

Ventilação elétrica: indicações e aspectos técnicos do implante cirúrgico do marca-passo de estimulação diafragmática*

Electric Ventilation: indications for and technical aspects of diaphragm pacing stimulation surgical implantation

Miguel Lia Tedde, Raymond P Onders, Manoel Jacobsen Teixeira, Silvia Gelas Lage, Gerson Ballester, Mario Wilson Iersolino Brotto, Erica Mie Okumura, Fabio Biscegli Jatene

Resumo

Objetivo: Pacientes com lesão medular cervical alta em geral são dependentes de ventilação mecânica, que, embora salve vidas, está associada a complicações e redução da expectativa de vida devido a infecções respiratórias. A estimulação do diafragma por marca-passo, às vezes chamada de ventilação elétrica, induz a inspiração por estimulação dos músculos inspiratórios. Nosso objetivo foi destacar as indicações e alguns aspectos da técnica cirúrgica empregada no implante laparoscópico dos eletrodos, assim como descrever cinco casos de pacientes tetraplégicos submetidos à técnica. **Métodos:** A seleção dos pacientes envolveu estudos de condução do nervo frênico por via transcutânea para determinar se os nervos estavam preservados. A abordagem cirúrgica foi laparoscopia clássica, com quatro trocartes. A técnica foi iniciada com o mapeamento elétrico para encontrar os “pontos motores” (pontos de contração máxima do diafragma). Se o mapeamento era bem-sucedido, dois eletrodos eram implantados na face abdominal de cada lado do diafragma para estimular ramos do nervo frênico. **Resultados:** Dos cinco pacientes, três e um, respectivamente, eram capazes de respirar somente com o uso do marca-passo por períodos superiores a 24 e 6 h, enquanto um não era capaz. **Conclusões:** Embora seja necessário um acompanhamento mais longo para chegar a conclusões definitivas, os resultados iniciais são promissores, pois, no momento, a maioria dos nossos pacientes pode permanecer sem ventilação mecânica por longos períodos de tempo.

Descritores: Traumatismos da medula espinal; Quadriplegia; Respiração artificial; Marca-passo artificial; Diafragma.

Abstract

Objective: Patients with high cervical spinal cord injury are usually dependent on mechanical ventilation support, which, albeit life saving, is associated with complications and decreased life expectancy because of respiratory infections. Diaphragm pacing stimulation (DPS), sometimes referred to as electric ventilation, induces inhalation by stimulating the inspiratory muscles. Our objective was to highlight the indications for and some aspects of the surgical technique employed in the laparoscopic insertion of the DPS electrodes, as well as to describe five cases of tetraplegic patients submitted to the technique. **Methods:** Patient selection involved transcutaneous phrenic nerve studies in order to determine whether the phrenic nerves were preserved. The surgical approach was traditional laparoscopy, with four ports. The initial step was electrical mapping in order to locate the “motor points” (the points at which stimulation would cause maximal contraction of the diaphragm). If the diaphragm mapping was successful, four electrodes were implanted into the abdominal surface of the diaphragm, two on each side, to stimulate the branches of the phrenic nerve. **Results:** Of the five patients, three could breathe using DPS alone for more than 24 h, one could do so for more than 6 h, and one could not do so at all. **Conclusions:** Although a longer follow-up period is needed in order to reach definitive conclusions, the initial results have been promising. At this writing, most of our patients have been able to remain ventilator-free for long periods of time.

Keywords: Spinal cord injuries; Quadriplegia; Respiration, artificial; Pacemaker, artificial; Diaphragm.

* Trabalho realizado no Departamento de Cirurgia Torácica, Instituto do Coração – InCor – Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

Endereço para correspondência: Miguel L. Tedde. Rua Itambé, 367, apto. 151A, Higienópolis, CEP 01239-001, São Paulo, SP, Brasil. Tel. 55 11 99653-5030. Fax: 55 11 2661-5197. E-mail: tedde@usp.br

Apoio financeiro: Este estudo recebeu apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP; Processo no. 2010/50785-6) e da *Synapse Biomedical International*.

Recebido para publicação em 25/6/2012. Aprovado, após revisão, em 12/7/2012.

Introdução

Pacientes com lesão medular cervical alta geralmente são dependentes de ventilação mecânica, que, embora salve vidas, está associada a inúmeras complicações sérias, tais como aumento das secreções, dificuldade para falar, ruído constante, aumento da ansiedade, perda do olfato e dificuldade para encontrar moradia ou mesmo cuidados de enfermagem adequados a suas necessidades. Além disso, os pacientes que dependem de ventilação mecânica apresentam significativa redução da expectativa de vida devido a infecções respiratórias, causadas principalmente por ventilação inadequada do lobo posterior. Do ponto de vista econômico, as despesas anuais médias com saúde e moradia decorrentes da dependência de ventilação mecânica em pacientes tetraplégicos nos Estados Unidos são de mais de US\$ 170.000.⁽¹⁾

A estimulação dos nervos frênicos por meio de marca-passo vem sendo utilizada há mais de 40 anos em pacientes que dependem de ventilação mecânica, com resultados variados.⁽²⁾ Entretanto, um recente estudo de acompanhamento em longo-prazo demonstrou redução das infecções respiratórias, melhora da relação custo-benefício e melhora da qualidade de vida em pacientes submetidos a estimulação do diafragma por meio de marca-passo.⁽³⁾

No passado, o método tradicional de estimulação dos nervos frênicos por meio de marca-passo exigia exploração cervical ou toracotomia bilateral seguida de dissecação e mobilização dos nervos frênicos.^(4,5) A implantação dos eletrodos nesses locais pode ser difícil, e, se o nervo frênico for danificado, o diafragma não funcionará. Entretanto, a abordagem mais recente à estimulação diafragmática por marca-passo (isto é, via laparoscopia) evita a toracotomia bilateral, permite a avaliação do diafragma em tempo real e permite que os eletrodos sejam implantados intramuscularmente nos pontos motores dos ramos do hemidiafragma direito e esquerdo.⁽⁶⁾

A ventilação elétrica, mais comumente conhecida como estimulação do diafragma por meio de marca-passo, é a produção de inspiração por meio de estimulação rítmica dos nervos motores e músculos inspiratórios. É uma técnica cujo objetivo é substituir, retardar ou reduzir a necessidade de ventilação mecânica por meio de ventilação com pressão negativa natural usando

o diafragma do paciente. Entretanto, a função dos nervos frênicos precisa ser preservada para que a estimulação diafragmática por marca-passo seja bem-sucedida.^(6,7)

Além de ser utilizada em pacientes com lesão medular ou síndrome de hipoventilação central congênita, a abordagem laparoscópica à estimulação diafragmática por marca-passo tem sido utilizada em pacientes com doença dos neurônios motores ou esclerose lateral amiotrófica (ELA),⁽⁸⁾ bem como em pacientes de difícil desmame internados em UTI.⁽⁹⁾

As indicações para estimulação do diafragma por meio de marca-passo variam de acordo com o caso. Em pacientes com lesão medular, a estimulação diafragmática por marca-passo é usada quando há insuficiência respiratória devido à lesão, ao passo que em pacientes com ELA, a estimulação diafragmática por marca-passo é usada quando surgem os sintomas respiratórios.⁽¹⁰⁾

Recentemente, desenvolvemos um projeto piloto financiado para estimulação do diafragma por marca-passo via implantação intramuscular de eletrodos no diafragma de pacientes que se tornaram dependentes de ventilação mecânica após lesão medular.⁽¹¹⁾ Até onde sabemos, estes são os primeiros relatos de casos de estimulação diafragmática intramuscular por marca-passo na América Latina. O objetivo do presente estudo foi destacar as indicações e alguns aspectos da técnica cirúrgica empregada no implante laparoscópico dos eletrodos de estimulação diafragmática por marca-passo. Descrevemos aqui a versão mais recente da técnica de implante laparoscópico e os resultados das modificações feitas ao longo de mais de 500 implantes realizados mundialmente. Esperamos que o presente estudo possa aumentar a compreensão do procedimento e, assim, ser usado não só como um guia para os cirurgiões envolvidos em implantes, mas também como uma ferramenta para os não cirurgiões que venham a tratar desses pacientes.

Métodos

Entre outubro e novembro de 2011, cinco pacientes que haviam sofrido lesão medular cervical alta (C4 ou mais alta) e que estavam sob ventilação mecânica em longo prazo foram avaliados a fim de determinar se poderiam ser submetidos a estimulação do diafragma por meio de marca-passo (NeuRx®; Synapse Biomedical, Oberlin, OH, EUA), em um ensaio realizado

no Departamento de Cirurgia Torácica e no Departamento de Neurocirurgia do Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em São Paulo (SP). Todos os pacientes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, e o estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da instituição (Processo no. 0551/10).

Investigações específicas foram conduzidas a fim de selecionar os pacientes. As investigações incluíram radiografia de tórax e estudos de condução do nervo frênico por via transcutânea a fim de determinar se os nervos estavam preservados. As características dos pacientes, incluindo gênero, idade, nível da lesão medular, duração da ventilação mecânica, resposta eletromiográfica do nervo frênico direito e esquerdo (determinada por meio de eletroneurografia) e grau de dependência de ventilação mecânica, são resumidas na Tabela 1.

A técnica anestésica empregada foi descrita em um estudo.⁽¹²⁾ Todos os pacientes selecionados apresentavam traqueostomia permanente, chegaram ao centro cirúrgico conectados a seu ventilador habitual e foram transferidos para o ventilador de anestesia (cujos parâmetros foram os mesmos do ventilador mecânico). Esse processo foi revertido ao final do procedimento cirúrgico. Os pacientes foram monitorados por meio de eletrocardiografia, oximetria e medição não invasiva da pressão arterial.

A abordagem cirúrgica foi laparoscopia tradicional, com pneumoperitônio e quatro trocartes. Os pacientes foram colocados na posição supina, com os braços esticados, com elevação de 30° durante a maior parte do procedimento. A exposição do diafragma iniciou-se com a inserção de um trocarte supraumbilical de 10 mm e dois trocartes de 5 mm na incisão subcostal direita e

esquerda. Após a excisão do ligamento falciforme, um trocarte subxifoide de 12 mm foi inserido.

O primeiro passo foi o mapeamento elétrico para localizar os pontos de contração máxima do diafragma. O mapeamento do diafragma foi a etapa crucial do procedimento, já que mostra onde os eletrodos de estimulação diafragmática devem ser implantados. Uma pinça Maryland de dissecação, conectada à estação clínica (Synapse Biomedical, Oberlin, OH, EUA) por meio de um cabo jacaré, foi usada para realizar o mapeamento. A técnica de mapeamento consiste em trabalhar em linhas paralelas ao centro tendíneo do diafragma. Após completar uma linha, o cirurgião prosseguia para cima e para longe do tendão central a fim de identificar áreas de contração máxima, que geralmente estão próximas aos pontos motores (Figura 1).

A avaliação qualitativa baseou-se no grau de contração do diafragma, observado no período intraoperatório. A avaliação quantitativa das alterações da pressão intra-abdominal foi



Figura 1 – Pinça de dissecação sendo usada para mapear o diafragma. Notar a contração diafragmática.

Tabela 1 – Características dos pacientes.

Paciente	Gênero	Idade, anos	Nível da LM	Duração da VM	RE do nervo frênico direito		RE do nervo frênico esquerdo		Dependência de VM
					Latência, ms	Amplitude, ms	Latência, ms	Amplitude, ms	
1	F	26	C3	9 anos	7,8	460	8,8	750	Total
2	F	35	C2-C3	14 anos	7,6	200	7,9	240	Total
3	M	27	C4	1 ano	7,6	240	6,7	320	Total
4	M	16	C4-C5	10 meses	Indeterminadas		8,3	180	Parcial (com oxigênio suplementar)
5	F	40	C3	6 anos	9,1	68	9,0	35	Total

LM: lesão medular; VM: ventilação mecânica; e RE: resposta eletromiográfica.

realizada por meio de um tubo conectado a um dos trocartes laparoscópicos, conectado a um transdutor de pressão.

Se o mapeamento do diafragma era bem-sucedido, quatro eletrodos eram implantados na superfície abdominal do diafragma, dois de cada lado, a fim de estimular os ramos do nervo frênico. O dispositivo de implante era passado através do trocarte subxifoide na linha média, o que permitia fácil acesso a ambos os hemidiafragmas. O instrumento de implante laparoscópico é retrátil, com uma agulha oca que é capaz de angulações e de retração total. O instrumento permite o posicionamento seguro, confiável e preciso do eletrodo na parede comumente fina do diafragma atrofiado (Figura 2).

Após o implante dos eletrodos, foram utilizadas pinças Maryland de dissecação a fim de manter os fios no abdome enquanto o dispositivo de implante era retirado através do trocarte na linha média. Esses fios de marca-passo eram passados para fora percutaneamente e conectados ao marca-passo externo de maneira semelhante ao marca-passo epicárdico após cirurgia cardíaca.^(6,7,13,14)

A estação clínica usada para a estimulação por eletrodos durante o procedimento cirúrgico foi usada também para programar o marca-passo para maximizar a ventilação do paciente. Essa unidade permitia que se ligasse ou desligasse o marca-passo e fornecia o estímulo na amplitude e frequência necessárias (Figura 3).

Os eletrodos de estimulação diafragmática eram então conectados à estação clínica, e o diafragma era testado para confirmar se os eletrodos haviam sido posicionados corretamente. A cauda do primeiro eletrodo era reinserida no abdome antes do implante do segundo eletrodo

no mesmo lado. A cauda do segundo eletrodo era então completamente inserida no abdome, e o procedimento era transferido para o lado oposto. Os quatro eletrodos eram retirados através do trocarte subxifoide, tomando cuidado para garantir que os fios do lado esquerdo e direito não se cruzassem inadvertidamente.

O processo de passagem dos fios consiste no tunelamento dos eletrodos implantados do ponto de saída subxifoide até um ponto lateral na pele. Quatro túneis separados foram criados com os dispositivos de tunelamento, um para cada eletrodo implantado. Um eletrodo terra adicional foi implantado em um ponto remoto com um dispositivo de tunelamento separado. Os dispositivos de tunelamento foram lavados com soro fisiológico para garantir que estivessem livres de tecido, e os eletrodos foram passados através de cada um dos dispositivos de tunelamento, em um padrão de acordo com sua localização no diafragma, com um dispositivo de acoplamento de eletrodos (Figura 4).

Com os eletrodos tunelados em posição apropriada, o excesso de fios era reinserido na cavidade abdominal com a pinça Maryland de dissecação. Isso era feito de forma cuidadosa a fim de evitar que os eletrodos fossem inadvertidamente inseridos muito profundamente na cavidade abdominal, puxando a porção exposta de cada eletrodo de volta para o túnel subcutâneo, de modo que os eletrodos não pudessem mais ser removidos.

Os trocartes laparoscópicos eram retirados sob visualização direta, as incisões na fáscia e pele eram fechadas, e as feridas cirúrgicas recebiam curativos. Conectores com pinos de ouro eram conectados às extremidades dos eletrodos, que

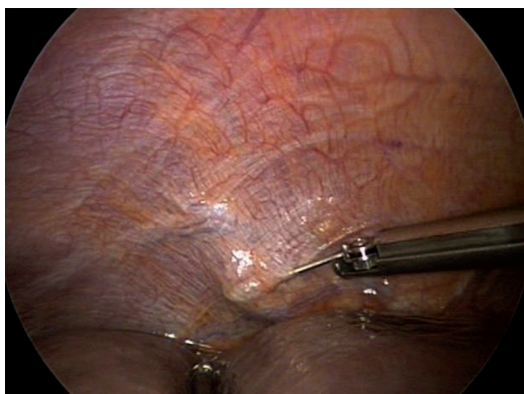


Figura 2 - Eletrodo sendo implantado no hemidiafragma direito.

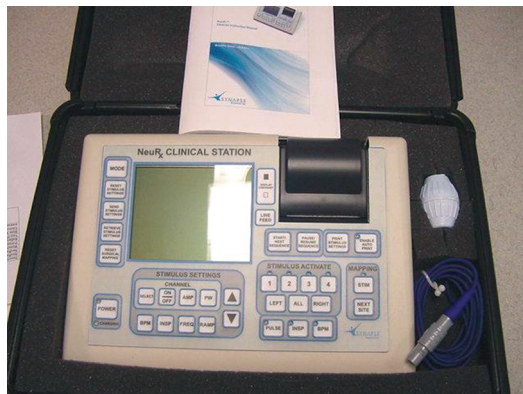


Figura 3 - Estação clínica usada durante a cirurgia e para programar o dispositivo.



Figura 4 – Marca-passo externo. Notar os fios que se conectam aos eletrodos implantados por via transcutânea no diafragma.

eram em seguida inseridas no bloco conector. O bloco conector era fixado à pele por meio de um suporte customizado. O paciente era novamente conectado ao estimulador computadorizado para garantir que todas as conexões elétricas estavam funcionando.

Resultados

Dos cinco pacientes selecionados, dois apresentaram capnotórax relacionado à insuflação intra-abdominal de dióxido de carbono (pneumotórax de dióxido de carbono). Um dos pacientes apresentou pneumotórax de dióxido de carbono bilateral durante a anestesia, o qual foi rapidamente diagnosticado por meio da avaliação das pressões pulmonares. O paciente necessitou de pressões mais elevadas para ventilação, as quais foram difíceis de atingir porque o paciente usava um tubo endotraqueal sem *cuff*. O problema foi rapidamente resolvido por meio de punção no lado direito para drenar o pneumotórax de dióxido de carbono e desinflar o pneumoperitônio. No outro paciente, o pneumotórax de dióxido de carbono foi detectado por radiografia de tórax pós-operatória. Decidimos realizar drenagem pleural com cateter *pigtail*. O dreno torácico foi removido no dia seguinte.

Durante o procedimento cirúrgico, em um paciente com hemidiafragma elevado, uma manobra de Valsalva, realizada a fim de produzir

força para baixo para ajudar a inserir o eletrodo permanente, causou hipotensão. A complicação resolveu com a interrupção da manobra.

Seis meses após os procedimentos, três dos cinco pacientes eram capazes de usar o marca-passo diafragmático de forma contínua. Outro paciente, dependente de ventilação mecânica há 14 anos, era capaz de usar o marca-passo diafragmático durante 6 h por dia. Entretanto, a estimulação precisou ser interrompida após o surgimento de dor neuropática que permanecia descontrolada no momento em que este texto foi redigido. O quinto paciente, que apresentara a resposta eletromiográfica mais fraca, não foi capaz de manter a ventilação com o marca-passo diafragmático.

Discussão

Devido ao fato de que os cinco pacientes haviam sido traqueostomizados, o acesso às vias aéreas não foi problema para os anesthesiologistas. Entretanto, um dos pacientes usava um tubo endotraqueal sem *cuff*, que comprometeu a ventilação quando ocorreu o capnotórax (devido ao vazamento de ar em volta do tubo). Embora seja possível manter a ventilação com um tubo sem *cuff*, recomendamos que esse tipo de tubo seja substituído por um com *cuff* antes do procedimento cirúrgico, devido ao risco de capnotórax.

Dois pacientes apresentaram capnotórax, um achado já relatado na literatura. Em um recente relato sobre pacientes com lesão medular nos quais o marca-passo diafragmático havia sido implantado,⁽⁶⁾ capnotórax foi a complicação mais comum, observada em 42% dos pacientes. Entretanto, o capnotórax teve consequências clínicas em apenas 4%. Embora haja relatos de infecção e migração de eletrodos,⁽⁶⁾ essas complicações são incomuns; nenhum de nossos pacientes as apresentou.

O mapeamento do diafragma é a etapa crucial do procedimento de implante e é a que mais mudou ao longo do tempo. Anteriormente, um eletrodo de sucção era utilizado para identificar pontos de contração; atualmente, o mapeamento é feito com uma pinça Maryland de dissecação. O método atual revelou-se fácil, reproduzível e mais rápido que o antigo.

Durante o mapeamento do diafragma, é aconselhável que se estimule outros músculos da parede abdominal caso o diafragma apresente

estimulação fraca, a fim de confirmar se o eletrodo e o estimulador computadorizado estão funcionando corretamente.

Durante a estimulação diafragmática por marca-passo, é importante confirmar se não há nenhuma interferência elétrica que possa afetar o ritmo cardíaco. Todos os eletrodos do marca-passo (tanto os do lado direito como os do esquerdo) devem ser testados. Em seguida, os quatro eletrodos devem ser testados com o estimulador em potência máxima. Além desses testes, usamos eletrocardiografia para confirmar se não havia nenhuma interferência elétrica. Caso haja interferência, pode-se isolar a estimulação diafragmática em um único eletrodo, e é possível fazer as modificações apropriadas movendo o eletrodo ou programando a estimulação para níveis mais baixos.

Outra preocupação é o uso de marca-passo diafragmático e marca-passo cardíaco, embora se tenha demonstrado que é seguro utilizar os dois. A interação entre os dispositivos pode ser claramente identificada e evitada alterando a programação ou a posição dos eletrodos intramusculares. Tais pacientes devem ser tratados com cuidado redobrado, pois apresentam maior suscetibilidade cardíaca, justamente o motivo pelo qual precisaram de um marca-passo cardíaco. Qualquer aumento nas configurações do marca-passo diafragmático deve ser feito sob monitoração para garantir que não haja captura do ritmo cardíaco, como ocorre durante o implante inicial dos eletrodos em todos os pacientes.⁽¹⁵⁾

A partir da hipótese de que distúrbios do sono são pistas iniciais de disfunção diafragmática e, portanto, podem ser um marcador sensível, um grupo de autores avaliou os efeitos da estimulação diafragmática por marca-passo sobre a CVF.⁽¹⁰⁾ Após quatro meses de condicionamento diafragmático, os pacientes com ELA apresentaram significativa melhora do sono. É possível que o número de pacientes com lesão medular ou ELA submetidos a estimulação diafragmática por marca-passo aumente no futuro.⁽¹⁰⁾

Embora seja necessário um período de acompanhamento mais longo para que possamos chegar a conclusões definitivas, os resultados iniciais são promissores, pois, no momento, a maioria de nossos pacientes é capaz de permanecer sem ventilação mecânica durante longos períodos. Dos cinco pacientes, três conseguem respirar,

durante mais de 24 h, usando apenas o marca-passo diafragmático.

Em suma, os testes pré-operatórios, a técnica cirúrgica empregada e o protocolo de recuperação pós-operatória não exigem preparação ou acompanhamento extraordinários para a implantação dos eletrodos e do marca-passo diafragmático. Trata-se de um procedimento que pode ser facilmente repetido de maneira custo-efetiva. É um achado importante, especialmente para pacientes com lesão medular, já que o procedimento para a estimulação do diafragma por meio de marca-passo é geralmente mais desafiador nesses pacientes do que naqueles com ELA.

Referências

1. National Spinal Cord Injury Statistical Center [homepage on the Internet]. Birmingham: The University of Alabama at Birmingham. [cited 2012 Jun 4]. Spinal Cord Injury Facts and Figures at a Glance February 2011. [Adobe Acrobat document, 2p.]. Available from: https://www.nscisc.uab.edu/PublicDocuments/fact_figures_docs/Facts%202012%20Feb%20Final.pdf
2. Miko I, Gould R, Wolf S, Afifi S. Acute spinal cord injury. *Int Anesthesiol Clin*. 2009;47(1):37-54. PMID:19131751. <http://dx.doi.org/10.1097/AIA.0b013e3181950068>
3. Hirschfeld S, Exner G, Luukkaala T, Baer GA. Mechanical ventilation or phrenic nerve stimulation for treatment of spinal cord injury-induced respiratory insufficiency. *Spinal Cord*. 2008;46(11):738-42. PMID:18475279. <http://dx.doi.org/10.1038/sc.2008.43>
4. Glenn WW, Hogan JF, Loke JS, Ciesielski TE, Phelps ML, Rowedder R. Ventilatory support by pacing of the conditioned diaphragm in quadriplegia. *N Engl J Med*. 1984;310(18):1150-5. PMID:6608692. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJM198405033101804>
5. DiMarco AF, Onders RP, Kowalski KE, Miller ME, Ferek S, Mortimer JT. Phrenic nerve pacing in a tetraplegic patient via intramuscular diaphragm electrodes. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(12 Pt 1):1604-6. PMID:12471076. <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.200203-175CR>
6. Onders RP, Elmo M, Khansarinia S, Bowman B, Yee J, Road J, et al. Complete worldwide operative experience in laparoscopic diaphragm pacing: results and differences in spinal cord injured patients and amyotrophic lateral sclerosis patients. *Surg Endosc*. 2009;23(7):1433-40. PMID:19067067. <http://dx.doi.org/10.1007/s00464-008-0223-3>
7. Onders RP, DiMarco AF, Ignagni AR, Mortimer JT. The learning curve for investigational surgery: lessons learned from laparoscopic diaphragm pacing for chronic ventilator dependence. *Surg Endosc*. 2005;19(5):633-7. PMID:15776209. <http://dx.doi.org/10.1007/s00464-004-8934-6>
8. Onders RP, Carlin AM, Elmo M, Sivashankaran S, Katiirji B, Schilz R. Amyotrophic lateral sclerosis: the Midwestern surgical experience with the diaphragm pacing stimulation system shows that general anesthesia can be safely performed. *Am J Surg*. 2009;197(3):386-90.

- PMid:19245920. <http://dx.doi.org/10.1016/j.amjsurg.2008.11.008>
9. Onders R, McGee MF, Marks J, Chak A, Schilz R, Rosen MJ, et al. Diaphragm pacing with natural orifice transluminal endoscopic surgery: potential for difficult-to-wean intensive care unit patients. *Surg Endosc.* 2007;21(3):475-9. PMID:17177078. <http://dx.doi.org/10.1007/s00464-006-9125-4>
 10. Gonzalez-Bermejo J, Morélot-Panzini C, Salachas F, Redolfi S, Straus C, Becquemin MH, et al. Diaphragm pacing improves sleep in patients with amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler.* 2012;13(1):44-54. PMID:22023158. <http://dx.doi.org/10.3109/17482968.2011.597862>
 11. ClinicalTrials.gov [homepage on the Internet]. Bethesda: U.S. National Institutes of Health. [cited 2012 Jun 4]. Diaphragmatic Pacemaker in Tetraplegic Patients With Spinal Cord Injuries. Available from: <http://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01385384?term=tedde&rank=1>
 12. Tedde ML, Vasconcelos-Filho P, Hajjar LA, Almeida JP, Flora GF, Okumura EM, et al. Diaphragmatic pacing stimulation in spinal cord injury: anesthetic and perioperative management. *Clinics (Sao Paulo).* In press 2012.
 13. Onders RP, Aiyar H, Mortimer JT. Characterization of the human diaphragm muscle with respect to the phrenic nerve motor points for diaphragmatic pacing. *Am Surg.* 2004;70(3):241-7; discussion 247. PMID:15055848.
 14. Reade MC. Temporary epicardial pacing after cardiac surgery: a practical review: part 1: general considerations in the management of epicardial pacing. *Anaesthesia.* 2007;62(3):264-71. Erratum in: *Anaesthesia.* 2007;62(6):644. PMID:17300304. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2044.2007.04950.x>
 15. Onders RP, Khansarinia S, Weiser T, Chin C, Hungness E, Soper N, et al. Multicenter analysis of diaphragm pacing in tetraplegics with cardiac pacemakers: positive implications for ventilator weaning in intensive care units. *Surgery.* 2010;148(4):893-7; discussion 897-8. PMID:20797750. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surg.2010.07.008>

Sobre os autores

Miguel Lia Tedde

Médico Assistente. Departamento de Cirurgia Torácica, Instituto do Coração – InCor – Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

Raymond P Onders

Diretor. Departamento de Cirurgia Minimamente Invasiva, *University Hospitals Case Medical Center*, Faculdade de Medicina da *Case Western Reserve University*, Cleveland (OH) EUA.

Manoel Jacobsen Teixeira

Professor Titular. Departamento de Neurocirurgia, Laboratório de Investigação Médica 26 – LIM-26 – Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

Silvia Gelas Lage

Professora Livre-Docente. Instituto do Coração – InCor – Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

Gerson Ballester

Médico. Departamento de Neurocirurgia, Laboratório de Investigação Médica 26 – LIM-26 – Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

Mario Wilson Iersolino Brotto

Médico. Departamento de Neurologia, Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

Erica Mie Okumura

Fisioterapeuta. Departamento de Cirurgia Torácica, Instituto do Coração – InCor – Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

Fabio Biscegli Jatene

Professor Titular. Departamento de Cirurgia Torácica, Instituto do Coração – InCor – Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.