



Brazilian Journal of
OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org.br



ARTIGO ORIGINAL

Vestibular evoked myogenic potential (VEMP) with galvanic stimulation in normal subjects[☆]

Luciana Cristina Matos Cunha^a, Ludimila Labanca^a, Maurício Campelo Tavares^b,
Denise Utsch Gonçalves^{a,*}

^a Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil

^b Universidade Católica de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil

Recebido em 29 de maio de 2013; aceito em 30 de agosto de 2013

KEYWORDS

Electric stimulation therapy;
Evoked potentials motor;
Vestibular function tests;
Postural balance

Abstract

Introduction: The vestibular evoked myogenic potential (VEMP) generated by galvanic vestibular stimulation (GVS) is related to the vestibulo-spinal pathway. The response recorded from soleus muscle is biphasic with onset of short latency (SL) component around 60 ms and medium latency (ML) component around 100 ms. The first component reflects otolith function (sacule and utricle) and the last deals with semicircular canals.

Aim: To describe VEMP generated by GVS.

Methods: In this cross-sectional clinical study, VEMP was generated by 2mA/400 ms binaural GVS, frequency of 5-6 ms that was recorded from soleus muscles of 13 healthy adults, mean age 56 years. The subjects remained standing, head turned contralateral to the GVS applied to the mastoid. Thirty GVS were applied to the mastoid in the position cathode right anode left, followed by 30 in inverted position. SL and ML were measured.

Results: SL and ML components were recorded from both legs of all participants and were similar. The average of SL component was 54 ms and of ML was 112 ms.

Conclusion: The components SL and ML of the VEMP response in soleus were reproducible and are useful measures of vestibular-spinal function.

© 2014 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Published by Elsevier Editora Ltda. All rights reserved.

PALAVRAS-CHAVE

Testes de função vestibular;
Equilíbrio postural;
Potencial evocado motor;
Terapia por estimulação elétrica

Potencial evocado miogênico vestibular (VEMP) com estímulo galvânico em indivíduos normais

Resumo

Introdução: O potencial evocado miogênico vestibular (VEMP) gerado por estimulação galvânica (GVS) reflete uma resposta vestibulo-espinhal. A resposta obtida no músculo sóleo é bifásica, primeiro com componente de curta latência (CL), em torno de 60 ms, e depois com o de média latência (ML), em torno de 100 ms. O componente de CL associa-se à função otolítica (sáculo e utrículo), e o de ML, aos ductos semicirculares.

Objetivo: Descrever os valores de referência do VEMP com estimulação galvânica em indivíduos normais.

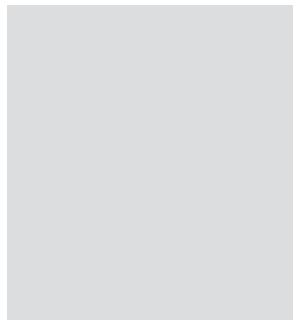
Casística e método: Forma de estudo transversal; o VEMP foi gerado por GVS de 2mA/400 ms,

DOI se refere ao artigo: 10.5935/1808-8694.20140011

[☆]Como citar este artigo: Cunha LC, Labanca L, Tavares MC, Gonçalves DU. Vestibular evoked myogenic potential (VEMP) with galvanic stimulation in normal subjects. Braz J Otorhinolaryngol. 2014;80:48-53.

* Autor para correspondência.

E-mail: deniseg@medicina.ufmg.br (D.U. Gonçalves).



aplicada bilateralmente, sob frequência de 5-6 ms. Testou-se resposta no músculo sóleo de 13 sujeitos saudáveis, com idade média de 56 anos. Os sujeitos permaneceram de pé, com cabeça girada contralateral ao GVS aplicado na mastoide. Na configuração catodo direito, anodo esquerda, 30 GVS foi aplicado, seguidos de mais 30 com configuração inversa. Os componentes de CL e de ML da resposta vestibular foram analisados.

Resultado: Os componentes de CL e de ML foram semelhantes em ambas as pernas. O valor médio de CL foi 54 ms, e o de ML, 112 ms.

Conclusão: Os componentes de CL e de ML do VEMP solear foram replicáveis, sendo medidas úteis de função do trato vestibulo-espinhal.

© 2014 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Todos os direitos reservados.

Introdução

O potencial evocado miogênico vestibular (VEMP) pode ser gerado por estímulo auditivo, vibratório ou galvânico.¹ O VEMP com estimulação auditiva e captação da resposta no músculo esternocleidomastoideo é útil para a detecção de alterações no sistema vestibular localizadas no sáculo, no nervo vestibular inferior e no trato vestibulo espinhal medial.¹ Contudo, esse exame não diferencia as alterações vestibulares periféricas das centrais.

O VEMP obtido por estimulação galvânica tem a vantagem de atuar na membrana pós-sináptica junto aos núcleos vestibulares, e quando associado a outros exames da bateria de testes vestibulares, permite identificar se a alteração vestibular é periférica ou central.¹⁻³

A estimulação vestibular galvânica (GVS) do processo mastoideo atua diretamente nas descargas aferentes primárias da parte distal do nervo vestibular e dos núcleos vestibulares. Em uma configuração binaural e bipolar, ao aplicar o estímulo elétrico em ambos os processos mastoideos, as aferências vestibulares do lado negativo (cátodo) são excitadas e as do lado positivo (ânodo) são inibidas, alterando o potencial de repouso.^{1,2} O estímulo alcança os tratos medulares descendentes vestibulo-espinhal e retículo-espinhal, gerando uma resposta eletromiográfica (EMG) relacionada à postura que pode ser captada por meio de eletrodos de superfície.¹⁻³ Este é o VEMP secundário a um estímulo galvânico (g-VEMP).

A GVS interfere na resposta postural.³ A alteração do potencial de repouso dos núcleos vestibulares provoca mudanças recíprocas na atividade dos músculos do tronco e dos membros inferiores de ambos os lados, resultando em desvio corporal para o lado do ânodo, seguido por um movimento de correção. Essas respostas musculares à GVS são interpretadas como um reflexo de proteção que objetiva manter o controle postural após um estímulo vestibular inesperado.²

A GVS é capaz de gerar respostas EMG somente naqueles músculos engajados na manutenção do equilíbrio corporal, sendo encontrados registros na literatura de EMG captadas a partir dos músculos esternocleidomastoideo, paraespinhais, tríceps, tibial anterior e sóleo.³⁻⁶ Dependendo do músculo em que o VEMP foi captado, tem-se uma avaliação da resposta vestibulo-espinhal relacionada à medula cervical (músculo esternocleidomastoideo) ou tórax-lombar (músculo sóleo). Assim, esse exame permite uma avaliação da função proprioceptiva e tem sido usado para definir o nível de lesão em traumas medulares.⁶

O g-VEMP registrado no músculo sóleo produz uma resposta bifásica, caracterizada por um componente de curta latência (CL), iniciando aproximadamente 60 ms após o início do estímulo, seguida por um componente de média latência (ML), de polaridade oposta à do primeiro, surgindo em torno de 100 ms.^{2,7,8} Embora consecutivos em registro, os dois componentes da resposta são gerados e conduzidos por diferentes vias até alcançarem os motoneurônios do músculo sóleo.⁴ A resposta de CL parece ser desencadeada por aferências otolíticas e conduzida pelo trato retículo-espinhal, enquanto a resposta ML é gerada pelos canais semicirculares e conexões centrais associadas à propriocepção, sendo transportada via trato vestibulo-espinhal lateral até os motoneurônios alvo.^{4,9} O componente de CL é mais estável frente às variações de propriocepção e faixa etária, enquanto o componente de ML varia conforme a intensidade do estímulo proprioceptivo e tem a sua amplitude aumentada com o aumento da idade.⁹⁻¹¹ Acredita-se que o componente ML é polissináptico e reflete uma resposta de adaptação postural.⁴ Até onde sabemos, não há estudos realizados com a população brasileira para definir os valores de referência para o g-VEMP com captação de resposta no músculo sóleo.

O objetivo deste estudo foi descrever os resultados do g-VEMP em sujeitos normais na sexta década de idade com o propósito de estabelecer os valores de referência desse exame com um equipamento nacional, comparando os resultados com os valores internacionais estabelecidos. A escolha da faixa etária se deve ao motivo de ser esta a fase da vida em que mais frequentemente ocorrem doenças relacionadas à instabilidade postural, sendo, portanto, a que mais se beneficiará da GVS como uma ferramenta para diagnóstico ou para reabilitação vestibular.

Casuística e método

Participantes

Selecionaram-se 13 sujeitos, sendo três homens e dez mulheres, com ausência de zumbido, tontura, perda auditiva ou instabilidade postural, os quais foram submetidos ao g-VEMP. A idade dos participantes variou de 50 a 60 anos, com média de 56 ± 5 (média ± DP) anos. A inclusão dos participantes foi feita por convite aleatório de indivíduos que estavam dentro da faixa etária do estudo, compareciam ao

ambulatório de otorrinolaringologia e não tinham qualquer queixa otoneurológica quando entrevistados. Foram excluídos indivíduos com neuropatia periférica, alterações na marcha, diminuição da acuidade visual, doenças neurodegenerativas, osteomusculares, histórico prévio de tontura ou em uso de medicações supressoras da função vestibular.

Esta pesquisa foi realizada em conformidade com a Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, sendo aprovada pelo comitê de ética da instituição onde o estudo foi realizado, sob o parecer nº ETIC 266/05. Todos os indivíduos foram devidamente orientados sobre os procedimentos adotados, assinaram termo de compromisso livre e esclarecido e tiveram a sua liberdade de participação da pesquisa garantida.

Procedimentos e estimulação galvânica

Todos os 13 sujeitos foram submetidos ao g-VEMP. Para realização deste, aplicou-se a GVS, que se caracterizou por ser uma corrente direta, monofásica e retangular, com intensidade de 2 mA e 400 ms de duração (modelo EvP4/ActPlus, Contronic, BRASIL). Os estímulos foram oferecidos em intervalos randomizados de 4-5s e as respostas a 120 estimulações foram medidas. A corrente bipolar foi aplicada sobre os processos mastoideais por meio de eletrodos de superfície autoadesivos, com 3 cm de diâmetro (modelo CF3200, Valutrode, EUA).

Para a estimulação binaural transmastóidea, ambas as configurações de polaridades da corrente foram utilizadas: cátodo esquerdo, ânodo direito (CEAD) e cátodo direito, ânodo esquerdo (CDAE). A polaridade do estímulo foi automaticamente controlada pelo computador e randomizada entre os ensaios. A GVS foi aplicada em quatro ensaios de 30 estímulos cada, assim distribuídos: 30 respostas registradas a partir do membro inferior esquerdo (15 estímulos CEAD, 15 estímulos CDAE) e 30 a partir do membro inferior direito (15 estímulos CEAD, 15 estímulos CDAE). Em seguida, o procedimento foi repetido para todos os participantes a fim de garantir a replicação, totalizando 60 estímulos em cada membro inferior.²

Durante o exame, os sujeitos permaneceram de pé, sobre uma superfície plana, mantendo os olhos fechados, os pés descalços e juntos e o corpo levemente inclinado para frente, promovendo a contração do músculo sóleo. Os sujeitos foram instruídos a rodar a cabeça aproximadamente 90° no plano sagital, contralateralmente ao membro inferior a partir do qual os sinais EMG foram captados (fig. 1), já que as respostas são mais robustas no membro inferior contralateral à direção da rotação cefálica.²

Registro e análise das respostas eletromiográficas (EMG)

A atividade EMG foi medida por meio de eletrodos de superfície autoadesivos (modelo Meditrace 300, Kendall, EUA). Cada par de eletrodos foi fixado verticalmente dois centímetros abaixo da fossa poplíteia, com distância aproximada de 1 cm entre eles. O eletrodo referência foi posto na parte posterior da coxa, aproximadamente três centímetros acima do eletrodo de registro (fig. 1). Os eletrodos foram retirados de um dos membros inferiores após o término de dois ensaios (30 estímulos para o exame e 30 estímulos para a replicação) e recolocados no outro membro inferior. Um pe-

ríodo de descanso suficiente entre os ensaios foi oferecido a fim de prevenir a possibilidade de fadiga muscular.

Os sinais EMG foram medidos, retificados, filtrados entre 10 Hz e 1 KHz e digitalizados sob uma frequência de amostragem de 5 kHz. Os dados foram coletados durante um período de 500 ms, iniciando 100 ms antes do estímulo galvânico. As respostas foram observadas on-line durante a execução do exame (fig. 2).^{2,4}

A análise das respostas EMG baseou-se no membro inferior contralateral à rotação cefálica. Os traçados obtidos a partir das duas configurações de colocação dos eletrodos foram sobrepostos após filtragem digital e subtração da



Figura 1 Posicionamento dos eletrodos e postura do sujeito durante a realização do exame.

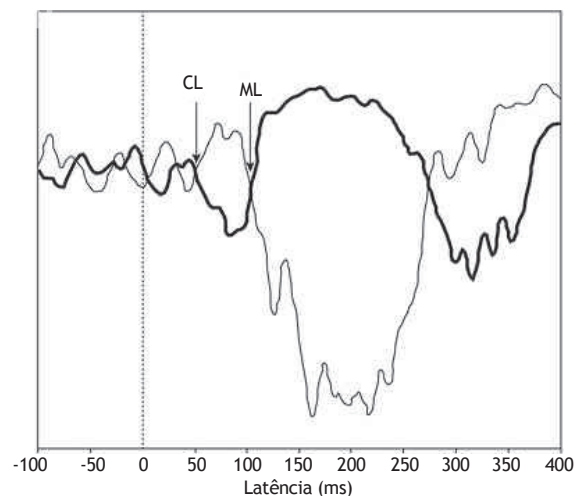


Figura 2 Sinais captados no músculo sóleo direito. O traçado fino indica a resposta proveniente do ânodo posicionado na mastoide direita e o traçado grosso a resposta com o ânodo posicionado na mastoide esquerda.

média retificada EMG pré-estímulo. As respostas que inverteram sua polaridade frente à estimulação para ambas as condições de polaridade (CEAD e CDAE) foram consideradas de origem vestibular.²⁻⁴ Os dois componentes (CL e ML) do reflexo evocado vestibular foram definidos. Uma resposta com início entre 40 e 70 ms, que inverteu com a inversão da polaridade do estímulo foi identificada como o componente de CL; o componente de ML teve polaridade oposta à daquele de CL, com início aproximadamente em 100 ms após o estímulo (fig. 2).

Com a sobreposição dos traços com polaridades inversas, a definição do início dos componentes de CL e de ML se baseou no ponto em que os traços divergiam a partir da linha base do traçado eletromiográfico, julgado visualmente e medido pelo cursor. A primeira divergência entre os sinais foi marcada como o início da resposta de CL. Logo em seguida, os sinais retornavam à linha base e divergiam novamente. A segunda divergência entre eles marcou o início do componente de ML. O fim dessa resposta foi definido como o ponto no qual os sinais retornavam à linha base (fig. 2). A média do conjunto de duas respostas replicadas, para cada participante, foi calculada para se obter um valor único dos componentes de CL e de ML.

Análise dos dados

O padrão da resposta com os dois componentes replicáveis e a latência das ondas foram os parâmetros considerados para a análise do g-VEMP. A amplitude não foi aqui considerada por ser um parâmetro que varia conforme o tônus muscular, de modo a ter grande variação entre sujeitos na faixa etária de 60 anos. A análise estatística foi realizada no programa Statistical Package for Social Sciences, versão 18 para Windows - SPSS Incorporation, Chicago, Illinois, EUA. Foram utilizadas medidas de tendência central e variabilidade para descrição das variáveis contínuas, e para comparação das variáveis foi realizado o teste T com nível de significância de 5% ($p = 0,05$).

Resultados

O g-VEMP foi obtido em ambas as pernas de todos os sujeitos testados, totalizando uma amostra de 26 pernas. Em relação ao formato das ondas, o g-VEMP evocou respostas com o

mesmo padrão, incluindo os componentes de CL e de ML, e a inversão de onda com a inversão da polaridade em todas as 26 pernas avaliadas. Um exemplo do padrão de resposta obtido foi mostrado na figura 2.

O componente de CL surgiu numa latência média de 54 ± 5 ms, sendo o mínimo de 49 ms e o máximo de 62 ms. O componente de ML teve início em latência média de 112 ± 8 ms, com mínimo de 98 ms e máximo de 124 ms.

As variáveis referentes às respostas do g-VEMP foram comparadas quanto ao lado de captação das mesmas (tabela 1). Ao confrontar as latências em relação à lateralidade, não foi verificada diferença ($p > 0,05$).

Discussão

O g-VEMP permite a captação da resposta proprioceptiva de músculos engajados na manutenção do equilíbrio corporal, incluindo músculos dos membros inferiores.¹ Logo, esse exame permite avaliar a resposta postural relacionada ao trato vestibulo-espinhal. O g-VEMP tem aplicabilidades clínicas para diagnosticar a alteração da via vestibulo-espinhal e para aprimorar o tratamento de pacientes em reabilitação vestibular.^{2,6,7,9,12}

O formato das ondas eletromiográficas observado no presente estudo (fig. 2) para o músculo sóleo foi consistente com o padrão observado em estudos prévios, revelando uma resposta bifásica caracterizada por duas ondas de polaridades opostas, que são denominadas componentes de CL e de ML do VEMP solear.^{4,13}

Conforme orientado por Briton (1993), para melhor identificar as respostas, recomenda-se a sobreposição dos traçados obtidos por meio de ambas as configurações de estímulo (CEAD e CDAE), obtendo-se respostas opostas em polaridade.² Essa técnica, conhecida como “sobreposição de traçados”, possibilitou ver o início exato da divergência entre os dois traçados, facilitando a identificação de ambos os componentes da resposta (CL e ML). Considerando os 26 membros inferiores avaliados neste estudo, a primeira divergência entre os sinais, definida como componente de CL, ocorreu aproximadamente 54 ms após o início do estímulo. A resposta de ML, considerada como a segunda divergência, foi observada em aproximadamente 112 ms. A latência da resposta encontrada no presente estudo condiz com descrições prévias (fig. 2), confirmando a natureza vestibular das respostas EMG coletadas e, principalmente, a integridade da via testada pelo g-VEMP nos indivíduos avaliados.^{4,13}

Tabela 1 Comparação das respostas de curta latência (CL) e média latência (ML) do VEMP registrado no músculo sóleo após estímulo galvânico no processo mastóideo

Perna de captação da resposta	Latência dos componentes da onda bifásica do VEMP solear. n = 26							
	Curta latência (ms)				Média latência (ms)			
	Mínimo	Médio	Máximo	DP	Mínimo	Médio	Máximo	DP
Direita (n = 13)	49	54	62	4	98	111	123	7
Esquerda (n = 13)	49	54	62	5	98	113	124	9
p	0,976				0,617			

n, número de pernas avaliadas; p, probabilidade de significância; ms, milissegundos.

Em relação à via testada pelo g-VEMP, até recentemente, contemplava-se a natureza unicamente vestibulo-espinhal das respostas. Estudos atuais trouxeram à luz a participação do trato retículo-espinhal e, mais recentemente, a diferença de sítios condutores dos estímulos.¹⁴ Cathers et al. (2005) consideraram que o componente de CL da resposta reflexa à GVS é desencadeado pelos órgãos otólitos e o componente de ML, pelos canais semicirculares.¹⁰ Esses pesquisadores também propuseram que as respostas eram conduzidas por diferentes projeções na medula espinhal até alcançarem seus motoneurônios alvo, sendo o componente de CL evocado via trato retículo-espinhal e o componente de ML evocado via atividade vestibulo-espinhal, o que tem sido reforçado por diversos estudiosos.^{4,13,14} Essa hipótese encontra reforço na fisiologia do sistema vestibular, uma vez que há diversas conexões entre os tratos retículo-espinhais e os núcleos vestibulares. Sendo assim, o resultado do presente estudo demonstrou a integridade funcional do sistema vestibular de todos os sujeitos avaliados, incluindo as aferências primárias dos canais semicirculares, sáculo e utrículo, além de núcleos vestibulares, tratos vestibulo-espinhais e retículo-espinhal.

Alteração na morfologia e nas latências das respostas à GVS foi previamente verificada em sujeitos com lesões medulares.¹⁵ A ausência total de ambas as respostas ocorreu nos traumas medulares.⁶ Outra caso no qual se espera alterações na resposta de CL é o do idoso, em decorrência do processo de senescência, que provoca redução de grande parte das fibras mielinizadas de condução rápida.^{11,16}

Com relação à comparação das latências dos componentes de CL e de ML da resposta entre os membros inferiores, embora estas não tenham sido idênticas, não foram verificadas diferenças significativas (tabela 1). As respostas evocadas pela estimulação vestibular de fato podem se manifestar levemente assimétricas entre as pernas, o que pode ser justificado pela mudança do centro de massa provocado por um estímulo vestibular inesperado. Sabidamente, à GVS provoca desvios corporais para o lado do ânodo, seguido por um movimento de correção que altera o equilíbrio do centro de massa corporal.¹⁷

Com relação à amplitude das respostas, estas não foram analisadas no presente estudo. De acordo com alguns autores, a amplitude sofre influência da força muscular, podendo alterar-se com a idade e o grau de inclinação corporal,¹¹ não sendo, portanto, parâmetro confiável para diagnósticos clínicos sobre a funcionalidade do sistema vestibular. Por outro lado, estudos apontam para mudança da amplitude com mudança de estímulos proprioceptivos.^{7,9} Muise et al. (2012) revelaram que a amplitude do componente de ML mostrou-se aumentada após anestesia induzida por resfriamento dos pés de sujeitos sem neuropatia, com posterior normalização, após ter passado o efeito da anestesia.⁹ Em outro experimento, a amplitude do componente de ML foi reduzida quando a informação visual ou uma superfície de suporte tátil foi disponibilizada.⁷ Para qualquer uma das situações relacionadas à mudança dos estímulos proprioceptivos, o componente de CL permaneceu inalterado.^{7,9} Esses dados reforçam a teoria sobre a natureza neural diferente de ambos os componentes da resposta solear e sinalizam para a possibilidade do componente de ML poder ser utilizado como um marcador de adequada integração central das respostas sensoriais responsáveis pelo equilíbrio corporal.

Considerando a rica atuação fisiológica da GVS, aplicabilidades clínicas já estabelecidas e perspectivas futuras têm sido propostas. Resultados promissores foram relatados sobre o uso do g-VEMP para diferenciação das lesões vestibulares centrais,¹ para a avaliação funcional da medula espinhal^{6,15} e, mais recentemente, como uma ferramenta auxiliar no tratamento da instabilidade postural.¹² A GVS pode contribuir para a reabilitação em razão do seu efeito na compensação vestibular, com base no efeito excitatório do estímulo galvânico nos núcleos vestibulares. Enfim, estudos são necessários para melhor esclarecer todas as possibilidades de atuação da GVS no diagnóstico e no tratamento da instabilidade postural.

Conclusão

Neste estudo, sujeitos com o sistema vestibular normal na sexta década que receberam uma estimulação galvânica na mastoide apresentaram uma resposta eletromiográfica replicável e registrada no músculo sóleo que foi bifásica, sendo a primeira onda em torno de 54 ms e denominada componente de curta latência (CL), seguida de uma segunda onda de polaridade oposta em torno de 112 ms, denominada componente de média latência (ML) da resposta evocada. O g-VEMP permitiu testar a via vestibulo-espinhal e é uma técnica promissora para avaliar de forma objetiva o sistema vestibular central.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

1. Watson SRD, Colebatch JG. Vestibular-evoked electromyographic responses in soleus: a comparison between click and galvanic stimulation. *Exp Brain Res*. 1998;119:504-10.
2. Britton TC, Day BL, Brown P, Rothwell JC, Thompson PD, Marsden CD. Postural electromyographic responses in the arm and leg following galvanic vestibular stimulation in man. *Exp Brain Res*. 1993;94:143-51.
3. Day BL, Cauquil AS, Bartolomei L, Pastor MA, Lyon IN. Human body-segment tilts induced by galvanic stimulation: a vestibularly driven balance protection mechanism. *J Physiol*. 1997;500:661-72.
4. Fitzpatrick RC, Day BL. Probing the human vestibular system with galvanic stimulation. *J Appl Physiol*. 2004;96:2301-16.
5. Baldissera F, Cavallari P, Tassone G. Effects of transmastoid electrical stimulation on the triceps brachii EMG in man. *Neuroreport*. 1990;1:191-3.
6. Iles JF, Ali AS, Savic G. Vestibular-evoked muscle responses in patients with spinal cord injury. *Brain*. 2004;127:1584-92.
7. Fitzpatrick R, Burke D, Gandevia SC. Task-dependent reflex responses and movement illusions evoked by galvanic vestibular stimulation in standing humans. *J Physiol*. 1994;15:363-72.
8. Watson SR, Colebatch JG. EMG responses in the soleus muscles evoked by unipolar galvanic vestibular stimulation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1997;105:476-83.
9. Muise SB, Lam CK. Reduced input foot sole skin through cooling differentially modulates the short latency and medium latency vestibular reflex responses to galvanic vestibular stimulation. *Exp Brain Res*. 2012;218:63-71.

10. Cathers I, Day BL, Fitzpatrick RC. Otolith and canal reflexes in human standing. *J Physiol.* 2005;563:229-34.
11. Welgampola MS, Colebatch JG. Selective effects of ageing on vestibular dependent lower limb responses following galvanic stimulation. *Clin Neurophysiol.* 2002;113:528-34.
12. Carmona S, Ferrero A, Pianetti G, Escolá N, Arteaga MV, Frankel L. Galvanic vestibular stimulation improves the results of vestibular rehabilitation. *Ann N Y Acad Sci.* 2011;1233:1-7.
13. Muto N, Shinomiya K, Komori H, Mochida K, Furuya K. Spinal cord monitoring of the ventral funiculus function. Analysis of spinal field potentials after galvanic vestibular stimulation. *Spine.* 1995;20:2429-34.
14. Peterson BW, Abzug G. Properties of projections from vestibular nuclei to medial reticular formation in the cat. *J Neurophysiol.* 1975;38:1421-35.
15. Liechti M, Müller R, Lam T, Curt A. Vestibulospinal responses in motor incomplete spinal cord injury. *Clin Neurophysiol.* 2008;119:2804-12.
16. Bergström B. Morphology of the vestibular nerve: the number of myelinated vestibular nerve fibers at various ages. *Acta Otolaryngol.* 1973;76:173-9.
17. Goldberg JM, Smith CE, Fernandez C. Relation between discharge regularity and responses to externally applied galvanic currents in vestibular nerve afferents of the squirrel monkey. *J Neurophysiol.* 1984;51:1236-56.