77$	$35,43 \pm 1,12$	$32,33 \pm 1,51$
FC (bpm)	$85,4 \pm 8,01$	$99,25 \pm 9,57$	$93,99 \pm 7,65$
Pa Sistólica (mmHg)	$116 \pm 5,4$	$144 \pm 5,4$	$121 \pm 8,94$
Pa Diastólica (mmHg)	$76 \pm 5,4$	$74 \pm 8,94$	$74 \pm 8,94$

Tabela 2 - Parâmetros cardio-respiratórios dos paraplégicos.

de O₂ e CO₂ devido à ausência de bomba muscular esquelética e controle vasomotor durante o repouso⁽⁹⁾.

Ainda, os pacientes com lesão medular, em especial aqueles com lesão acima de T6, podem apresentar perda do controle simpático para o coração, medula adrenal e resposta vasomotora, bem como perda da resposta temerregulatória^(9,12,13), o que pode estar relacionado com os

baixos níveis cardio-respiratórios, com a lenta cinética dos gases e conseqüente alterações dos valores de Po₂ e Pco₂ durante a EENM.

Os pacientes paraplégicos atingiram o regime permanente no início da EENM, o que indica bom condicionamento, pois a rápida cinética do VO₂ no início do exercício demonstra que há O₂ necessário para o músculo exercitado gerar ATP, com predominância da via aeróbica. Já os tetraplégicos apresentaram lenta cinética dos gases, o que reflete a predominância da via anaeróbica láctica, pois a lenta cinética do VO₂ no início do exercício indica O₂ insuficiente para o músculo exercitado gerar ATP, então a produção de ATP é decorrente da glicólise anaeróbica⁽¹⁴⁾.

Os valores alterados de Po₂ e Pco₂ indicam realização de exercício exaustivo, pois a ventilação aumenta mais que o VO₂, e resulta em maior Po₂. Altos valores de Po₂ diminuem a fixação de oxigênio na hemoglobina, o efeito Bohr, que reduz a capacidade do sangue em transportar oxigênio até os músculos ativado durante o exercício, e assim, diminui o desempenho. Em exercício exaustivo, pelas mesmas razões apontadas para o oxigênio, a Pco₂ constante ou diminuída indica que não há acúmulo excessivo de íons H⁺ como resultado do excesso de CO₂. Já o aumento da Pco₂, resulta no aumento da ventilação para eliminar o excesso de CO₂⁽¹⁵⁾.

A bradicardia e hipotensão observada nos tetraplégicos durante o repouso podem estar relacionadas com a regulação neural da função cardiovascular, devido a disfunção simpática para o coração e para os vasos sanguíneos abaixo do nível de lesão, que juntamente com a perda da bomba muscular esquelética conduzem a redução do retorno venoso e da eficiência cardíaca^(16,17).

Durante a EENM, foi observado o aumento da FC e da Pa sistólica nos pacientes, embora os portadores de lesão medular possam apresentar perda da resposta vasoconstritora abaixo do nível de lesão (membros inferiores, área esplânica e abdominal), o que pode resultar em concentração sanguínea nos membros inferiores e hipotensão durante o exercício com os membros superiores ou ortostatismo (postura sentada ou ereta passivamente). Então, estes resultados estão relacionados aos benefícios hemodinâmicos propiciados pela EENM, como a ativação da bomba muscular esquelética, que aumenta o retorno venoso, o enchimento ventricular, a distensibilidade das fibras do miocárdio, a força de contração, o volume sistólico, a FC, o débito cardíaco e a Pa, segundo a Lei de Frank Starling⁽⁹⁾.

Ainda, a ativação da bomba muscular esque-

Variáveis	Repouso	EENM	Recuperação
Cardio-respiratórias			
Vo ₂ (l/min)	0,15 ± 0,01	0,29 ± 0,02	0,16 ± 0,01
Vco ₂ (l/min)	0,10 ± 0,01	0,23 ± 0,02	0,12 ± 0,01
Ve (l/min) BTPS	9,38 ± 1,18	14,48 ± 3,71	9,6 ± 0,96
pO ₂ (mmHg) STPD	98,73 ± 2,34	104,39 ± 3,79	106,70 ± 2,89
pCO ₂ (mmHg) STPD	35,08 ± 2,36	32,62 ± 2,42	30,55 ± 1,53
FC (bpm)	67,39 ± 5,65	89,64 ± 8,22	83,84 ± 6,28
Pa Sistólica (mmHg)	104 ± 4,41	128 ± 5,03	112 ± 4,47
Pa Diastólica (mmHg)	68 ± 3,36	70 ± 6,36	70 ± 5,67

Tabela 3 - Parâmetros cardio-respiratórios dos tetraplégicos.

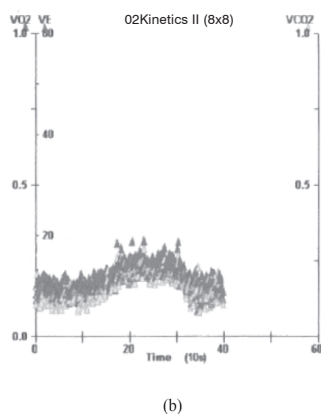
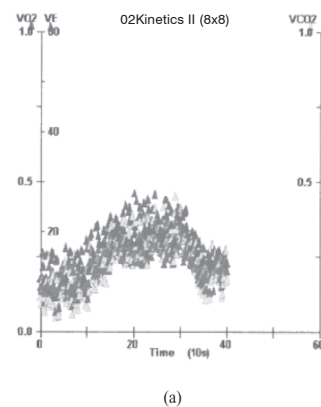


Figura 2 - Rápida cinética dos gases em paraplegia (a) e lenta cinética dos gases em tetraplegia (b).

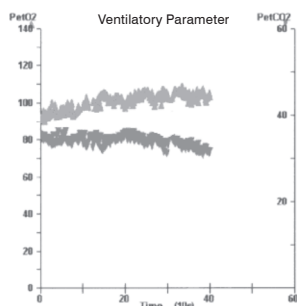


Figura 3 - Aumento da Po₂ e redução da Pco₂.

lética e o aumento do retorno venoso, propiciados pela EENM nos membros inferiores, favorecem a ação dos fatores humorais, isto é, o transporte dos substratos metabólicos do músculo ativado artificialmente (por exemplo, o ácido láctico e a elevada temperatura corpórea), que pode ajudar os pacientes a responderem ao estresse do exercício físico resultando em aumento da FC e Ve. O feedback humoral pode

estar relacionado com a elevada FC no período de recuperação. No estudo de Kjaer et al.⁽¹⁸⁾, foi constatado o aumento da FC em paraplégicos e tetraplégicos durante o ato de pedalar induzido por EENM e estes valores permaneceram elevados no período de recuperação, devido à ação do feedback humoral, pois quando o mesmo procedimento foi realizado com oclusão vascular nos membros inferiores, a resposta da FC ao exercício foi inferior e reflete o reduzido retorno venoso que limita o transporte dos substratos metabólicos do músculo ativado artificialmente⁽¹⁸⁾.

Já o aumento da FC no início da EENM, pode estar relacionado com a saída do tônus vagal. Enquanto, a FC inalterada no início da EENM, pode estar relacionada com o controle do tônus parassimpático vagal para o nódulo S-A e os fatores humorais podem explicar o aumento tardio da FC. Ainda, o aumento da FC observado em alguns pacientes durante a EENM também pode estar relacionado com algum grau de controle simpático preservado para a medula adrenal, (que apresenta inervação entre T3-L3 com maior porção entre T6-T10) e para o coração (nos pacientes com nível de lesão medular acima T6), pois a perda do controle simpático para o coração pode não resultar em cardioaceleração durante o exercício e a perda do controle simpático para medula adrenal pode resultar em liberação anormal das catecolaminas, ou seja, adrenalina e noradrenalina^(10,13).

A bradicardia no início da EENM concomitante ao aumento da Pa, provavelmente não foi associada com a disreflexia autonômica, pois o aumento da Pa sistólica não ocorreu acima de 40 mmHg do valor basal⁽¹⁶⁾. Também não foi observado suor acima do nível de lesão, piloereção e mal-estar. Então, a dissociação entre FC e Pa pode estar relacionada com o aumento do retorno venoso, resultando em efeito de Starling, com aumento da pressão sanguínea e ativação do reflexo barorreceptor, com conseqüente bradicardia. Este resultado é semelhante aos encontrados em portadores de lesão medular que retornaram à posição supina, após o estresse ortostático com EENM nos membros inferiores⁽¹⁹⁾.

Estes dados sobre as respostas da FC em portadores de lesão medular acima de T6 são importantes também para os pacientes que realizaram o transplante de coração e portanto apresentam coração denervado.

Entretanto, deve se ter cautela na interpretação dos dados da FC, pois suas flutuações também podem estar relacionadas com a distorção do sinal do ECG, pois alguns dos pacientes possuem hastas metálicas, pinos e até

balas de arma de fogo alojadas no corpo. Ainda, Morh et al. constatou o padrão de estimulação refletido nos sinais obtidos por Eletrocardiograma, alterando os resultados da FC em portadores de lesão medular⁽²⁰⁾. Então, diante destes problemas, Jacobs e Mahoney (2002) optaram pelo método palpatório durante as avaliações⁽²¹⁾, mas este método não é científico e a mensuração da FC constitui-se em problema metodológico durante a EENM.

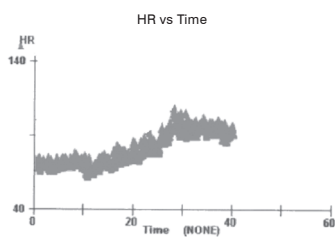


Figura 4 - Resposta da FC.

CONCLUSÃO

Foi observado nos pacientes avaliados na atual pesquisa, que o tipo de lesão (completa ou incompleta) não interferiu nos parâmetros cardio-respiratórios durante o repouso e EENM. Mas as respostas diferiram-se de acordo com o nível de lesão, de atividade física e de independência funcional, ou seja, os paraplégicos realizam o treinamento da marcha e também apresen-

tam maior índice de Independência Funcional (FIM) comparado aos pacientes tetraplégicos, que ainda estão na fase de condicionamento para marcha e apresentam menor Índice de Independência Funcional (Tabela 1).

Embora as respostas cardio-respiratórias apresentaram algumas limitações, os pacientes demonstraram capacidade de realização de exercício induzido artificialmente, o que sugere possíveis mecanismos compensatórios e a utilização do ácido láctico como fonte de energia para o trabalho muscular⁽²¹⁾. Estes fa-

tores constituem paradigmas do exercício em pacientes com traumatismo raquimedular.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). – Processo nº 96/12198-2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Edgerton VR, Roy RR, Hodgson JÁ, Day MK, Weiss J, Harkema SJ et al. How the science and engineering of spaceflight contribute to understanding the plasticity of spinal cord injury. *Acta Astronautica* 2000; 47:51-62.
2. Huonker M, Schmid A, Sorichter S, Schmidt T, Arno B, Mrosek P, Keul J. Cardiovascular differences between sedentary and wheelchair-trained subjects with paraplegia. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 609-13.
3. Grill WM, McDonald JW, Peckham PH, Heetderks W, Kocsis J, Weinrich M. At the Interface: Emerging Clinical Applications of Electrical Stimulation: opportunities for restoration of function. *J Rehabil Res Dev* 2001; 38:633-9.
4. Lankhorst AJ, Laak MP, Hamers FPT, Gispens WH. Combined treatment with a msh and methylprednisolone fails to improve functional recovery after spinal cord injury in the rat. *Brain Res* 2000; 859:334-40.
5. Poynton AR, O'Farrell DA, Shannon F, Murray P, McManus F, Walsh MG. an evaluation of the factors affecting neurological recovery following spinal cord injury. *Injury* 1997; 28:545-8.
6. Cliquet A Jr, Castro MCF. Artificial sensorymotor integration in spinal cord injured subjects. *Artificial Organs* 2000; 24:710-7.
7. Sepúlveda F, Cliquet A Jr. Gait restoration in a spinal cord injured subject via neuromuscular electrical stimulation controlled by an artificial neural network. *Int J Artif Organs* 1998; 21:49-62.
8. Barros Filho TEP, de Oliveira RP, Kalil EM, Prada FS. Avaliação padronizada nos traumatismos raquimedulares. *Rev Bras Ortop* 1994; 29:99-106.
9. Hopman TEM, Monroe M, Dueck C, Phillips WT, Skinner JS. blood redistribution and circulatory responses to submaximal arm exercise in persons with spinal cord injury. *Scand J Rehabil Med* 1998; 30:167-74.
10. Steinberg LL, Lauro FAA, Sposito MMM, Tufik S, Mello MT, Naffah-Mazzacarrati MG, Cavalheiro EA, Silva AC. Catecholamine response to exercise in individuals with different levels of paraplegia. *Braz J Med Biol Res* 2000; 33:913-8.
11. Baydur A, Adkins RH Milic-Emili J. Lung Mechanics in Individuals with Spinal cord Injury Level and Posture. *J Appl Physiol* 2001; 90:405-11.
12. Bhambhani, Y. Physiology of wheelchair racing in athletes with spinal cord injury. *Sports Med* 2002; 32:23-51.
13. Schmid A, Huonker M, Stahl F, Barturen JM, König D, Heim M, Lehmann M, Keul J. Free plasma catecholamines in spinal cord injury persons with different injury levels at rest and during exercise. *J Auton Nerv Syst* 1998; 68:96-100.
14. Wilmore JH, Costill DL. Physiology of sport and exercise. Champaign: Human Kinetics; 1994.
15. Powers SK, Howley ET. Exercise physiology – theory and application to fitness and performance. 2ªed. Dubuque, Iowa, Brown & Benchmark, 1994.
16. Inoue K, Hajime O, Hayano J, Shinji M, Kamada T, Kuno M, Kumashiro M. Assessment of autonomic function in traumatic quadriplegic and paraplegic patients by spectral analysis of heart rate variability. *J Auton Nerv Syst* 1995; 54:225-34.
17. Theisen D, Vanlandewijck Y, Sturbois X, Francaux M. Central and peripheral haemodynamics in individuals with paraplegia during light and heavy exercise. *J Reab Med* 2001; 33:16-20.
18. Kjaer M, Pott F, Mohr T, Tornøe P, Secher NH. Heart rate during exercise with leg vascular occlusion in spinal cord injury. *J Appl Physiol* 1999; 86:806-11.
19. Elokda AS, Nielsen DH, Shields RK. Effect of functional neuromuscular stimulation on postural related orthostatic stress in individuals with acute spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev* 2000; 37:535-42.
20. Mohr T, Christensen PT, Biering-Srensen F, Secher NH. Measurement of heart rate during exercise induced by cyclic fes in spinal cord injured individuals: methodological problems. *Artificial Organs* 1996; 20:1252.
21. Jacobs PL, Mahoney ET. Peak exercise capacity of electrically induced ambulation in persons with paraplegia. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34:1551-6.