



Brazilian Journal of OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org



ARTIGO ORIGINAL

Hearing performance as a predictor of postural recovery in cochlear implant users[☆]



Mario Edvin Greters^a, Roseli Saraiva Moreira Bittar^{b,*}, Signe Schuster Grasel^b, Jeanne Oiticica^b e Ricardo Ferreira Bento^b

^a Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), Departamento de Otorrinolaringologia, Campinas, SP, Brasil

^b Universidade de São Paulo (FMUSP), Faculdade de Medicina, Departamento de Otorrinolaringologia, São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 4 de agosto de 2015; aceito em 4 de janeiro de 2016

Disponível na Internet em 29 de dezembro de 2016

KEYWORDS

Dizziness;
Balance;
Hearing loss;
Posturography;
Auditory evoked potentials;
Cochlear implant

Abstract

Objective: This study aimed to evaluate if hearing performance is a predictor of postural control in cochlear implant (CI) users at least six months after surgery.

Methods: Cross-sectional study including (CI) recipients with post-lingual deafness and controls who were divided into the following groups: nine CI users with good hearing performance (G+), five CI users with poor hearing performance (G–), and seven controls (CG). For each patient, computerized dynamic posturography (CDP) tests, a sensory organization test (SOT), and an adaptation test (ADT) were applied as dual task performance, with first test (FT) and re-test (RT) on the same day, including a 40–60 min interval between them to evaluate the short-term learning ability on postural recovery strategies. The results of the groups were compared.

Results: Comparing the dual task performance on CDP and the weighted average between all test conditions, the G+ group showed better performance on RT in SOT4, SOT5, SOT6, and CS, which was not observed for G– and CG. The G– group had significantly lower levels of short-term learning ability than the other two groups in SOT5 ($p=0.021$), SOT6 ($p=0.025$), and CS ($p=0.031$).

Conclusion: The CI users with good hearing performance had a higher index of postural recovery when compared to CI users with poor hearing performance.

© 2016 Published by Elsevier Editora Ltda. on behalf of Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

DOI se refere ao artigo: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjorl.2016.01.002>

[☆] Como citar este artigo: Greters ME, Bittar RS, Grasel SS, Oiticica J, Bento RF. Hearing performance as a predictor of postural recovery in cochlear implant users. Braz J Otorhinolaryngol. 2017;83:16–22.

* Autor para correspondência.

E-mail: roseli.bittar@hc.fm.usp.br (R.S. Bittar).

A revisão por pares é da responsabilidade da Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial.

PALAVRAS-CHAVE

Tontura;
Equilíbrio;
Perda auditiva;
Posturografia;
Potenciais evocados
auditivos;
Implante coclear

Desempenho auditivo como preditor de recuperação postural em usuários de implante coclear**Resumo**

Objetivo: O presente estudo teve por objetivo avaliar se o desempenho auditivo é preditor de controle postural em usuários de IC pelo menos seis meses após a cirurgia.

Método: Estudo transversal que consistiu em recipientes de implante coclear (IC) com surdez pós-lingual e controles, que foram divididos nos seguintes grupos: nove usuários de IC com bom desempenho auditivo (G+), cinco usuários de usuários de IC com desempenho auditivo insatisfatório (G-) e sete controles (GC). Aplicamos os testes de posturografia dinâmica computadorizada (PDC), de organização sensitiva (TOS) e de adaptação (TAd) como desempenho de dupla tarefa, primeiro teste (PT) e reteste (RT) no mesmo dia, com intervalo de 40-60 minutos entre testes, com o objetivo de avaliar a capacidade de aprendizado em curto prazo nas estratégias de recuperação postural. Comparamos os resultados dos testes.

Resultados: Na comparação do desempenho de dupla tarefa no teste PDC e a média ponderal entre todas as condições de teste, o grupo G+ demonstrou melhor desempenho no RT nos TOS4, TOS5, TOS6 e EC, o que não foi observado para os grupos G- e GC. O grupo G- obteve níveis significativamente mais baixos de capacidade de aprendizado em curto prazo vs. outros dois grupos no TOS5 ($p=0,021$), TOS6 ($p=0,025$) e EC ($p=0,031$).

Conclusão: Usuários de IC com bom desempenho auditivo tiveram índice melhor de recuperação postural, quando comparados com usuários de IC com desempenho auditivo insatisfatório.

© 2016 Publicado por Elsevier Editora Ltda. em nome de Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introdução

Os recursos cognitivos do hemisfério cerebral direito contribuem significativamente para o controle postural. A avaliação de adultos com transtornos vestibulares demonstrou que a implantação de tarefas mentais durante o teste da plataforma pode aumentar ou reduzir as oscilações do indivíduo testado e seu controle do equilíbrio corporal.¹ Com frequência, a memória operacional, a memória de curto prazo e a função executiva estão intensamente instáveis nos indivíduos acometidos por meningite bacteriana.² Em um estudo precedente feito em nossa clínica com usuários de implante coclear (IC) (artigo submetido a análise), observamos aumento significativo na latência P3 em pacientes com surdez pós-lingual em decorrência da meningite, o que sugere comprometimento da função cognitiva.

As informações sensitivas provenientes dos sistemas auditivo, vestibular, proprioceptivo e da visão são processadas no sistema nervoso central (SNC), o que resulta em orientação espacial, fixação das imagens na retina e controle do equilíbrio.³ Os ajustes posturais necessários para a estabilidade do equilíbrio resultam de respostas motoras complexas, tarefas motoras aprendidas e estratégias posturais proativas e de *feedforward*.⁴

O controle do equilíbrio é a capacidade de manter o movimento do corpo dentro da base, sem sofrer queda. Trata-se de um processo de controle complexo que depende principalmente de dois sistemas distintos e independentes: (1) o sistema de estabilização do olhar, que mantém a direção do olhar e a acuidade visual durante os movimentos da cabeça e do corpo; e (2) o sistema de estabilização postural, que mantém o corpo em equilíbrio na posição ortostática e nos movimentos cotidianos. Esses sistemas são distintos, pois dependem de informações de diferentes sentidos e de reações

motoras de diferentes partes do corpo e, além disso, são mediados por diferentes vias cerebrais. Esses sistemas também são interdependentes, uma vez que a estabilidade do olhar não será possível, a menos que o corpo também esteja estável, e porque uma visão acurada é uma informação sensitiva crítica para o controle postural. Portanto, o equilíbrio depende de informações sensitivas que informam ao cérebro sobre a posição do corpo com relação ao ambiente. Trata-se de uma rede de grande complexidade, que envolve numerosas vias sinápticas, não sinápticas e suas interseções. O cérebro deve analisar e planejar as respostas motoras e os movimentos necessários para a estabilização postural.⁵

Nesse momento, a função cognitiva se faz necessária para que ocorra uma integração sensitiva acurada para a obtenção de um controle apropriado do equilíbrio corporal. Os seguintes elementos fazem parte da cognição: (1) a integração das informações sensitivas do mapa cerebral, compostas de estratégias motoras aprendidas ao longo da vida; (2) latências apropriadas das respostas posturais; e (3) a capacidade de planejar e executar padrões motores necessários para o controle do centro da massa corporal. O córtex deve processar e integrar essas funções, para que possa tomar conhecimento do risco e da tarefa em execução. Assim, o controle do equilíbrio é influenciado por fatores cognitivos, como a atenção, a motivação, a memória e a intenção. Em indivíduos normais, o sistema como um todo funciona em harmonia e é automaticamente processado, mas pode depender do controle voluntário nos casos de desequilíbrio em algum ponto do trajeto.

A aquisição de novas habilidades motoras está ligada a estruturas do SNC responsáveis pela memória e pelo aprendizado.⁶ Entre as estruturas necessárias para a tarefa, podem-se citar áreas do lobo temporal medial, particularmente o hipocampo, regiões do córtex motor (córtex

motor sensitivo do corpo estriado), córtex e núcleo cerebelares, córtex parietal e áreas de associação frontal.^{4,7,8} Entre as diversas lesões que podem afetar as reações posturais, aquelas que afetam o hipocampo podem limitar a compensação vestibular.⁸ Da mesma forma, a compreensão e interpretação da fala dependem do aprendizado e da memória.

O Departamento de Otorrinolaringologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP) faz cirurgias de IC em pacientes surdos todos os anos e todos esses pacientes passam por testes de rotina de potencial evocado auditivo. Com base em nossa experiência clínica (artigo submetido a análise), observamos que indivíduos com má discriminação de palavras exibiam uma prolongada latência P3 no teste de potencial evocado auditivo cognitivo. Foi demonstrado que usuários de IC com mau desempenho auditivo ($\leq 80\%$ de identificação da fala em sentenças de formato aberto), particularmente nos casos de surdez causada por meningite, demonstram latências P3 mais longas, em comparação com pacientes surdos, mas com bom desempenho auditivo depois do IC (artigo submetido a análise). Assim, o teste P3 parece ter utilidade para a detecção de comprometimento da integração sensitiva central, em seguida à estimulação auditiva. A literatura demonstra – e documenta satisfatoriamente – interseções entre as vias auditiva, vestibular, de aprendizado e da memória. Há evidência de que os testes auditivos funcionam como preditores de quedas;⁶ além disso, há evidências de que a posturografia dinâmica computadorizada (PDC) demonstra alterações secundárias decorrentes da perda auditiva induzida por ruído.⁹

Tanto a memória auditiva como o equilíbrio dependem da integridade das estruturas do SNC. Assim, seria plausível assumir que indivíduos com comprometimento das vias auditivas centrais também poderiam ter problemas com tarefas de recuperação postural que envolvem a cognição. Para avaliar a relação entre dificuldades cognitivas auditivas e vestibulares, desenvolvemos um método de avaliação da recuperação postural (memória de curto prazo, uma tarefa que depende diretamente do funcionamento adequado do hipocampo) em indivíduos com e sem bom desempenho auditivo após a cirurgia de IC.

Objetivo

Avaliar se o desempenho auditivo é um preditor do controle postural em usuários de IC, pelo menos seis meses após a cirurgia.

Método

Amostra

Estudo transversal feito entre 2008 e 2011, abrangeu 111 usuários de IC com surdez pós-lingual do grupo de implante coclear do HC-FMUSP. Foram avaliadas as seguintes variáveis: gênero, idade, causa de surdez e tipo de eletrodo IC. O estudo foi feito de acordo com as diretrizes do Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo e foi aprovado em 2007 (Protocolo número 1059/07).

Critérios de seleção

Os pacientes foram considerados qualificados de acordo com os seguintes critérios: a) usuários de IC ativado havia pelo menos seis meses; b) inserção completa dos eletrodos IC; c) ambos os gêneros; d) 18 anos ou mais; e) feitura do potencial cognitivo auditivo; f) conhecimento da pesquisa e assinatura do formulário de consentimento informado. Os critérios de exclusão foram: a) pacientes com limitações ortopédicas ou neurológicas impeditivas da PDC; b) pacientes com queixa de tontura ou desequilíbrio.

Pacientes

Na época da pesquisa, havia em nosso serviço 111 pacientes com surdez pós-lingual implantados; 60 tinham menos de 18 anos e foram excluídos. Os pacientes restantes foram contatados por telefone e 26 retornaram respostas positivas; 18 concordaram em participar do estudo. Os indivíduos que declinaram do convite informaram as seguintes razões: alguns viviam em estados com suporte suficiente para receptores de IC; outros não quiseram participar do estudo científico. Dos 18 pacientes que concordaram em participar, apenas 14 atendiam aos critérios de seleção e foram divididos em dois grupos: a) Grupo + (G+), composto por nove usuários de IC com bom desempenho auditivo; b) Grupo - (G-), composto por cinco usuários de IC com mau desempenho auditivo. Todos os pacientes tinham recebido implantes cocleares multicanais (Nucleus 22, Nucleus 24) ativados por pelo menos seis meses. A inserção completa do eletrodo foi controlada por estudos radiográficos pós-operatórios. Para aqueles participantes com “má” desempenho da fala, o aparelho IC interno foi testado e retestado com o uso do *software* fornecido pelo fabricante (Impedance check RA26, Cochlear Corporation – Denver, CO).

Para cada usuário de IC, selecionamos um participante de controle, com idade e nível educacional equivalentes. O grupo de controle teve 26 indivíduos (15 mulheres) com média de 44,7 anos (variação: 23-68, DP = 14,75). Todos os participantes do grupo de controle tinham limiares audiométricos tonais ≥ 25 dB HL na faixa de 500-8.000 Hz, sem queixa auditiva ou de tinido e sem histórico de doença otológica. Os critérios de exclusão foram idênticos aos do grupo de estudo.

Bom desempenho auditivo foi definido como o reconhecimento da fala $\geq 80\%$ em sentenças abertas. Um terceiro grupo de indivíduos com audição normal e com testes de audiometria tonal (AT), limiar de reconhecimento da fala (LRF) e escore de discriminação da fala (EDF) normais foi empregado como Grupo Controle (GC).

Posturografia dinâmica computadorizada

PDC é um teste objetivo e não invasivo que permite a obtenção de um registro gráfico da posição do corpo contra vários estímulos. PDC é uma técnica de avaliação singular, usada na quantificação objetiva de interações entre as informações vestibulares, visuais e somatossensoriais necessárias para o controle do equilíbrio, coordenação das respostas motoras e alinhamento do centro de gravidade. Portanto, PDC analisa a capacidade de manter, ou de

readquirir, o controle da postura do corpo sob diversas condições sensitivas. Usamos o Smart Equitest System® da Neurocom International Inc. (Neurocom, Clackamas, Oregon, USA). Cada um dos pacientes selecionados fez um teste de dupla tarefa com o objetivo de avaliar a memória em curto prazo, que depende diretamente do funcionamento adequado do hipocampo. Na avaliação da capacidade de aprendizado em curto prazo no desempenho de estratégias de recuperação postural, selecionamos dois testes de PDC: (1) teste de organização sensitiva (TOS); e (2) teste de adaptação (TAd).

O protocolo de rotina para o TOS consiste em três testes de 20 segundos para seis condições sensitivas diferentes (TOS1 a TOS6) e o controle postural depende da interação entre as informações visuais, vestibulares e proprioceptivas. O participante era instruído a ficar de pé na máxima imobilização possível, com a cabeça ereta, olhos voltados para a frente e mãos ao longo do corpo durante as manipulações visuais, de superfície do chão e campo visual específicas. Para cada teste, calculamos um escore de equilíbrio baseado na magnitude dos movimentos do Centro de Gravidade (CdG), expressos como percentual dos limites de estabilidade. Um escore de 100% indica estabilidade perfeita e 0% indica uma oscilação que excede os limites de estabilidade ou a ocorrência de queda. Calculamos também um escore composto (EC), uma média ponderada dos escores para as seis condições sensitivas. EC foi empregado nas análises estatísticas, bem como os resultados de cada condição individual.

TAd avalia a capacidade do sistema motor automático de se adaptar a uma perturbação externa inesperada. A adaptação é avaliada pela determinação da capacidade de suprimir respostas inadequadas à perturbação externa. O teste consistiu em cinco tentativas, nas quais a superfície do chão era inclinada para cima (dedos do pé para cima), e em mais cinco tentativas, nas quais a superfície do chão ficava inclinada para baixo (dedos do pé para baixo). Cada uma das cinco rotações teve a duração de 400 ms, com amplitude de 8°. O tempo transcorrido entre tentativas foi randomizado, de 3 a 5 segundos. O escore TAd quantifica a magnitude da oscilação anterior-posterior (AP) e as reações musculares para o controle do equilíbrio corporal em seguida a rotações inesperadas da base que determina as mudanças no ângulo do tornozelo. Os escores médios para a energia de "dedos para cima" e "dedos para baixo" foram incluídos nas análises estatísticas. De modo parecido com TOS, o programa fornece os resultados tanto em gráfico como em uma escala numérica.

Para cada paciente, ambos os testes CPD (TOS e TAd) foram aplicados como desempenho de dupla tarefa no mesmo dia, com um intervalo de 40 a 60 minutos entre testes. Os pacientes foram solicitados a memorizar as condições do teste e as estratégias empregadas para o controle do equilíbrio corporal durante o primeiro teste (PT), de modo a facilitar e melhorar o desempenho do reteste (RT).

Análises estatísticas

Os dados obtidos não seguiram uma distribuição normal; assim, foram feitos testes não paramétricos. Usamos o teste de Wilcoxon para determinar diferenças entre: (1) esco-

res de equilíbrio individuais ao longo das seis condições sensitivas (TOS1, TOS2, TOS3, TOS4, TOS5, TOS6); (2) EC; e (3) os escores de energia de "dedos para cima" e "dedos para baixo", entre as medidas de desempenho para PT e RT. Empregamos o teste de Kruskal-Wallis e as comparações múltiplas de Tukey para verificação da hierarquia das diferenças entre grupos. Adotamos um nível de significância de 95% ($p < 0,05$), em conformidade com os padrões seguidos em estudos biológicos.

Resultados

A média de idade dos 14 pacientes era de $50,43 \pm 14,35$ anos e a média dos sete controles, de $47,57 \pm 13,5$ anos. A distribuição dos gêneros foi similar entre todos os grupos. A [tabela 1](#) lista as características dos pacientes, a duração e etiologia da surdez, o aparelho IC e o tempo de ativação.

Na comparação do desempenho auditivo em sentenças abertas e em palavras monossilábicas entre os grupos e da discriminação livre de sentenças abertas e monossílabos, G+ demonstrou resultados similares aos do GC ($p = 0,836$ e $p = 0,264$, respectivamente). Ambos os resultados ultrapassaram o grupo G- ($p < 0,001$ em ambos os casos; teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas de Tukey). Os resultados demonstram que o desempenho auditivo e a discriminação das palavras no grupo G+ após a cirurgia IC foram similares aos resultados obtidos pelo grupo GC ([tabela 2](#)).

No primeiro teste PDC, G+ ou G- tiveram desempenho similar em todas as seis condições sensitivas, mas os resultados ficaram abaixo de GC, cujos desempenhos foram significativamente melhores nos testes TOS3, TOS4, TOS5, TOS6 e EC ([tabela 3](#)). Na comparação do desempenho de dupla tarefa na PDC e na média ponderada entre todas as condições testadas, o grupo G+ demonstrou melhor desempenho (com significado estatístico) no RT em TOS4, TOS5, TOS6 e EC – o que não foi observado para G- e GC. No reteste de PDC, G+ suplantou G- em TOS5, TOS6 e EC; esse achado sugere um aprendizado mais efetivo em G+ vs. os outros dois grupos ([tabela 4](#)).

No desempenho de dupla tarefa para o TAd, ao serem comparados os escores médios da energia de oscilação nas condições de "dedos do pé para cima" e "dedos do pé para baixo", não foi possível observar qualquer diferença estatística entre os grupos ($p = 0,616$ e $0,563$, nas duas condições de teste; teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas de Tukey).

No teste P3, observamos latências P3 significativamente mais longas entre G- vs. G+ e GC para as condições de teste em 2.000/1.000 e 1.000/1.500 Hz ($p = 0,007$ e $p < 0,001$ para o primeiro teste e $p = 0,001$ e $p < 0,001$ para o segundo teste), mas não observamos diferença entre G+ e GC ($p = 0,177$ e $p = 0,601$) (teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas de Tukey), conforme listado na [tabela 5](#).

Discussão

PDC é um teste objetivo, não invasivo. Optamos por um desempenho de dupla tarefa, com um breve intervalo entre elas, para a avaliação do aprendizado em curto prazo e da capacidade de memória também em curto prazo, como parte de estratégias de recuperação postural. A escolha do

Tabela 1 Dados clínicos e demográficos dos indivíduos do grupo de estudo (n = 14)

	G— (n=5)	G+ (n=9)
Gênero feminino, n (%)	2 (40%)	5 (56%)
Idade mediana (mín-máx)	57 (34-66)	38 (23-57)
Duração da perda auditiva (anos): mediana (mín-máx)	18,8 (1-36)	12,8 (1-43)
Ativação do implante coclear (meses): mediana (mín-máx)	20,33 (5-55)	25 (9-37)
Estratégia de processamento núcleo 22: fala	3	2
Estratégia de processamento núcleo 24: ACE	2	7
Etiologia da surdez		
Meningite	5	0
Trauma	0	1
Otosclerose	0	2
Ototoxicidade	0	1
Otite média crônica	0	1
Desconhecido	0	4

ACE, Advanced Combination Encoder; G—, usuários de implante coclear com mau desempenho auditivo; G+, usuários de implante coclear com bom desempenho auditivo; mín-máx, mínimo-máximo; n, tamanho da amostra.

Tabela 2 Reconhecimento da fala em sentenças abertas e discriminação vocal monossilábica dos indivíduos dos grupos de estudo e controle

Grupos		G+	G—	GC	Teste estatístico de Kruskal-Wallis (p)	Resultados de múltiplas comparações de Tukey (p)
Sentenças de formato aberto	Mediana (mín-máx)	100 (80-100)	0 (0-20)	100 (100-100)	0,004 ^a	G+ = GC > G— (< 0,001)
Discriminação vocal monossilábica	Mediana (mín-máx)	84 (58- 100)	0 (0-88)	100 (96-100)	0,001 ^a	G+ = GC > G— (< 0,001)
n		9	5	7		

G+, usuários de implante coclear com bom desempenho auditivo; G—, usuários de implante coclear com mau desempenho auditivo; GC, Grupo Controle; mín-máx, mínimo-máximo; n, tamanho da amostra.

^a Nível com significância estatística.

Tabela 3 Resultados do PT para cada grupo estudado

Grupos		G+	G—	GC	Teste estatístico de Kruskal-Wallis (p)	Resultados de múltiplas comparações de Tukey (p)
TOS1 PT	Mediana (mín-máx)	94,3 (91,3-95,7)	93 (92- 97,7)	96 (92,3-97)	0,172	G+ = G— = GC
TOS2 PT	Mediana (mín-máx)	92,7 (86,7-94,3)	90 (88-96)	94,7 (90- 97,7)	0,088	G+ = G— = GC
TOS3 PT	Mediana (mín-máx)	91 (79,7- 95,3)	90 (82,7-91,3)	94 (93,3-97)	0,018 ^a	G+ = G— < GC (0,036 ^b)
TOS4 PT	Mediana (mín-máx)	68,7 (55,3-83)	81,7 (29-85,7)	87,7 (83,7- 93,3)	0,003 ^a	G+ = G— < GC (0,039 ^b)
TOS5 PT	Mediana (mín-máx)	47,7 (0-61,3)	0 (0- 25,7)	68,7 (59,3- 76)	0,001 ^a	G+ = G— < GC (< 0,001 ^b)
TOS6 PT	Mediana (mín-máx)	4,3 (0-66,7)	0 (0- 7,3)	66 (20-82,3)	0,003 ^a	G+ = G— < GC (0,001 ^b)
ESC PT	Mediana (mín-máx)	58 (42-77)	51 (37-58)	81 (69- 88)	0,002 ^a	G+ = G— < GC (0,001 ^b)
n		9	5	7		

ESC, escore composto; G+, usuários de implante coclear com bom desempenho auditivo; G—, usuários de implante coclear com mau desempenho auditivo; GC, Grupo Controle; mín-máx: mínimo-máximo; n, tamanho da amostra; PDC, posturografia dinâmica computadorizada; PT, primeiro teste; TOS, teste de organização sensitiva;

^a Nível com significância estatística.

^b GC demonstrou escores significativamente mais altos vs. G+ e G— nas condições de TOS3, TOS4, TOS5, TOS6 e ESC.

Tabela 4 Resultados do RT, de acordo com os grupos

Grupos		G+	G—	GC	Teste estatístico de Kruskal-Wallis (p)	Resultados de múltiplas comparações de Tukey (p)
TOS1 RT	Mediana (mín-máx)	94 (90,3-95,3)	94,7 (90,7-95)	95,7 (94,7-97,7)	0,005 ^a	G+ = G— < GC (0,012 ^b)
TOS2 RT	Mediana (mín-máx)	90,3 (85-94,3)	89,3 (83-92)	94 (90,7-97,7)	0,012 ^a	G— < GC (0,010 ^b)
TOS3 RT	Mediana (mín-máx)	89,3 (76,3-95,7)	90 (80-95)	93,3 (92-97,7)	0,076	G+ = G— = GC
TOS4 RT	Mediana (mín-máx)	82 (64,3-88,3)	85,7 (40-90)	88,3 (85,3-95,3)	0,023 ^a	G— < GC (0,050 ^b)
TOS5 RT	Mediana (mín-máx)	64,3 (0-78,3)	0 (0-29,3)	74,7 (59,3-80,3)	0,007 ^a	G— < G+ < GC (0,001 ^b)
TOS6 RT	Mediana (mín-máx)	27,3 (0-70,7)	0 (0- 0)	77,3 (38-81,7)	0,001 ^a	G— < G+ < GC (< 0,001 ^b)
ESC RT	Mediana (mín-máx)	66 (48- 82)	52 (39-58)	83 (72-89)	0,001 ^a	G— < G+ < GC (< 0,001 ^b)

ESC, escore composto; G+, usuários de implante coclear com bom desempenho auditivo; G—, usuários de implante coclear com mau desempenho auditivo; GC, Grupo Controle; mín-máx, mínimo-máximo; n, tamanho da amostra; PDC, posturografia dinâmica computadorizada; RT, reteste; TOS, teste de organização sensitiva.

^a Nível com significância estatística.

^b GC demonstrou escores significativamente mais altos vs. G— em TOS2 e TOS4. GC suplantou G+ e G— em TOS5, TOS6 e ESC (GC > G+ > G—).

Tabela 5 Latências P3 nas condições de teste em 2.000/1.000 Hz e em 1.000/1.500 Hz, de acordo com o grupo de estudo

		G+ (n=9)	G- (n=5)	GC (n=7)	Teste estatístico de Kruskal-Wallis (p)	Resultados de múltiplas comparações de Tukey (p)
Latência P3 2.000/1.000 Hz	Mediana (mín-máx)	351 (327- 450)	423 (399-492)	342 (261-351)	0,006 ^a	G- > G+ = GC (< 0,001 ^a)
Latência P3 1.000/1.500 Hz	Mediana (mín-máx)	345 (330- 474)	457,5 (450-501)	351 (308-390)	0,023 ^a	G- > G+ = GC (< 0,001 ^a)

G+, usuários de implante coclear com bom desempenho auditivo; G—, usuários de implante coclear com mau desempenho auditivo; GC, Grupo Controle; mín-máx, mínimo-máximo; n, tamanho da amostra.

^a Nível com significância estatística.

intervalo entre o desempenho de dupla tarefa permitiu um período de repouso de aproximadamente 40-60 minutos. Com isso, o paciente tinha tempo de se recuperar do esforço muscular durante o período de repouso após o PT, para que houvesse certeza de que a fadiga não iria interferir durante o RT (pois, com isso, o resultado do RT poderia se refletir apenas na capacidade de memória em curto prazo).¹⁰ É de se esperar uma melhoria no EC durante o RT para aqueles indivíduos com capacidade normal de aprendizado em curto prazo e com funcionamento adequado do hipocampo.

Nossa pequena amostra é resultado de rígidos critérios de seleção: incluímos apenas pacientes com inserção completa do eletrodo IC e, com isso, eliminamos o viés cirúrgico. Idade e tempo de ativação IC foram empregados como variáveis no pareamento dos grupos, porque é sabido que ambos poderiam mudar o desempenho no TOS e as latências P3.^{11,12}

O melhor desempenho no RT de G+ em TOS4, TOS5, TOS6 e EC sugere que os indivíduos com IC são capazes de “aprender” as condições sensitivas apresentadas no PT e que podem usar essa habilidade de aprendizado e memória durante o RT. Essa capacidade provém de uma integração acurada das informações sensitivas do SNC, responsáveis pelas estratégias motoras, para garantir o controle do equilíbrio corporal.¹⁰ Assim, na verdade, esses indivíduos têm capacidade acurada de memória e aprendizado em curto prazo. A dificuldade dos pacientes do grupo G- pode ser atribuída ao comprometimento funcional de estruturas envolvidas com a discriminação da fala, identificação de estímulos e habilidades de aprendizado – capacidades necessárias para a geração de respostas motoras apropriadas para a correção e estabilização posturais e para o controle do equilíbrio. Considerando que GC demonstrou maior resposta no PT, não esperávamos uma melhoria significativa no RT, o que está de acordo com nossos resultados (tabela 4).

A audição proporciona informações acústicas com relação ao ambiente, nos capacita a perceber e evitar riscos ambientais que possam resultar em queda.⁶ São poucos os estudos publicados que testaram as associações entre acuidade auditiva e equilíbrio postural; além disso, esses estudos demonstram resultados conflitantes. Estudos de saúde ocupacional demonstraram a existência de uma correlação entre a exposição ao ruído e o comprometimento do equilíbrio postural.^{13,14} Ao estudar gêmeas idosas, Viljanen et al.⁶ demonstraram que a má acuidade auditiva aumentava o risco de quedas vs. irmãs com boa acuidade auditiva, o que pode ser explicado, em parte, por seu controle postural pior. Com efeito, observamos em nosso estudo latências P3 mais longas em usuários de IC com mau desempenho auditivo, em comparação com pessoas que receberam IC com bom desempenho auditivo e com os controles. Esses achados sugerem que o comprometimento auditivo pode interferir – direta ou indiretamente – nas tarefas cognitivas avaliadas pelo teste P3. O mesmo grupo G- demonstrou pior desempenho PDC, quando comparado com os demais grupos. A estabilidade postural durante as tarefas estáticas e dinâmicas pode ser descrita como a capacidade de modular a magnitude da resposta postural, gera com isso uma resposta motora acurada. Deve-se ter em mente que o controle postural tem sua origem e se apoia na interação entre os sistemas somatosensorial, vestibular e visual e que o desequilíbrio postural cresce com o aumento no número de sistemas subjacentes afetados. Embora o sistema auditivo não seja habitualmente

citado e incluído na integração do processamento central de informações periféricas no controle postural, nossos achados efetivamente sugerem uma influência direta ou indireta da audição, o que fica demonstrado pelos piores resultados do TOS obtidos pelo grupo G- com mau desempenho auditivo.

As inclinações de “dedos do pé para cima” e “dedos do pé para baixo” de uma plataforma sobre a qual o indivíduo fica de pé induzem respostas imediatas dos músculos da perna alongados e respostas tardias pelos músculos antagonistas. A superfície de apoio é lentamente rotacionada em cerca de 8°, enquanto o corpo permanece estacionário. O movimento rotacional da plataforma deflagra uma resposta postural automática como uma defesa contra a perturbação postural. De acordo com Nardone et al.,¹⁵ a origem das respostas tardias nos músculos antagonistas provém do desequilíbrio postural geral e do conjunto postural. Assim, não há correlação com a cognição nem uma situação de dependência. Ao analisar os resultados da dupla tarefa no desempenho no TAd, não observamos diferença estatística na comparação de PT e RT entre os grupos. Tendo em vista que TAd é usado na investigação do controle postural automático, não há necessidade da memória e da cognição para essa tarefa. Portanto, não eram esperados resultados divergentes entre grupos, como foram durante as condições de TOS.¹⁵

Os componentes de latência longa de potenciais relacionados ao evento (p. ex., P3) têm correlação com a capacidade dos participantes de detectar e processar estímulos inesperados, novos ou importantes para a tarefa. Os componentes positivos tardios relevantes para a tarefa podem ser registrados no neocórtex e hipocampo, durante uma tarefa de discriminação auditiva.¹⁶ O potencial cortical promovido no contexto de tarefas de detecção orientadas para a audição inclui os componentes N1, P2 e P3. A concordância entre a localização das fontes magnetoencefalográficas (MEG) e a análise de fonte elétrica do cérebro (AFEC) fala a favor da noção de geradores nos lobos temporais para o complexo N1/P2 e de geradores nas áreas temporal do hipocampo para o componente P3.¹⁷ Assim, de acordo com artigos publicados, as estruturas do SNC funcionalmente envolvidas com a memória explícita dão origem à integração central auditiva, visual e somatosensorial e podem estar localizadas no hipocampo e no lobo temporal.^{16,17} Com efeito, Viljanen et al.⁶ já relataram sobre a perda auditiva como preditor de quedas e de um controle pior do equilíbrio postural. No estudo de Viljanen,⁶ limiares tonais foram reportados sem os limiares de recepção da fala. Diante disso, é possível que o maior risco de quedas nessa amostra possa não estar ligado à própria perda auditiva, mas à falta de informações sensitivas, ou a um comprometimento na cognição. Nossos achados concordam com a literatura, pois os usuários de IC sem bom desempenho auditivo também apresentaram, em certo grau, um impacto nas estratégias de aprendizado para o controle do equilíbrio corporal (referência).

Nosso estudo tem algumas limitações. Em primeiro lugar, da nossa amostra inicial de 111 pacientes qualificados, apenas 14 foram incluídos no grupo de estudo. Conforme já foi anteriormente mencionado, isso é o resultado de critérios de seleção bastante rígidos (60 indivíduos tinham menos de 18 anos) e também do fato de que 25 indivíduos não puderam ser contatados por telefone e alguns viviam em locais demasiadamente distantes para seu ingresso no estudo. Apenas

cinco pacientes exibiam mau desempenho auditivo, o que refletiu os critérios de seleção para a cirurgia IC para pacientes com surdez pós-lingual em nossa instituição, além de sugerir que praticamente todas as cirurgias IC com inserção completa do eletrodo foram bem-sucedidas quanto ao estabelecimento de uma discriminação útil para a audição e fala. Devido aos nossos rígidos critérios de inclusão, esperávamos um pequeno número de componentes em cada grupo – o que diminuiu o poder estatístico. Assim, acreditamos que devam ser feitos mais estudos com a inclusão de pacientes de diversos centros de IC, para que essa limitação seja contornada.

Não queremos afirmar que nossos achados estão exclusivamente relacionados ao comprometimento das vias nervosas auditivas e/ou vestibulares, porque todos os pacientes do grupo G- exibiam surdez em decorrência de meningite. Além de causar a surdez, a meningite também pode afetar outras áreas funcionais e anatômicas do SNC.^{2,18,19} Considerando que nosso objetivo era avaliar a recuperação postural em usuários de IC, os grupos G+ e G- deveriam demonstrar desempenhos auditivos distintos; assim, a etiologia da perda auditiva não estava equitativamente distribuída entre os grupos. E nem podemos afirmar que nossos resultados sejam decorrentes do envolvimento da rede da memória e do aprendizado. Portanto, também nesse aspecto, há necessidade de mais estudos para o esclarecimento desses tópicos.

De acordo com nossos resultados, aparentemente, a recuperação postural está relacionada ao aprendizado e à memória, além do desempenho da fala e audição. Também é possível que uma rede comprometida interfira tanto no desempenho auditivo como nas estratégias de aprendizado para o controle do equilíbrio corporal. Se comprovada a sua eficácia, a relação entre as vias auditiva e vestibular abrirá um novo campo de pesquisas, além de fortalecer o papel dos potenciais auditivos cognitivos e testes de discriminação da fala como preditores do desempenho postural e da reabilitação vestibular.

Conclusões

Na comparação do desempenho de dupla tarefa na posturografia dinâmica computadorizada e a média ponderada entre todas as condições testadas, os usuários de implante coclear com bom desempenho auditivo demonstraram melhores resultados no reteste em TOS4, TOS5, TOS6 e EC e obtiveram um índice mais alto de recuperação postural, em comparação com usuários de IC com mau desempenho auditivo. Os usuários de implante coclear sem bom desempenho auditivo tiveram níveis significativamente mais baixos de capacidade de aprendizado em curto prazo, em comparação com os outros dois grupos em TOS5, TOS6 e EC.

Financiamento

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

1. Anderson G, Hagman J, Talianzadeh R, Svedberg A, Larsen HC. Effect of cognitive load on postural control. *Brain Res Bull.* 2002;58:135–9.
2. Schmidt H, Heimann B, Djukic M, Mazurek C, Fels C, Wallesch CW, et al. Neuropsychological sequelae of bacterial and viral meningitis. *Brain.* 2006;129 Pt 2:333–45.
3. Jacobson GP, Newman CW, Kartush JM. *Handbook of balance function testing.* St Louis: Mosby Year Book; 1993.
4. Jahn K, Wagner J, Deutschländer A, Kalla R, Hübner K, Stephan T, et al. Human hippocampal activation during stance and locomotion: fMRI study on healthy, blind, and vestibular-loss subjects. *Ann N Y Acad Sci.* 2009;1164:229–35.
5. Jones GM. Posture. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell T, editors. *Principles of neural science.* 4th ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2000. p. 816–31.
6. Viljanen A, Kaprio J, Pyykkö I, Sorri M, Pajala S, Kauppinen M, et al. Hearing as a predictor of falls and postural balance in older female twins. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2009;64:312–7.
7. Doyon J. Motor sequence learning and movement disorders. *Curr Opin Neurol.* 2008;21:478–83.
8. Smith PF. Vestibular–hippocampal interactions. *Hippocampus.* 1997;7:465–71.
9. Ben-David J, Teszler CB, Duchman H, Podoshin L. Evaluation of tullio phenomenon by computerized dynamic posturography. *Int Tinnitus J.* 1997;3:105–12.
10. Tjernstrom F, Fransson PA, Hafstrom A, Magnusson M. Adaptation of postural control to perturbations – A process that initiates long-term motor memory. *Gait Posture.* 2002;15:75–82.
11. Kaga K, Kadera K, Hirota E, Tsuzuku T. P3 response to tones and speech sounds after cochlear implant: a case report. *Laryngoscope.* 1991;101:905–7.
12. Kubo T, Yamamoto K, Iwaki T, Matsukawa M, Doi K, Tamura M. Significance of auditory evoked responses (EABR and P3) in cochlear implant subjects. *Acta Otolaryngol.* 2001;121:257–61.
13. Kilburn KH, Warshaw RH, Hanscom B. Are hearing loss and balance dysfunction linked in construction iron workers? *Br J Ind Med.* 1992;49:138–41.
14. Juntunen J, Matikainen E, Ylikoski J, Ylikoski M, Ojala M, Vaheri E. Postural body sway and exposure to high-energy impulse noise. *Lancet.* 1987;2:261–4.
15. Nardone A, Giordano O, Corra T, Schieppati M. Response of leg muscles in human displaced while standing. *Brain.* 1990;113:65–84.
16. Brankack J, Seidenbecher T, Müller-Gärtner HW. Task-relevant late positive component in rats: is it related to hippocampal theta rhythm? *Hippocampus.* 1996;6:475–82.
17. Tarkka IM, Stokić DS, Basile LF, Papanicolaou AC. Electric source localization of the auditory P3 agrees with magnetic source localization. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1995;96:538–45.
18. Hugosson S, Carlsson E, Borg E, Brorson LO, Langeroth G, Olcén P. Audiovestibular and neuropsychological outcome of adults who had recovered from childhood meningitis. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 1997;42:149–67.
19. Wellman MB, Sommer DD, McKenna J. Sensorineural hearing loss in postmeningitic children. *Otol Neurotol.* 2003;24:907–12.