

Benefícios da marcha com assistência robótica na lesão medular: uma revisão sistemática

Benefits of robotic-assisted gait in spinal cord injury: a systematic review

Francine Bertolais do Valle Souza¹, Pedro Cláudio Gonsales de Castro², Denise Vianna Machado Ayres³, Maria Cecília dos Santos Moreira⁴, Linamara Rizzo Battistella⁵

RESUMO

Objetivo: Avaliar a qualidade atual de evidências quanto à eficácia da marcha robótica com suspensão de peso corporal em indivíduos com lesão medular, com ênfase no desempenho da marcha. **Método:** O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases de dados PubMed, LILACS e EMBASE referentes às publicações de ensaios clínicos dos últimos doze anos (2000-2012), utilizando-se a relação entre as palavras chave *Spinal cord injury AND (gait OR walking OR deambulation) reahbilitation AND robotic AND (lokomat OR ReoAmbulator OR Formador Gait)*. **Resultados:** Dos oito estudos selecionados, apenas um não observou melhora no padrão de desempenho da marcha. Dos estudos que encontraram melhora, 6 encontraram melhora estatisticamente significativa e um não encontraram nenhuma diferença significativa, apesar de uma tendência de melhora ter sido observada. As conclusões destes estudos foram obtidas por meio de ferramentas de avaliação como o teste de caminhada de 6 minutos e de 10 metros, MIF (medida de independência funcional, WISCI II (Índice de caminhada de Lesão Medular), entre outros. Alguns estudos apontam uma diminuição na necessidade de órteses e dispositivos auxiliares nesse grupo. Quanto à qualidade metodológica, seis artigos apresentaram escores inferiores a 3 pontos e apenas um artigo teve a pontuação máxima de 5 na escala JADAD (baixa qualidade pontuação inferior a 3) Implicação/Impacto na reabilitação. **Conclusão:** Apesar da pequena quantidade de artigos encontrados, da baixa qualidade metodológica e o fato desta ser uma intervenção nova e de alto custo, os resultados são significativos quando comparados com a terapia física convencional e outras técnicas bem estabelecidas na fisioterapia.

Palavras-chave: Traumatismos da Medula Espinal, Marcha, Robótica, Reabilitação

ABSTRACT

Objective: To evaluate the quality of current evidence regarding effectiveness of body weight-supported, robot-assisted gait in subjects with spinal cord injury, with emphasis on gait performance. **Method:** A survey was conducted in PubMed, LILACS and EMBASE using the keywords “spinal cord injury” AND (gait OR walking OR deambulation) reahbilitation AND robotic AND (Lokomat OR ReoAmbulator OR Formador Gait). Clinical trials published between 2001-2012 which compared locomotor training with or without other intervention were included. **Results:** From the 8 selected studies, only one did not find improvement in gait performance. From the studies which found improvement, 6 found statistically significant improvement and one found no significant difference, although a tendency to improvement was noticed. The findings of these studies were obtained through assessment tools like the six-minute and the ten-meter walk tests, FIM (Functional Independence Measure, WISCI II (Walking Index for Spinal Cord Injury), among others. Some studies pointed to a decrease in the need for orthotics and assistive devices in this group. Regarding methodological quality, 6 articles presented scores lower than 3 points and only one article got the maximum score 5 in JADAD scale (low quality less than 3). Implication/Impact on rehabilitation. **Conclusion:** In spite of the small quantity of articles found, of the low methodological quality noted and the fact that this is a costly and new modality of intervention, the results are significant when compared to conventional physical therapy and to other well-established techniques in physical therapy.

Keywords: Spinal Cord Injuries, Robotics, Gait, Rehabilitation

¹ Fisioterapeuta, Aprimoranda do programa de Reabilitação do Portador de Deficiência Física Incapacitante, Instituto de Medicina Física e Reabilitação - HCFMUSP.

² Fisioterapeuta, Serviço de Fisioterapia do Instituto de Medicina Física e Reabilitação - HCFMUSP.

³ Fisioterapeuta, Chefe do Serviço de Fisioterapia do Instituto de Medicina Física e Reabilitação - HCFMUSP.

⁴ Fisioterapeuta, Diretora do Serviço de Fisioterapia do Instituto de Medicina Física e Reabilitação - HCFMUSP.

⁵ Livre-docente, Professora Associada da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Endereço para correspondência:
Instituto de Medicina Física e Reabilitação HCFMUSP
Serviço de Fisioterapia
Francine Bertolais do Valle Souza
Rua Domingo de Soto, 100
CEP 04116-040
São Paulo - SP

Recebido em 09 de Junho de 2013.

Aceito em 06 de Agosto de 2013.

DOI: 10.5935/0104-7795.20130023

INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos para pessoas com lesão medular (LM) é recuperar a função da marcha. O grau de deficiência resultante da LM é muito variável, dependendo da gravidade da lesão, do segmento da medula espinal em que a lesão ocorre e que fibras nervosas são acometidas. O déficit neurológico pode ser temporário ou permanente e completo ou incompleto e classificado de acordo com a classificação internacional de lesão medular da *American Spinal Injury Association* (ASIA) para a descrição do nível neurológico da lesão e integridade das lesões. Mais de 50% das pessoas com LM têm lesões motoras incompletas e aproximadamente 25% das pessoas com lesão medular incompleta (LMI) traumática deixam de se tornar deambuladores.^{1,2}

Uma das mais importantes abordagens de reabilitação, especialmente para recuperar a função locomotora, é a fisioterapia incluindo práticas repetitivas e intensas. Diferentes modalidades de reabilitação são utilizadas no domínio da fisioterapia, como dispositivos auxiliares, marcha manualmente assistida, esteira rolante, podendo haver ou não suspensão de peso corporal, entre outros.³

A marcha robótica assistida surgiu no final da década de 1990 e atualmente, o sistema mais utilizado comercialmente é o "Lokomat" (Hocoma AG, Suíça), entre outros como, o *ReoAmbulator* (Motorika, EUA), e a *Formador Gait* (Reha-Stim, Alemanha). Trata-se de órteses para marcha, motorizadas, fixada às pernas do paciente, enquanto o mesmo é sustentado por um suspensor de peso corporal (SPC) ao longo de um sistema de esteira rolante, onde as pernas do paciente se movem em um padrão de marcha fisiológico pré-programado.^{4,5}

O treino realizado com assistência robótica, além de mais seguro, alivia os fisioterapeutas do árduo trabalho manual e permite um aumento na intensidade para os pacientes, fator importante na aprendizagem motora. Os robôs permitem sessões de treino mais eficazes, onde os pacientes podem treinar até 1000 passos dentro de uma sessão, enquanto realizariam aproximadamente 300-400 passos na marcha manualmente assistida.^{6,7}

Alguns estudos em favor da assistência robótica apontam maiores benefícios para pacientes não-ambulatoriais enquanto os estudos que relatam melhor resultados em esteira convencional incluíam principalmente pacientes ambulatoriais. Sugerindo que, atualmente, a assistência robótica é mais eficaz para os pacientes severamente afetados.⁵

Embora existam várias abordagens disponíveis para o treinamento locomotor, não há consenso sobre qual delas é a ideal. O que se sabe é que o treinamento locomotor com SPC melhora a capacidade da marcha em indivíduos com LMI, função que muitas vezes não é possível pela incapacidade de suportar seu peso corporal em pé, promovendo benefícios na coordenação dos membros e padrões de ativação muscular, sendo uma das técnicas mais utilizadas atualmente. Vale ressaltar que há muitos benefícios para a caminhada que vão além da restauração da função motora, como benefícios cardiorrespiratórios, saúde dos ossos, função pulmonar, motilidade do intestino, entre outros. Algumas desvantagens em relação ao treino em solo, é que na marcha robótica o indivíduo não se encontra em seu ambiente real, dificultando em algumas situações a transferência dos resultados obtidos. Os graus de liberdade através do qual o sujeito é capaz de andar também são limitados devido à segurança e à complexidade de controle.^{6,8}

Além disso, o custo-benefício é um fator importante na prática diária do treinamento da reabilitação. O alto custo dos dispositivos robóticos levanta a questão da sua eficiência em comparação com outras estratégias utilizadas na reabilitação da marcha. Apesar do uso crescente de dispositivos robóticos no meio clínico não há um consenso em relação ao protocolo ideal levando em conta aspectos como tempo de terapia, número de sessões, se há maiores benefícios para pacientes agudos ou crônicos e outros benefícios que vão além da qualidade da marcha, fazendo-se assim necessária uma revisão com os últimos achados em relação a essa intervenção.⁴

OBJETIVO

Avaliar a qualidade atual de evidências quanto à eficácia da marcha robótica com suspensão de peso corporal em indivíduos com lesão medular, com ênfase no desempenho da marcha. Podendo essa ser ou não comparada a outro tipo de intervenção.

MÉTODO

Fontes de informação

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases de dados PubMed, LILACS e EMBASE referentes às publicações de ensaios clínicos dos últimos doze anos (2000-2012), utilizando-se a relação entre as palavras chave *Spinal*

cord injury AND (gait OR walking OR deambulation) rehabilitation AND robotic AND (Lokomat OR ReoAmbulator OR Formador Gait).

Crítérios de seleção dos estudos

Foram incluídos artigos com participantes de qualquer sexo e idade com um LM; indivíduos com qualquer nível de lesão medular completa e incompleta, independentemente da duração da doença (aguda ou crônica) ou nível de habilidade de marcha; Ensaios clínicos (EC) onde o treinamento locomotor foi utilizado em comparação ou não com qualquer outro exercício fornecido com o objetivo de melhorar a função da marcha após LM. Foram excluídos estudos que não fossem EC; revisões bibliográficas, estudos de caso ou que não incluíssem pessoas com LM.

Avaliação da qualidade da informação

Foram analisados os seguintes dados dos estudos: ano da publicação, tamanho da amostra, testes clínicos realizados pré e pós terapia, duração e protocolo da intervenção e conclusão dos autores. Para avaliação da qualidade foram pontuados segundo os critérios JADAD.⁹

Variável primária

A variável primária foi análise do desempenho da marcha dos pacientes, avaliada por meio de instrumentos pré e pós-intervenção, tais como: *Walking Index for Spinal Cord Injury II* (WISCI II), Teste de caminhada de 6 e 2 minutos, Teste de caminhada de 10 metros, Medida de Independência Funcional (MIF), *Functional Ambulation Category Scale* (FAC), *Spinal Cord Independence Measure* (SCIM), *Lower Extremity Motor Score* (LEMS), segundo descrito nos artigos selecionados.

Variáveis secundárias

Como os benefícios da atividade física vão além da qualidade e desempenho da marcha, também levamos em consideração os efeitos encontrados em relação ao condicionamento físico, atividade muscular, motivação do paciente em relação à atividade proposta e qualidade de vida.

RESULTADOS

A busca na base de dados PUBMED resultou em 101 artigos, sendo que 8 se encaixavam nos critérios de inclusão. Desses 8 artigos encontrados, 3 foram excluídos (um se tratava de uma revisão de ensaios clínicos, outro

utilizava paciente com acidente vascular encefálico e um apresentava apenas a metodologia proposta, sem seus resultados). Na base de dados EMBASE, foram encontrados 35 artigos, destes apenas 5 foram selecionados através do filtro “*controlled study*”, entre os artigos selecionados, um foi excluído por utilizar apenas indivíduos saudáveis em seu estudo e outro por já ter sido citado no levantamento na base de dados PubMed.⁵ Na base de dados LILACS, foram encontrados 4 artigos, dos quais nenhum foi selecionado dentro dos nossos critérios (um dos artigos tratava-se do perfil de marcha de lesados medulares de um centro de reabilitação e os outros três de intervenção com suspensão de peso corporal, porém sem assistência robótica).

Totalizando todas as bases de pesquisa utilizadas, foram encontrados 140 artigos dos quais, 8 selecionados e 132 excluídos (Tabela 1).

Dos estudos selecionados, apenas um não observou melhora no padrão de desempenho da marcha.¹⁰ Entre os que observaram melhora, 6 encontraram melhora estatisticamente significativa^{1,2,5,8,11,12} e um estudo não encontrou diferença significativa apesar de observarem tendência para melhora.¹³

Field-Fote et al.⁸ comparou grupos utilizando SPC associados a assistência manual, assistência robótica, estimulação elétrica em solo ou esteira. Todas as intervenções apresentaram melhora no desempenho da marcha sem diferença estatística, sugerindo uma tendência maior para melhora nos grupos que foram treinados com a estimulação elétrica e utilizou para sua avaliação o teste de caminhada de 6 metros e de 2 minutos.

Schwartz et al.¹² comparou assistência robótica com fisioterapia convencional em pacientes lesados medulares agudos com deficiência grave de deambulação, ao final da reabilitação, ambos os grupos apresentaram uma melhora significativa na pontuação da FAC e do WISCI II, sem diferenças entre os grupos. Habilidades funcionais, de acordo com a pontuação SCIM foram significativamente maiores no grupo robótica em comparação com os controles.

Alcobendas-Maestro et al.² também comparou a assistência robótica com a terapia física convencional e seus resultados apontaram diferenças estatisticamente significativas em favor da terapia com assistência robótica em relação ao teste de caminhada de 6 minutos, MIF, WISCI II e força dos membros inferiores, reduzindo a necessidade de órteses e dispositivos auxiliares nesse grupo.

Tabela 1. Levantamento bibliográfico

Base de Dados	Pub Med	Embase	Lilacs	Total
Resultados	101	35	4	140
EC (Ensaio Clínicos)	5	3	0	8
Excluídos (Estudos de caso, Revisões, etc)	96	32	4	132

Galen et al.¹¹ comparou a intervenção com assistência robótica em indivíduos com lesão medular aguda e crônica. O grupo agudo apresentou uma alteração estatisticamente significativa nos parâmetros temporais da marcha dentro das primeiras 3 semanas de treinamento, analisando a velocidade da marcha, tempo de duplo apoio, comprimento da passada e cadência além de utilizar LEMS e WISCI II como ferramentas de análises.

Jesernik et al.¹³ comparou dois padrões pré definidos de marcha com assistência robótica, em ambos ocorreram adaptações no padrão de marcha, entretanto nenhuma diferença estatística significativa foi encontrada entre os grupos.

Duschau et al.⁵ descreve em seus projetos, os benefícios que vão além do padrão de marcha em lesados medulares, como os efeitos imediatos do treino de marcha robótica comparando no modo de cooperação e não-cooperação com o robô. A variabilidade temporal sob as condições cooperação foram significativamente maiores em relação à variabilidade cinemática e torques de interação reduzidos (mostrando que os pacientes estavam de fato contribuindo ativamente para os movimentos e não contra o robô), maior variação da frequência cardíaca e da atividade muscular no modo de cooperativo do que no modo de controle não-cooperativo. Já Houlding et al.¹ observaram que tanto indivíduos com lesão medular quanto saudáveis são capazes de aumentar a atividade do músculo reto femoral em resposta a uma resistência imposta pelo robô, entretanto o indivíduos com LM apresentam fraca modulação nos diferentes níveis de resistência. Quando retirada a resistência os grupos respondem de maneiras distintas, o grupo controle respondeu com aumento no pico da altura do pé, por aumento na flexão de quadril e do joelho durante o balanço, enquanto que no grupo LMI ocorreu aumento no comprimento do passo.

O resumo da estrutura e conclusão dos estudos selecionados foi feito para simplificar os resultados aqui apresentados (Quadro 1).

DISCUSSÃO

Quanto ao método

Quanto à qualidade metodológica, seis artigos apresentaram escores inferiores a 3

pontos e apenas um artigo teve a pontuação máxima de 5 na escala JADAD (baixa qualidade de pontuação inferior a 3), o que nos mostra a deficiência na qualidade de trabalhos com esse tema.⁹

Muitos artigos falham em sua metodologia justamente por não detalhá-la, deixando vieses que poderiam influenciar em seus resultados. No total participaram 233 indivíduos, não é possível determinar o número exato de participantes do sexo feminino e masculino, pois nem todos os estudos distinguem essa informação. Dos artigos selecionados, nenhum descreve se houve ou não uso do ambiente virtual e *feedback* visual (gráficos) durante a terapia. Ponto importante, pois pode para alguns pacientes tirar o foco ou ao contrário, motivá-los ainda mais. O número de sessões nos artigos variou de 1 a 49, tendo uma média de 17 ($\pm 20,42$) sessões para cada paciente. Como se trata de uma intervenção relativamente nova é difícil definir um consenso sobre o número ideal de sessões, principalmente com essa grande variabilidade encontrada da literatura. O tempo de duração de cada sessão foi homogêneo variando entre 30-60 minutos, como normalmente utilizado nas terapias convencionais.

Devemos destacar o artigo de Alcobendas-Maestro et al.² que cita muito bem em sua metodologia o que foi trabalhado no que dizem como fisioterapia convencional, cita que o mesmo inclui mobilização articular, fortalecimento muscular, alongamentos, entre outros. Em oposição Schwartz et al.¹² deixa vago o que foi realizado nessa intervenção.

Sabe-se que casos agudos geralmente respondem melhor a qualquer intervenção, não sendo diferente com a assistência robótica como apontam Galen et al.¹¹ e Schwartz et al.¹² em seus estudos com pacientes agudos. Mas devemos nos questionar se o grupo crônico de Galen et al.¹¹ não poderia também obter bons resultados se a intervenção fosse mantida por mais tempo, podendo atuar na plasticidade cerebral. Seguindo nesse raciocínio Duschau-Wicke et al.⁵ encontra resultados relevantes investigando os efeitos imediatos do treino de marcha robótica. Sendo assim, seria de grande valia realizar um *follow up* para analisar se houve manutenção dos ganhos

Quadro 1. Relação dos artigos de ensaios clínicos e suas propostas de tratamento

Estudo	Grupo Assistência robótica	Grupo Controle	Duração	Conclusão da Marcha Robótica	Escala de Qualidade de Jadad
Jesernik et al. ¹³	- Cond. 1: Assistência robótica padrão + modificação; - Cond. 2: Assistência robótica padrão + próprio padrão; - Cond. 3: Padrão não fisiológico + próprio padrão (8 min).	---	1 sessão	- Adaptações significativas no padrão de marcha e melhora adicional da reabilitação por maior participação do paciente.	0
Field-Fote et al. ⁸	- Esteira com SPC e assistência robótica	- Treino em esteira com SPC e assistência manual; - Esteira com SPC e estimulação elétrica; - Solo com SPC e estimulação elétrica.	12 semanas	- Benefícios para ambos, com tendência a melhores resultados nos grupos com estimulação elétrica.	2
Duschau-Wicke et al. ⁵	- Assistência robótica: 1- SOFT 2- COOP 3- COOP+ 4- POS	---	1 sessão	- Benefícios maiores em relação à variabilidade cinemática e atividade muscular, torques de interação reduzidos, nos grupos COOP.	0
Field-Fote et al. ¹⁰	- Esteira com SPC e assistência robótica.	- Treino em esteira com SPC e assistência manual; - Esteira com SPC e estimulação elétrica; - Solo com SPC e estimulação elétrica.	49 sessões/ 12 semanas	- Sem benefícios adicionais quanto à velocidade e distância percorrida, quando comparado aos outros grupos.	5
Galen et al. ¹¹	- Esteira com SPC e assistência robótica.	---	6 semanas	- Melhor nos parâmetros temporais da marcha (velocidade da marcha, tempo de duplo apoio, comprimento da passada e cadência) em indivíduos com LM aguda.	0
Houlding et al. ¹	- Assistência robótica com resistência.	- Assistência robótica com resistência.	1 sessão	- Ambos responderam à resistência com um aumento global da atividade do músculo reto femoral.	0
Schwartz et al. ¹²	- Assistência robótica + Fisioterapia convencional.	- Fisioterapia convencional.	25 sessões	- Tratamento adicional para melhorar o resultado funcional dos pacientes com LM subagudos.	0
Alcobendas-Maestro et al. ²	- Assistência robótica + Tratamento físico padrão.	- Treino em solo + Tratamento físico padrão.	40 sessões (8 semanas)	- Melhores resultados em relação ao teste de caminhada de 6 minutos, MIF, II WISCI e força dos membros inferiores, reduzindo a necessidade de órteses e dispositivos auxiliares nesse grupo.	3

SOFT: Soft impedance control mode; COOP: Path control mode; COOP+ Path control mode with increased supportive flow; POS: Stiff position control mode

obtidos, definindo se realmente há necessidade de um longo período de reabilitação com assistência robótica. Os bons resultados de Schwartz et al.¹² e Duschau-Wicke et al.⁵ em pacientes graves, agudos e subagudos

são muito relevantes na questão econômica envolvida, pois pode significar que LM, se tratados precocemente, por um curto período também se beneficiam, uma vez que aproximadamente metade da recuperação motora

ocorre nos primeiros dois meses após a lesão inicial, com uma taxa decrescente após 3-6 meses. O que contribuiria com menor gasto e maior rotatividade dos pacientes em grandes centros de reabilitação, muitas vezes mantidos pelo governo.

Field-Fote et al.⁸ ao apresentou resultados parciais de seu projeto comparando várias intervenções na marcha de lesados medulares, obteve melhora significativa para todos, apesar da comparação entre os grupos não ter sido significativa. Já em 2011 com o trabalho finalizado o grupo assistido com marcha robótica não obteve avanço quando comparado aos demais, destoando-se dos resultados satisfatórios citados nos demais artigos dessa revisão.¹⁰

Variável primária

Muitos estudos avaliam os ganhos funcionais principalmente por testes cronometrados, como o teste de caminhada de 10 metros e teste de caminhada de 2 ou 6 minutos com resultados estatisticamente significativos.^{2,8,10,12} Embora testes cronometrados sejam validados para quantificar a marcha, seus resultados refletem a capacidade do sujeito para completar a tarefa, ou seja, mais rápido ou mais lento e não são capazes de medir a mudança nos parâmetros temporais dos eventos da marcha ou a qualidade da mesma. Instrumentos de avaliação que têm uma capacidade de medir estas mudanças são muitas vezes demorados para administrar e geralmente são dependentes de equipamentos de alto custo (por exemplo, análise cinética e cinemática tridimensional da marcha), o que seria interessante para termos uma análise mais sensível da qualidade da marcha.¹¹

O WISCI II utilizado em grande parte dos artigos indica a capacidade de uma pessoa andar após LM com base na utilização de dispositivos auxiliares, órteses e assistência física de uma ou mais pessoas e mostrou-se uma ferramenta sensível para essa variável.^{2,11,12,14}

Alcobendas-Maestro et al.² além, de encontrarem diferenças estatisticamente significativas em favor da terapia com assistência robótica em relação ao teste de caminhada de 6 minutos, MIF, WISCI II e força dos membros inferiores, aponta que nesse grupo houve redução da necessidade de órteses e dispositivos auxiliares. Já as variáveis como velocidade da marcha, espasticidade, teste de 10 metros, não foram observadas diferenças estatísticas.

Variáveis secundárias

Ao analisarmos os resultados obtidos nos artigos aqui citados nos deparamos com alguns benefícios da assistência robótica que

vão além do fato de melhorar o padrão de marcha em LM. Jesernik et al.¹³ por exemplo, aborda um aspecto importante, a motivação dos pacientes em poder influenciar no padrão de marcha imposto pelo robô durante a terapia, o que dá a eles a sensação de que estão controlando a máquina e não sendo controlados. Duschau et al.⁵ também descreve como resultados imediatos após intervenção robótica maior variabilidade cinemática, frequência cardíaca e atividade muscular, torques de interação reduzidos mostrando que os pacientes estavam de fato contribuindo ativamente para os movimentos e não contra o robô no modo de cooperativo do que no modo de controle não-cooperativo. Houlding et al.¹ observaram que indivíduos com LM assim como os saudáveis são capazes de aumentar a atividade do músculo reto femoral em resposta a uma resistência imposta pelo robô, apesar de apresentarem fraca modulação nos diferentes níveis de resistência.

CONCLUSÃO

Dispositivos robóticos já estão sendo integrados em programas de reabilitação neurológica, com resultados promissores como podemos corroborar com essa revisão e pode ser um aliado valoroso para os profissionais no que diz respeito à reabilitação da marcha quando comparado com a terapia física convencional e outras técnicas bem estabelecidas na fisioterapia. Apesar dos bons

resultados aqui apresentados, a discrepância metodológica, o limitado número de pacientes incluídos nas pesquisas e escassez de *follow up* confirmando a manutenção dos benefícios obtidos, faz-se necessário que mais artigos sejam realizados visando alcançar uma linguagem mais homogênea a favor da marcha com assistência robótica, afim de que melhore o nível de evidência científica quanto ao uso desse recurso na reabilitação de indivíduos com LM.

REFERÊNCIAS

- Houldin A, Luttin K, Lam T. Locomotor adaptations and aftereffects to resistance during walking in individuals with spinal cord injury. *J Neurophysiol.* 2011;106(1):247-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1152/jn.00753.2010>
- Alcobendas-Maestro M, Esclarín-Ruz A, Casado-López RM, Muñoz-González A, Pérez-Mateos G, González-Valdizán E, et al. Lokomat robotic-assisted versus overground training within 3 to 6 months of incomplete spinal cord lesion: randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2012;26(9):1058-63. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/1545968312448232>
- Mehrholz J, Kugler J, Pohl M. Locomotor training for walking after spinal cord injury. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33(21):E768-77. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181849747>
- Swinnen E, Duerinck S, Baeyens JP, Meeusen R, Kerckhofs E. Effectiveness of robot-assisted gait training in persons with spinal cord injury: a systematic review. *J Rehabil Med.* 2010;42(6):520-6.
- Duschau-Wicke A, Caprez A, Riener R. Patient-cooperative control increases active participation of individuals with SCI during robot-aided gait training. *J Neuroeng Rehabil.* 2010;7:43. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-7-43>
- Hidler JM, Wall AE. Alterations in muscle activation patterns during robotic-assisted walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2005;20(2):184-93. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2004.09.016>
- Schmidt H, Werner C, Bernhardt R, Hesse S, Krüger J. Gait rehabilitation machines based on programmable footplates. *J Neuroeng Rehabil.* 2007;4:2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-4-2>
- Field-Fote EC, Lindley SD, Sherman AL. Locomotor training approaches for individuals with spinal cord injury: a preliminary report of walking-related outcomes. *J Neurol Phys Ther.* 2005;29(3):127-37. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/01.NPT.0000282245.31158.09>
- Jadad AR, Moore RA, Carroll D, Jenkinson C, Reynolds DJ, Gavaghan DJ, McQuay HJ. Assessing the quality of reports of randomized clinical trials: is blinding necessary? *Control Clin Trials.* 1996;17(1):1-12. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0197-2456\(95\)00134-4](http://dx.doi.org/10.1016/0197-2456(95)00134-4)
- Field-Fote EC, Roach KE. Influence of a locomotor training approach on walking speed and distance in people with chronic spinal cord injury: a randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2011;91(1):48-60. DOI: <http://dx.doi.org/10.2522/ptj.20090359>
- Galen SS, Clarke CJ, Allan DB, Conway BA. A portable gait assessment tool to record temporal gait parameters in SCI. *Med Eng Phys.* 2011;33(5):626-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.medengphy.2011.01.003>
- Schwartz I, Sajina A, Neeb M, Fisher I, Katz-Luerer M, Meiner Z. Locomotor training using a robotic device in patients with subacute spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2011;49(10):1062-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/sc.2011.59>
- Jezernik S, Schärer R, Colombo G, Morari M. Adaptive robotic rehabilitation of locomotion: a clinical study in spinally injured individuals. *Spinal Cord.* 2003;41(12):657-66. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.sc.3101518>
- Dittuno PL, Ditunno JF Jr. Walking index for spinal cord injury (WISCI II): scale revision. *Spinal Cord.* 2001;39(12):654-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.sc.3101223>