

## Participação do cerebelo no processamento auditivo

## Participation of the Cerebellum in Auditory Processing

Patrícia Maria Sens <sup>1</sup>, Clemente Isnard Ribeiro de Almeida <sup>2</sup>

Palavras-chave: cerebelo, cognição, localização sonora, percepção auditiva, vias auditivas.  
Keywords: cerebellum, cognition, auditory pathway, auditory perception, sound localization.

### Resumo / Summary

O cerebelo era tradicionalmente visto como um órgão coordenador da motricidade, entretanto é atualmente considerado como um importante centro de integração de sensibilidades e coordenação de várias fases do processo cognitivo. **Objetivo:** é sistematizar as informações da literatura quanto à participação do cerebelo na percepção auditiva. **Métodos:** foram selecionados na literatura trabalhos em animais sobre a fisiologia e anatomia das vias auditivas do cerebelo, além de trabalhos em humanos sobre diversas funções do cerebelo na percepção auditiva. Foram discutidos os achados da literatura, que há evidências que o cerebelo participa das seguintes funções cognitivas relacionadas à audição: geração verbal; processamento auditivo; atenção auditiva; memória auditiva; raciocínio abstrato; timing; solução de problemas; discriminação sensorial; informação sensorial; processamento da linguagem; operações lingüísticas. **Conclusão:** Foi constatado que são incompletas as informações sobre as estruturas, funções e vias auditivas do cerebelo.

The cerebellum, traditionally conceived as a controlling organ of motricity, it is today considered an all-important integration center for both sensitivity and coordination of the various phases of the cognitive process. **Aim:** This paper aims at gather and sort literature information on the cerebellum's role in the auditory perception. **Methods:** We have selected animal studies of both the physiology and the anatomy of the cerebellum auditory pathway, as well as papers on humans discussing several functions of the cerebellum in auditory perception. As for the literature, it has been discussed and concluded that there is evidence that the cerebellum participates in many cognitive functions related to hearing: speech generation, auditory processing, auditory memory, abstract reasoning, timing, solution of problems, sensorial discrimination, sensorial information, language processing, and linguistic operations. **Conclusion:** It has been reported that all information about cerebellum structure, functions and auditory pathways is incomplete.

<sup>1</sup> Mestre pela Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, médica assistente da clínica de ORL do Hospital do Servidor Público Municipal.

<sup>2</sup> Médico. Doutor pela USP. Professor titular pela FMJ, professor da pós-graduação da FCMSCSP.

Artigo referente a dissertação de mestrado da autora apresentada à Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, janeiro de 2005.

Endereço para correspondência: Rua Bartolomeu de Gusmão 412 apto. 12 Vila Mariana São Paulo 04111-021.  
Este artigo foi submetido no SGP (Sistema de Gestão de Publicações) da RBORL em 9 de março de 2005. cod.57.

Artigo aceito em 16 de junho de 2006.

---

## INTRODUÇÃO

---

O cerebelo tem sido tradicionalmente visto como uma parte do sistema nervoso central motor responsável pela iniciação e regulação dos movimentos padrões, recebendo estímulos primariamente do córtex motor, órgãos vestibulares e dos receptores proprioceptivos<sup>1,2</sup>.

Observou-se que a filogênese do cerebelo humano evoluiu de duas formas: pelo aumento da população de células nervosas e processos dendríticos, e no aumento das conexões que atrelam o cerebelo ao neocórtex, principalmente com o córtex pré-frontal, sugerindo que o cerebelo atue como um rápido adjunto no processamento de informações junto ao córtex cerebral<sup>1</sup>. Outros autores também observaram essa conexão do cerebelo com o córtex pré-frontal, através do transporte transneuronal retrógrado do vírus herpes simples tipo I (HSV1) marcados em macacos, fornecendo um substrato anatômico para a participação do cerebelo no processo cognitivo<sup>2</sup>.

Os estudos referentes à organização da área auditiva no cerebelo em animais iniciaram-se na década de 40, quando foram observadas evidências de que no gato, o cerebelo recebe impulsos dos sentidos auditivos, tátil e visual, transmitindo informações para as vias corticais<sup>3</sup>. A partir desse momento vários estudos seguiram-se, utilizando em sua maioria exames eletrofisiológicos, mas em diferentes espécies de animais, procurando estabelecer a área auditiva cerebelar e suas conexões centrais e periféricas<sup>4-13</sup>.

Uma vez identificadas em animais as áreas e vias cerebelares relacionadas à audição, iniciaram-se os trabalhos em humanos, com a finalidade de determinar a função desses detalhes anatômicos.

Estudos de imagem usando tomografia computadorizada com emissão de pósitrons, e imagens de ressonância nuclear magnética funcional têm sido importantes, pois fornecem através de métodos não-invasivos o monitoramento da atividade neural em humanos por medida indireta, associada à mudança do fluxo sanguíneo e oxigenação.

Na metade do século 20 iniciaram-se estudos indicando a possibilidade do cerebelo realizar outras funções além da coordenação do movimento, e a esse respeito muitos artigos têm sido publicados nos últimos 30 anos.

Contudo, dentro das fronteiras funcionais da integração sensorio-motora, o cerebelo pode ser considerado não apenas como uma importante estrutura no controle motor, mas também como uma ligação crucial na integração dos estímulos sensoriais.

As premissas acima relacionadas sugerem que os indivíduos portadores de doença do cerebelo, além da deficiência motora apresentem problemas de cognição, entre as quais o processamento auditivo, já que dentro desse, encontramos várias funções cognitivas, tais como localização sonora, temporização auditiva, memória au-

ditiva, atenção auditiva entre outros. O conhecimento dessas funções é importante para auxiliar no diagnóstico de problemas de percepção e processamento auditivo relacionados a disfunções do cerebelo, bem como para orientar o seu tratamento.

O objetivo dessa pesquisa é sistematizar as informações da literatura quanto à participação do cerebelo no processamento auditivo.

---

## MATERIAL E MÉTODO

---

Realizamos uma revisão sistemática e análise crítica de trabalhos pesquisados no Index Medicus, acessados eletronicamente pela MEDLINE, PUBMED, LILACS, Biblioteca Cochrane, Ovidis, Scielo, revisão digital da Revista Brasileira de Otorrinolaringologia, revendo as referências dos trabalhos selecionados e livros texto.

As palavras chaves foram determinadas a partir das utilizadas em artigos pré-selecionados que atendiam aos critérios de inclusão. As selecionadas citadas abaixo foram as que apresentaram maior sensibilidade para a prospecção de trabalhos:

“Cerebellum”, “Auditory Perception”, “Auditory Pathway”, “Cognition”, “Sound Localization”, “Auditory Processing”.

“Cerebelo”, “Percepção auditiva”, “Localização sonora”, “Cognição”, “Vias Auditivas”, “Processamento Auditivo”.

Foram utilizados os textos na língua inglesa, portuguesa e espanhola.

Os critérios de qualidade a que os trabalhos foram submetidos: User's guide de prognóstico e os critérios de avaliação de qualidade da Revista Brasileira de Otorrinolaringologia.

Critérios de inclusão: trabalhos que fazem referência ao processamento auditivo ou percepção auditiva e cerebelo.

Critérios de exclusão: trabalhos que fazem referência às funções cognitivas do cerebelo das quais a audição não participe.

---

## RESULTADOS

---

Seguindo os critérios de inclusão e exclusão, foram identificadas 783 citações por buscas eletrônicas, sendo 714 citações excluídas com base no título ou resumo. Foram encontrados e acessados na íntegra 69 textos, junto a 17 textos obtidos através das referências. Desses, 56 artigos foram excluídos pela leitura do artigo original, onde dentro do processo cognitivo não havia participação da audição. Foram então primariamente incluídos: 13 textos com estudos envolvendo pesquisa em animais e 17 textos com estudos envolvendo pesquisa em humanos.

1) Estudos em animais:

A maioria dos autores concordou que a área auditiva

cerebelar encontra-se nos lóbulos VI e VII de Larsell<sup>3-7,10-13</sup>. Alguns autores adicionaram algumas áreas a essas, tais como: os lóbulos V e VIII de Larsell, lóbulo paramediano, o hemisfério cerebelar e o lóbulo parafloccular<sup>6,8,9,12</sup>. Outros autores discordaram da maioria, descrevendo a área auditiva cerebelar nos lóbulos VIII, IX e X de Larsell<sup>14</sup>.

As vias auditivas aferentes periféricas do cerebelo foram estudadas através de exames de potenciais evocados, onde foi observada diminuição dos limites das áreas de resposta do cerebelo com a destruição da orelha interna em gatos, evidenciando a via que vai da cóclea ao cerebelo<sup>3</sup>. Outros autores sugeriram que a via aferente periférica passaria do núcleo coclear ao cerebelo, também através de exames de potencial evocado<sup>7</sup>.

As vias auditivas aferentes centrais do cerebelo foram sugeridas passando pelo núcleo pontino, colículo inferior e córtex auditivo, através de exames eletrofisiológicos<sup>7</sup>. Snider e Stowel observaram que a destruição do colículo inferior causava uma abolição nas áreas de resposta da área auditiva do cerebelo. Já Azizi observou que a estimulação elétrica do colículo inferior evocava respostas no verme do cerebelo, assim como a estimulação elétrica do córtex auditivo evocava respostas mistas no lóbulo parafloccular do cerebelo.

As vias auditivas eferentes centrais do cerebelo foram avaliadas pela estimulação elétrica da área receptora auditiva do cerebelo do gato, onde foi observada a ativação do colículo inferior, corpo geniculado medial e córtex auditivo<sup>10</sup>. Os mesmos autores descreveram uma via paralela, partindo da área auditiva cerebelar, em direção à formação reticular e área auditiva cortical, mas sem a participação do corpo geniculado medial.

Entre as vias auditivas eferentes periféricas do cerebelo foi descrita em macacos Rhesus e cobaias, a via cerebelo-complexo olivar superior-cóclea como uma via inibitória, atuando sobre as células ciliadas<sup>11,12</sup>. Já Gacek observou a marcação do núcleo coclear em gatos, após a degeneração waleriana da via auditiva cerebelar. Outro estudo utilizando a técnica de mapeamento com a enzima peroxidase na área auditiva cerebelar, observou a marcação do núcleo coclear<sup>6</sup>.

A grande maioria dos autores encontraram potenciais de curta e média latência durante a realização dos exames de potenciais evocados, com variação entre 6 e 30 milissegundos<sup>3-5,7-9</sup>.

## 2) Estudos em humanos:

Em humanos foram descritas várias funções cognitivas do cerebelo:

**Temporização:** Estudos sobre a participação do cerebelo na função de temporização (timing) observaram alteração dos testes de discriminação de pares de intervalos de tempo em pacientes com lesão de cerebelo, assim como ativação do hemisfério cerebelar direito em indivíduos normais submetidos à ressonância nuclear magnética

funcional durante a realização de tarefa de discriminação de pausas entre pares de tons, sugerindo que o cerebelo participa do processamento perceptual do estímulo não verbal, e que esse órgão poderia atuar num mecanismo de "back up", estendendo a capacidade de armazenamento do "analisador auditivo", extraindo dicas temporais de sinais acústicos<sup>15-20</sup>. Dessa forma o cerebelo contribuiria para a manutenção, monitoramento e organização temporal, dentro de um sistema complexo, envolvendo múltiplos componentes de várias regiões neurais<sup>15,16</sup>.

**Atenção auditiva:** Estudos sugeriram que o cerebelo atue como um intensificador da resposta neural, coordenando a direção da atenção seletiva e como consequência auxiliando a execução de comandos gerados no córtex, para a estimulação e inibição de diferentes fontes de informação<sup>21-23</sup>. Pacientes com lesão do cerebelo submetidos a testes para a avaliação da atenção auditiva apresentaram debilidade na mudança súbita de atenção entre um estímulo auditivo e visual, sugerindo que o cerebelo pode de alguma forma afetar o controle voluntário de uma específica operação cognitiva, contribuindo na rápida e precisa mudança de atenção, sem a participação da função de controle motor do cerebelo<sup>21,22</sup>.

**Memória auditiva:** A memória auditiva foi avaliada por vários autores de diferentes formas, seja em indivíduos normais submetidos à tomografia computadorizada com emissão de pósitrons durante a realização de testes de memória de curta e longa duração, com ativação do cerebelo em ambas a tarefa; ou em pacientes com lesão do cerebelo, estudando a memória auditiva e visual através de testes neurocomportamentais, observando a debilidade de resposta desses pacientes durante os testes envolvendo memória auditiva<sup>16,17,24-26</sup>. Esses estudos sugeriram que exista uma rede neural cerebral multicêntrica que participa dessa função, e que essa rede, tendo como um dos participantes o cerebelo, interagiria para realizar as funções de codificação, consolidação, armazenamento e recuperação da memória<sup>16,17,27,28</sup>.

Alguns autores, avaliando a memória auditiva de crianças com lesão cerebelar, sugeriram que a integração cerebelo-cortical se desenvolva de forma precoce, e que as alterações de memória auditiva observadas nesses pacientes seria o resultado da privação da rede de comunicação entre o cerebelo e as áreas corticais, e não pelas lesões do cerebelo em si<sup>24,26</sup>.

**Processamento auditivo semântico:** O processamento auditivo semântico foi avaliado em estudos de neuroimagem funcional, onde o cerebelo foi ativado junto a outras estruturas neurais, tais como o córtex temporal posterior esquerdo, córtex frontal inferior esquerdo, córtex pré-frontal e área motora suplementar. Estudos envolvendo tarefas semânticas e não-semânticas auditivas observaram maior ativação do cerebelo principalmente durante a tarefa semântica auditiva<sup>27,29</sup>.

Processamento da linguagem e operações lingüísticas: Estudos sugeriram que déficits lingüísticos seguidos de doença do cerebello não implicam na representação de funções lingüísticas a nível cerebelar, mas refletem uma desativação funcional das áreas de linguagem supratentoriais, devido à redução dos estímulos pelas vias cerebelocorticais, com ênfase no processo de dessincronização como um mecanismo patológico relevante para as desordens de linguagem causadas pelo cerebello. Outros autores também referiram o papel modulador do cerebello, salientando que, se essa modulação é prejudicada, déficits lingüísticos ocasionados são quantitativamente e qualitativamente diferentes dos déficits produzidos por lesões de estruturas supratentoriais. Portanto, baterias de testes padrões são muitas vezes não-sensíveis o bastante para revelar alterações que podem ser causadas por lesões de cerebello<sup>15,16,23,24</sup>.

Geração Verbal: A geração verbal foi observada nos estudos que relataram a dificuldade de aprendizado de associações verbais e a deterioração nos testes de fluência verbal nos pacientes com lesão de cerebello. Ativação cerebelar direita foi observada durante a realização de tomografia computadorizada com emissão de pósitrons, enquanto indivíduos normais produziam um verbo, relacionado a um substantivo apresentado de forma auditiva e visual, sugerindo a participação do cerebello na função cognitiva de geração verbal<sup>9,23-25</sup>.

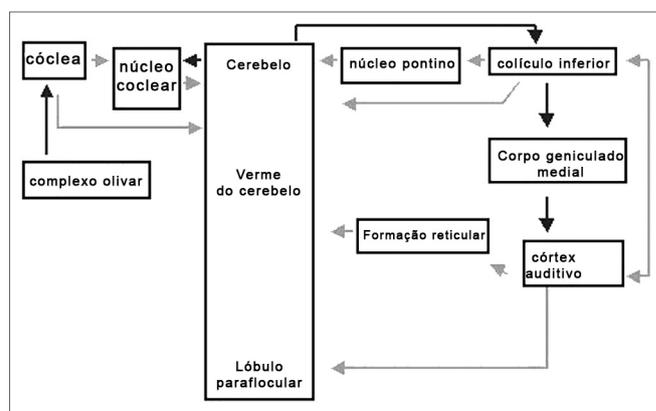
Discriminação e informação sensorial: É importante evidenciar o relacionamento estreito entre as sensibilidades auditiva e visual, como relatado por vários autores. Esse conhecimento é importante para a compreensão do mecanismo de comunicação multissensorial e para planejar a reabilitação do deficiente<sup>26,30</sup>.

Raciocínio abstrato, Manipulação hábil de idéias e Solução de problemas: São funções que fazem parte das atividades necessárias para o processamento auditivo, portanto uma vez comprometidas poderiam levar a uma alteração desse processamento<sup>1,15,24</sup>.

## DISCUSSÃO

Os autores montaram com as diversas informações isoladas da literatura um esquema que permite visualizar as diversas conexões do cerebello com os órgãos auditivos periféricos e diversas estruturas centrais (Figura 1). Dele podemos depreender que o cerebello está envolvido em atividades centrais complexas, e provavelmente em função periférica, modulando a atividade coclear; talvez de uma forma inibitória, como observado em alguns estudos onde a lesão do cerebello em animais aumentava a amplitude do microfônismo coclear e do potencial de ação do nervo auditivo; mas com poucos estudos ainda para que possa ser feita essa afirmativa<sup>11,16,26</sup>.

É importante salientar que essa via auditiva que passa pelo cerebello não é única, pois existem outras vias



**Figura 1.** Resumo das vias auditivas do cerebello identificadas anatomicamente por diversos autores:

auditivas paralelas que não passam pelo cerebello, tais como as vias que vão do núcleo coclear para o colículo inferior.

A divergência entre alguns autores na determinação da área auditiva do cerebello foi observado em alguns estudos<sup>6,8,12,14</sup>. Deve-se considerar que os animais estudados nessas pesquisas variaram em espécie, podendo assim influenciar os seus resultados. Esses diferentes achados talvez sejam uma alteração adaptativa da espécie para a sua sobrevivência.

Algumas diferenças foram encontradas na literatura em relação à necessidade da participação de uma ou ambas as orelhas na produção de respostas auditivas no cerebello. Alguns autores observaram que as respostas se davam com a participação de ambas as orelhas, e também que ocorria maior efetividade do estímulo binaural em relação ao monoaural<sup>3,4</sup>. No entanto alguns autores relataram que neurônios de latência mais longa (maior que 11 ms) respondiam ao estímulo binaural, enquanto os neurônios de latência mais curta (menor que 6ms) respondiam ao estímulo sonoro monoaural<sup>7</sup>. Talvez este mecanismo colabore na localização sonora, já que a estimulação binaural é mais efetiva e auxilia na obtenção da diferença de tempo e intensidade entre os sons.

Outro dado importante é que a grande parte dos autores que realizaram estudos experimentais em animais observaram potenciais de média latência durante a realização de potenciais evocados<sup>3,5,7,8</sup>. Esses dados sugerem que o cerebello atue como um colaborador no processamento auditivo e na cognição sendo uma área aberta para diversas pesquisas.

A influência da atividade neocerebelar sobre o tronco encefálico, tálamo, hipocampo e córtex cerebral, podendo intensificar ou inibir as respostas para estímulos somatossensoriais, auditivos e visuais foram defendidas por vários autores; no entanto, a importância desta modulação sensorial sobre o comportamento pelo neocerebello é desconhecida, assim como são as regras fisiológicas que

governam essa função no comportamento animal<sup>15,30</sup>.

A descoberta, por numerosos trabalhos complementares entre si, da influência do cerebelo em diversas fases do processamento auditivo, citados acima, mostra que essa estrutura cerebral, que até há pouco tempo era considerada apenas como um coordenador de movimentos, é extremamente importante para a cognição e para a comunicação. As aplicações práticas, que podem ser desenvolvidas a partir desses conhecimentos são numerosas e um campo aberto para pesquisas, sendo fácil prever novas formas de diagnóstico adequado de distúrbios da comunicação e da cognição bem como das técnicas de tratamento dos portadores dessas disfunções limitantes.

## CONCLUSÕES

Ainda são incompletas as informações sobre as estruturas e vias auditivas do cerebelo. O cerebelo age como modulador de diversos tipos de sensibilidade, no processo da cognição. No cerebelo ocorre uma integração de informações sensoriais destinadas à cognição, envolvendo os estímulos auditivos e visuais. Na literatura há evidências de que o cerebelo participa das seguintes funções cognitivas relacionadas a audição: geração verbal, atenção auditiva, memória auditiva, raciocínio abstrato, temporização, solução de problemas, discriminação sensorial, informação sensorial, processamento da linguagem e operações lingüísticas. A atividade auditiva do cerebelo contribui na formação dos potenciais de média latência em animais, e tem influência sobre a atividade das vias eferentes auditivas periféricas o que poderá ser objeto de pesquisa para aplicação prática no homem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Leiner HC, Leiner AL, Dow RS. Does the cerebellum contribute to mental skills? *Behav Neurosci* 1986;100(4):443-54.
2. Strick PL, Middleton FA. Anatomical evidence for cerebellar and basal ganglia involvement in higher cognitive function. *Science* 1994;266:458-61.
3. Snider RS, Stowell A. Receiving areas of the tactile auditory, and visual systems in the cerebellum. *J Neurophysiol* 1944;7:331-58.
4. Altman JA, Bechterev NN, Radionova EA, Shmigidina GN, Syka J. Electrical responses of the auditory area of the cerebellar cortex to acoustic stimulation. *Exp Brain Res* 1976;26:285-98.
5. Azizi SA, Burne RA, Woodward DJ. The auditory corticopontocerebellar projection in the rat: inputs to the paraflocculus and midvermis. An anatomical and physiological study. *Exp Brain Res* 1985;59:36-49.
6. Huang CM, Liu G, Huang R. Projections from the cochlear nucleus to the cerebellum. *Brain Res* 1982;244:1-8.
7. Huang CM, Burkard R. Frequency sensitivities of auditory neurons in the cerebellum of the cat. *Brain Res* 1986;371:101-8.
8. Huang C, Liu G, Yang B, Um H, Hsiao C. Auditory receptive area in the cerebellar hemisphere is surrounded by somatosensory areas. *Brain Res* 1991;541:252-6.
9. Petersen SE, Fox PT, Posner MI, Mintun M, Raichle ME. Positron emission tomographic studies of the processing of single words. *J Cogn Neurosci* 1989;1:153-70.
10. Teramoto S, Snider RS. Modification of auditory responses by cerebellar stimulation. *Exp Neurol* 1966;16:191-200.
11. Velluti R, Crispino L. Cerebellar actions on cochlear microphonics and on auditory nerve action potential. *Brain Res Bull* 1979;4:621-4.
12. Wolfe JW. Responses of the cerebellar auditory area to pure tone stimuli. *Exp Neurol* 1972;36:295-309.
13. Wolfe JW, Kos CM. Cerebellar inhibition of auditory function. *Tr Am Acad Ophth Otol* 1975;80:314-8.
14. Gacek RR. A cerebellocochlear nucleus pathway in the cat. *Exp Neurol* 1973;41:101-12.
15. Molinari M, Filippini V, Leggio MG. Neuronal plasticity of interrelated cerebellar and cortical networks. *Neuroscience* 2002;111(4):863-70.
16. Mathiak K, Hertrich I, Grodd W, Ackermann H. Discrimination of temporal information at the cerebellum: functional magnetic resonance imaging of nonverbal auditory memory. *Neuroimage* 2004;21:154-62.
17. Schlaug G, Gaab N, Gaser C, Zaehle T, Jancke L. Functional anatomy of pitch memory- an fMRI study with sparse temporal sampling. *Neuroimage* 2003;19:1417-26.
18. Ackermann H, Graber S, Hertrich I, Daum I. Cerebellar contributions to the perception of temporal cues within the speech and nonspeech domain. *Brain Lang* 1999;67:228-41.
19. Mangels JA, Ivry RB, Shimizu N. Dissociable contributions of the prefrontal and neocerebellar cortex to time perception. *Brain Res Cog* 1998;7:15-39.
20. Ackermann H, Riecker A, Mathiak K, Erb M, Grodd W, Wildgruber D. Rate-dependent activation of a prefrontal-insular-cerebellar network during passive listening to trains of click stimuli: an fMRI study. *Neuroreport* 2001;12(1821):4087-92.
21. Akshoomoff NA, Courchesne E, Townsend J, Saitoh O, Lincoln AJ, James HE, Haas RH, Schreibman L, Lau L. Impairment in shifting attention in autistic and cerebellar patients. *Behav Neurosci* 1994;108(5):848-65.
22. Courchesne E, Muller RA, Allen G. The cerebellum: so much more. *Letters. Science* 1998;282:879-80.
23. Marien P, Engelborghs S, Fabbro F, Deyn PP. The lateralized linguistic cerebellum: a review and a new hypothesis. *Brain Lang* 2001;79:580-600.
24. Riva D, Giorgi C. The cerebellum contributes to higher functions during development. *Brain* 2000;123(5):1051-61.
25. Grasby PM, Frith CD, Friston KJ, Bench C, Dolan RJ, Frackowiak RSJ. Functional mapping of brain areas implicated in auditory-verbal memory function. *Brain* 1993;116:1-20.
26. Lazareff JA, Castro-Sierra E. Pre operative and post operative analysis of visual and auditory memory in children with cerebellar tumors. *Child's Nerv Syst* 1996;12:81-6.
27. Chee MWL, O'Craven KM, Bergida R, Rosen BR, Savoy RL. Auditory and visual word processing studied with fMRI. *Hum Brain Mapp* 1999;7:15-28.
28. Andreasen NC, O'Leary DS, Cizadlo T, Arndt S, Rezaei K, Watkins GL, et al. PET studies of memory: novel versus practiced free recall of word lists. *Neuroimage* 1995;2:296-305.
29. Burton MW, Noll DC, Small SL. The anatomy of auditory word processing: individual variability. *Brain and Language* 2001;77:119-31.
30. Akshoomoff NA, Courchesne E. A new role for the cerebellum in cognitive operations. *Behav Neurosci* 1992;106(5):731-7.