



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Marília



CULTURA
ACADÊMICA
Editora

Neuroanatomia do Processamento Auditivo

Heraldo Lorena Guida; Célia Maria Giachetti; Neivo Luiz Zorzetto

Como citar: GUIDA, Heraldo Lorena; GIACHETTI, Célia Maria; ZORZETTO, Neivo Luiz. Neuroanatomia do Processamento Auditivo. *In:* GIACHETTI, Célia Maria; GIMENIZ-PASCHOAL, Sandra Regina. **Perspectivas em Multidisciplinares em Fonoaudiologia:** da Avaliação à Intervenção. Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013. p. 57-72.

DOI: <https://doi.org/10.36311/2013.978-85-7983-452-3.p57-72>



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

NEUROANATOMIA DO PROCESSAMENTO AUDITIVO

*Heraldo Lorena GUIDA
Célia Maria GIACHETI
Neivo Luiz ZORZETTO*

INTRODUÇÃO

O emprego de provas e testes na avaliação das habilidades auditivas, como parte do processo de avaliação fonoaudiológica, tem se tornado uma realidade na prática clínica do fonoaudiólogo, tendo em vista que auxilia no entendimento das manifestações fonoaudiológicas, na definição do quadro clínico e na seleção de estratégias terapêuticas. O processamento auditivo inclui um conjunto de habilidades auditivas específicas, que permite ao indivíduo ouvir e interpretar informações que chegam a ele¹.

Para que o processamento auditivo seja entendido, é necessário compreender o mecanismo e o processo de funcionamento do sistema auditivo, que são responsáveis pelas habilidades de lateralização e localização do som, discriminação auditiva, reconhecimento de padrões e aspectos temporais da audição, que incluem a resolução, o mascaramento, a integração e a ordenações temporais, além do desempenho auditivo com sinais acústicos competitivos e degradados².

Uma série de processos sucessivos permite que o indivíduo realize uma tarefa metacognitiva dos efeitos sonoros e o torne capaz de compreender a linguagem falada. Essa habilidade de compreensão da linguagem falada, e sua relação direta com o desenvolvimento das

habilidades auditivas, está diretamente relacionada ao desenvolvimento das estruturas do sistema nervoso central. As tarefas de detecção, sensação, discriminação, localização, reconhecimento, compreensão, memória e atenção seletiva permitem entender como o processo de desenvolvimento das habilidades auditivas está diretamente ligado ao desenvolvimento da habilidade de entender a linguagem oral³.

O comportamento auditivo pode ser observado, dependendo da etapa do *desenvolvimento dos bebês*, que vai desde a localização do som até a discriminação auditiva, o reconhecimento de padrão temporal, a ordenação temporal, a resolução temporal, a escuta dicótica e o desempenho com sinais acústicos degradados (escuta monótica). A habilidade de receber, analisar e organizar o que ouvimos denomina-se processamento auditivo⁴.

A busca por procedimentos que avaliem o sistema nervoso auditivo central (SNAC) é antiga⁵. O pressuposto que norteia a realização dos testes foi pautado na teoria das redundâncias intrínsecas (conexões neurais) e extrínsecas (sinal acústico), por meio da qual é possível trabalhar com as variáveis relacionadas ao sinal acústico⁶⁻⁷.

Os testes de processamento auditivo demoraram a serem utilizados de maneira formal na prática clínica dos profissionais que atuam na avaliação e no diagnóstico fonoaudiológico. Dificuldades em sua padronização poderiam justificar essa demora. Garantir inicialmente as condições do indivíduo no tocante a sua acuidade auditiva é requisito importante, antes de aplicar provas que envolvam o processamento das habilidades auditivas⁸.

A via auditiva é complexa, por isso pode sofrer prejuízos em decorrência de inúmeras causas inerentes a sua maturação⁹ e, ainda, de afecções sofridas. Os processos de aquisição e desenvolvimento da compreensão e produção da linguagem, nas modalidades falada e escrita, também são complexos e envolvem o funcionamento de redes de neurônios distribuídos em diferentes áreas cerebrais que se relacionam e são capazes de perceber e processar os sons da fala, sendo dependentes da integridade auditiva periférica e central¹⁰. Conhecer a neuroanatomia do sistema auditivo é condição básica antes de o fonoaudiólogo testar habilidades auditivas ou do processamento auditivo. Só assim o profissional poderá

entender as condições alteradas e como essas condições patológicas afetariam a função auditiva¹¹.

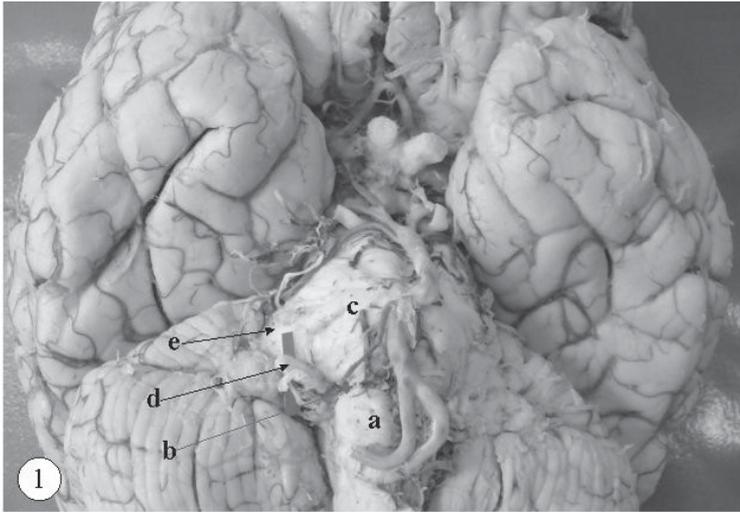
Neste capítulo, abordaremos as principais estruturas da via auditiva, responsáveis pelas habilidades auditivas ou pelas habilidades que envolvem o processamento auditivo, desde seu trajeto na porção periférica até a parte central.

REVISÃO DA LITERATURA

Estudo com processamento auditivo em indivíduos com deficiência visual destacou a importância do conhecimento do SNAC e sua relação com outras vias (visuais ou proprioceptivas), quando se considera a aquisição da linguagem¹².

Do ponto de vista das características anatômicas, o sistema auditivo pode ser classificado em periférico e central. A porção periférica é constituída pelas orelhas externa, média, interna e nervo vestibulococlear. Essas estruturas são responsáveis pela captação, condução, modificação, amplificação, análise e transdução das ondas sonoras. É relevante destacar que o órgão de Corti constitui a principal estrutura da orelha interna, é um complexo altamente especializado de células epiteliais que se estende ao longo de todo o trajeto da cóclea, apresentado uma organização tonotópica¹³⁻¹⁴.

O gânglio espiral é constituído por corpos de neurônios (neurônios I da via auditiva), cujos prolongamentos formam o nervo auditivo (nervo vestibulococlear), que, por sua vez, transfere informações do órgão de Corti para o sistema nervoso central (Figura 1)¹⁵.



- a - bulbo
- b - sulco bulbo pontino
- c - ponte
- d - nervo vestibulococlear (VIII par craniano)
- e - pedúnculo cerebelar médio

Nota: Guida HL, Feniman MR, Zanchetta S, Ferrari C, Giacheti CM, Zorzetto NL. Revisão anatômica e fisiológica do processamento auditivo. Acta ORL. 2007;25(3):177-81.

Figura 1- Base do encéfalo

O SNAC inicia-se a partir da entrada do nervo vestibulococlear no sulco bulbo pontino. Os *núcleos cocleares* contêm os neurônios auditivos (neurônios II). O núcleo coclear ventral recebe informações (ipsilaterais) do ápice da cóclea, e o núcleo coclear dorsal recebe informações da base da cóclea. Ocorre ainda uma subdivisão do núcleo coclear ventral em anteroventral (mais funcional) e posteroventral (função pouco conhecida)¹³⁻¹⁵.

O núcleo coclear é a localização mais central na qual uma lesão pode produzir surdez unilateral. Lesões em locais mais superiores da via auditiva causam déficits na audição, mas nunca perdas funcionais unilaterais completas¹³.

Existem evidências claras de que há correlação entre a categoria anatômica do neurônio e a sua resposta funcional, e que a mesma contribui

para a manutenção da tonotopia coclear, a codificação de intensidades, a resolução temporal e a codificação de sons complexos¹⁶.

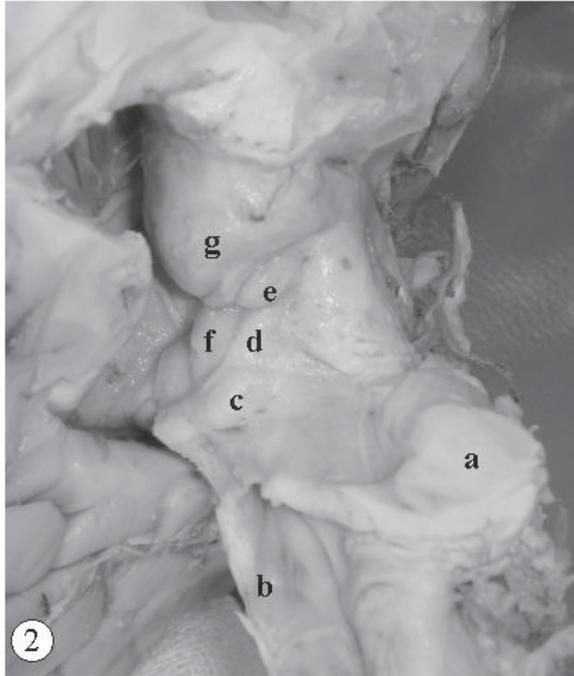
As três principais vias de saída de estímulos são: complexo olivar superior, lemnisco lateral e colículo inferior. Essas três vias distintas começam a partir de grupos neuronais diferentes. O complexo olivar superior é tonotopicamente organizado. É o primeiro ponto a receber um fluxo muito grande de fibras nervosas de ambas as orelhas, portanto, o primeiro a se capacitar para a análise localizacional do estímulo sonoro. A análise binaural é feita por meio da diferença entre a intensidade interaural e diferença de tempo binaural¹⁷.

O mecanismo de localização serve tanto para fontes sonoras horizontais (esquerda ou direita), como para fontes verticais (para cima ou para baixo)¹⁸.

Os *colículos inferiores* (neurônios III) são duas protuberâncias localizadas na porção dorsal do mesencéfalo (Figura 2). Histologicamente, estão divididos em núcleo central, pericentral e externo, e apresentam uma estrutura laminar e uma organização tonotópica. Essas estruturas estão relacionadas ao reconhecimento do diferentes sons que pertencem ao espectro sonoro, como variações de amplitude e de frequência, exercendo papel na identificação dos fonemas da fala¹⁹.

O braço do colículo inferior é a estrutura anatômica que contém o conjunto de fibras que faz a comunicação com o núcleo do corpo geniculado medial ipsilateral, localizado no tálamo (Figura 2).

Na porção superior do mesencéfalo identifica-se o colículo superior (Figura 2), estrutura que pertence a via visual e pode estar relacionada com funções acústico-motoras, por meio da coordenação de movimentos (olhos, orelhas, cabeça e pescoço) em resposta a estímulos sonoros^{19,20}.



- a** – pedúnculo cerebelar médio
- b** – área onde se localizam os núcleos cocleares
- c** – colículo inferior
- d** – braço do colículo inferior
- e** – corpo geniculado medial
- f** – colículo superior,
- g** - pulvinar do tálamo.

Nota: Guida HL, Feniman MR, Zanchetta S, Ferrari C, Giacheti CM, Zorzetto NL. Revisão anatômica e fisiológica do processamento auditivo. Acta ORL. 2007;25(3):177-81.

Figura 2- Vista dorsal do tronco encefálico e parte do diencefalo

Dentro da via auditiva, é relevante notar a presença da formação reticular (Figura 3), principalmente pelo fato de tal estrutura atuar na inibição e facilitação das funções neurais e no estado de vigília.

O *corpo geniculado medial* (neurônios IV) é o núcleo talâmico responsável pela retransmissão auditiva, localizado na superfície inferior do tálamo (Figura 2). A divisão ventral do corpo geniculado medial constitui

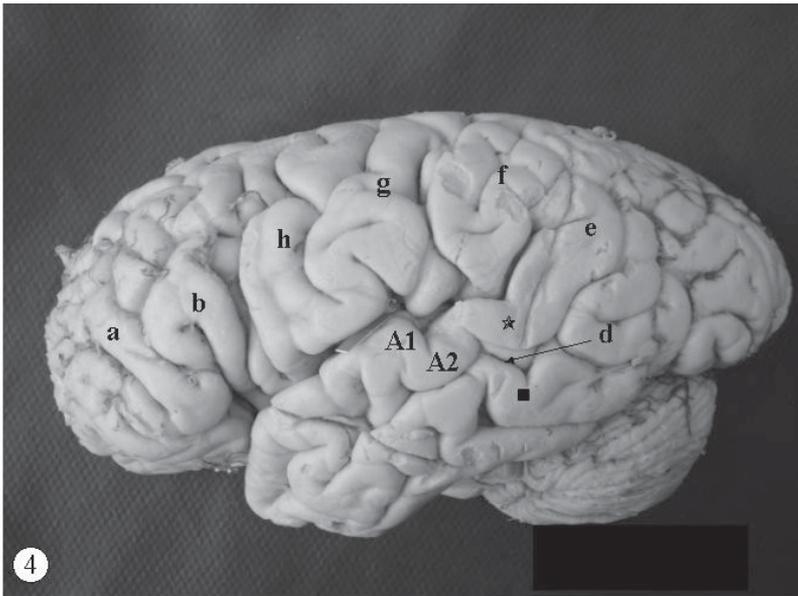
seu núcleo principal, que possui organização tonotópica com estrutura laminar, similar ao núcleo central do colículo inferior⁸.



- a – bulbo
- b – ponte
- c – mesencéfalo
- d – teto do mesencéfalo
- e – tálamo
- f – hipotálamo
- g – tronco do corpo caloso
- h – joelho do corpo caloso
- i – esplênio do corpo caloso
- j – formação reticular

Nota: Guida HL, Feniman MR, Zanchetta S, Ferrari C, Giacheti CM, Zorzetto NL. Revisão anatômica e fisiológica do processamento auditivo. Acta ORL. 2007;25(3):177-81.

Figura 3 - Face medial do encéfalo (lado esquerdo)



- a – lobo frontal
- b – área de Broca
- c – sulco lateral
- d – sulco temporal superior
- e – giro angular
- f – giro supramarginal
- g – giro pós-central
- h – giro pré-central
- A1 – área auditiva primária
- A2 – área auditiva secundária
- ☆ - giro temporal superior
- - giro temporal médio (Fonte: Guida, et al. 16

Nota: Guida HL, Feniman MR, Zanchetta S, Ferrari C, Giacheti CM, Zorzetto NL. Revisão anatômica e fisiológica do processamento auditivo. Acta ORL. 2007;25(3):177-81.

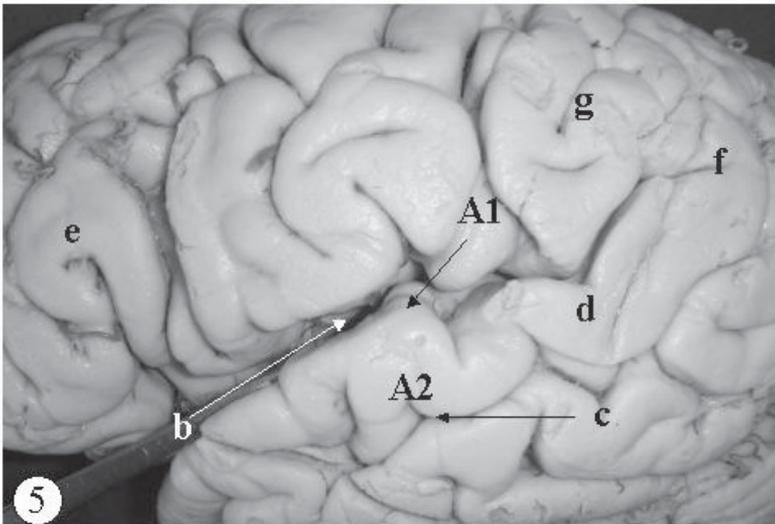
Figura 4 - Face superolateral do hemisfério cerebral esquerdo.

O *córtex auditivo primário* situado no giro temporal transversal anterior (giro de Heschl) corresponde às áreas 41 e 42 de Brodmann (Figuras 4 e 5). As projeções auditivas talamocorticais, denominadas radiações auditivas, trafegam abaixo do núcleo lenticular por meio da cápsula interna (Figura 6). O córtex tem uma citoarquitetura formada por seis camadas. As projeções aferentes vindas do tálamo terminam nas camadas III e IV. As projeções corticocoliculares e corticotálâmicas iniciam-se nas camadas

V e VI, e as camadas I e II estão envolvidas em conexões internas, tanto ipsilateral como contralateral, por intermédio do corpo caloso (Figura 6).

A organização tonotópica do córtex auditivo mostra plasticidade após lesão da cóclea¹⁷.

Apesar da extensa conexão entre as vias aferentes, a maior parte da atividade neural, que atinge o córtex auditivo primário, origina-se na orelha contralateral. A representação tonotópica das baixas frequências localiza-se na porção lateral e rostral do córtex primário, enquanto a representação das altas frequências apresenta disposição mediana e caudal²¹.



A1 – giro temporal transverso anterior (giro de Heschl) / área auditiva primária

A2 – área auditiva secundária

b – sulco lateral

c – sulco temporal superior

d – área posterior da linguagem (área de Wernicke)

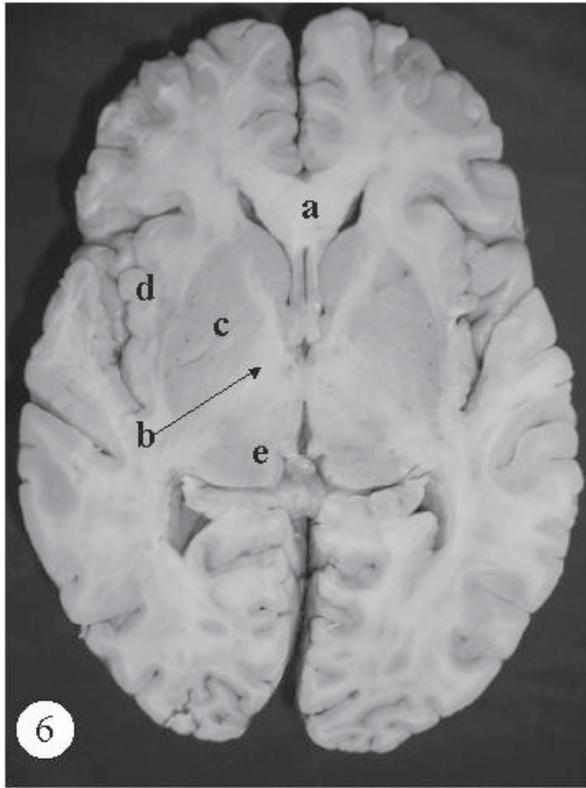
e – área de Broca / giro frontal inferior

f – giro angular

g – giro supramarginal.

Nota: Guida HL, Feniman MR, Zanchetta S, Ferrari C, Giacheti CM, Zorretto NL. Revisão anatômica e fisiológica do processamento auditivo. Acta ORL. 2007;25(3):177-81.

Figura 5 - Vista lateral do hemisfério cerebral esquerdo



- a – corpo caloso
- b – cápsula interna
- c – núcleo lentiforme
- d – lobo da insula
- e – tálamo.

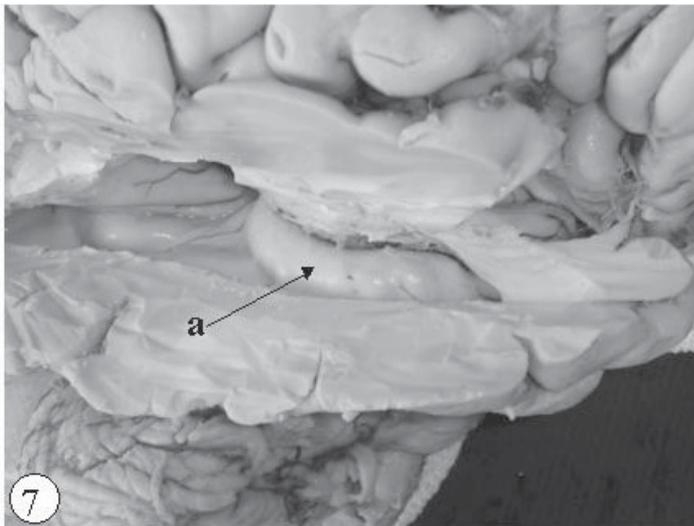
Nota: Guida HL, Feniman MR, Zanchetta S, Ferrari C, Giacheti CM, Zorzetto NL. Revisão anatômica e fisiológica do processamento auditivo. Acta ORL. 2007;25(3):177-81.

Figura 6 - Corte horizontal do cérebro

A área auditiva secundária situa-se no lobo temporal, circulando a área auditiva primária, e corresponde à área 22, de Brodmann. Outra área importante é a de Wernicke, localizada na porção caudal do sulco lateral esquerdo, no giro temporal superior (Figuras 4 e 5), responsável pelo reconhecimento dos estímulos linguísticos e pela compreensão da linguagem falada.

Entre a área de Wernicke e a área de Broca (giro frontal inferior), existe uma via de associação robusta, o fascículo arqueado¹³.

Nas áreas de associação terciárias (Figura 4), que apresentam conexão aferente com a via auditiva, temos: a área pré-frontal (parte anterior não motora do lobo frontal), que, por sua vez, se liga com o sistema límbico; a área temporoparietal (giros supramarginal e angular), que integra informações recebidas das áreas auditiva, visual e somestésica. As áreas corticais de associação límbicas compreendem o giro do cíngulo, o giro para-hipocampal e o hipocampo (Figura 7). Estão relacionadas, principalmente, com a memória e com o comportamento emocional¹⁵.



a – hipocampo

Nota: Guida HL, Feniman MR, Zanchetta S, Ferrari C, Giacheti CM, Zorzetto NL. Revisão anatômica e fisiológica do processamento auditivo. Acta ORL. 2007;25(3):177-81.

Figura 7- Dissecção do lobo temporal

Estudos realizados por meio de imagem de ressonância magnética funcional (IRMf) têm dado amplo destaque à especificidade do sulco temporal superior (STS), no tocante às respostas verbais²².

A voz humana contém, em sua estrutura acústica, características do falante, como sua identidade e o estado emocional, que são percebidas com detalhes pelo ouvinte. As áreas seletivas da fala no STS podem representar a contrapartida das áreas seletivas da face no córtex visual humano, propiciando um novo entendimento da arquitetura funcional do córtex auditivo humano²⁴. Estudos realizados com IRMf, por meio de estímulos com sequências de vogais, mostraram que foram ativadas respostas no córtex temporal superior anterior bilateralmente²⁴.

Outro estudo sobre a anatomia da linguagem descreveu as principais áreas ativadas por meio da IRMf, de acordo com a atividade cerebral. Durante a tarefa de percepção da fala pré-lexica, foi observada ativação nos giro temporal superior bilateralmente. Em tarefas com recuperação semântica, foram observadas ativações no giro angular esquerdo e na compreensão de sentenças no giro frontal inferior (*pars orbitalis*) e sulco temporal superior bilateral. Para sentenças incompreensíveis, aumenta a ativação na região frontal inferior, no plano temporal posterior e na parte ventral do giro supramarginal. Esses efeitos estão associados ao uso do conhecimento prévio das associações semânticas, sequência de palavras e articulação, que predizem o conteúdo da sentença. A produção da fala está associada ao mesmo conjunto de regiões relacionadas à compreensão da fala, somando-se a recuperação da palavra, a qual está localizada no córtex frontal médio esquerdo, o planejamento articulatorio na ínsula anterior esquerda, e a iniciação e execução do discurso no putâmen esquerdo, áreas do córtex pré-motor suplementar, motor suplementar e córtex motor. Para suprimir reações indesejadas, as áreas ativadas são o cíngulo anterior e a cabeça do núcleo caudado bilateralmente²⁵.

As estruturas do sistema nervoso e o complexo mecanismo neurofisiológico são responsáveis, juntamente com a estimulação ambiental, pelo desenvolvimento das habilidades do processamento auditivo, que está diretamente ligado ao desenvolvimento da linguagem, seja ela falada ou escrita. Alterações estruturais e funcionais do sistema nervoso central (e.g. anomalias estruturais do corpo caloso) podem comprometer o desenvolvimento da linguagem em crianças/adolescentes que buscam os serviços de Fonoaudiologia com queixas e quadros diversos, que envolvem os transtornos de comunicação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há um consenso na literatura no que diz respeito à necessidade do conhecimento neuroanatômico do sistema auditivo, por parte do profissional que trabalha com processamento auditivo, na avaliação e proposta terapêutica⁵⁻⁷. É também importante o entendimento das conexões do SNAC com as outras áreas da linguagem, visto a estreita relação entre esses sistemas. Entendemos que os testes comportamentais relacionados à percepção da fala vão além da sensação e envolvem, em algum grau, a atenção, a memória e a cognição. Portanto, a proposta da realização dos testes de processamento auditivo ou provas que envolvem as habilidades auditivas, incluindo a compreensão da linguagem da fala, é uma forma sistemática e necessária de avaliação comportamental da percepção sensorial, na modalidade auditiva. O estudo da relação entre o desenvolvimento das habilidades auditivas e o desenvolvimento típico (ou não) da linguagem falada e escrita merece atenção por parte dos profissionais que atuam na avaliação e no diagnóstico fonoaudiológico. Importante também que profissionais que trabalham com terapia e prevenção de distúrbios fonoaudiológicos coloquem, em sua prática clínica, informações sobre os aspectos neuroanatômicos do sistema auditivo, para justificar a seleção de tarefas e estratégias de intervenção ou ações que previnam o aparecimento/instalação de transtornos de comunicação.

Com relação aos aspectos neuroanatomofisiológicos da via auditiva, o presente estudo tem a destacar que os núcleos cocleares são os primeiros relés sinápticos para informações auditivas, apresentando organização tonotópica, e são responsáveis pela codificação da frequência e intensidade dos sons¹³. O complexo olivar superior constitui o primeiro lugar da via auditiva de convergência binauricular, cujos neurônios são responsáveis pela detecção da diferença de tempo e intensidade dos sons que atingem as orelhas, permitindo ao ouvinte localizar a origem da fonte sonora^{8,14}.

O colículo inferior possui organização tonotópica precisa. Responde às alterações no espectro sonoro, como modulações de amplitude e frequência, seus neurônios provavelmente identificam os fonemas específicos e as entonações necessárias para o reconhecimento da fala. Além disso, está relacionado com funções acústico-motoras, em ação conjunta com o colículo superior¹⁵⁻¹⁷. O corpo geniculado medial é o núcleo

talâmico responsável pela retransmissão auditiva, tendo importante papel no conjunto de informações que envolvem a frequência, a intensidade e a binauralidade¹⁷.

No que diz respeito às áreas corticais responsáveis pela audição, a literatura compilada descreve classicamente à área primária no giro temporal transversal anterior, com a área secundária ao seu redor. Apresenta também a área pré-frontal, a área temporoparietal e as áreas de associação límbicas como integrantes das áreas de associação terciária^{8,12,18}. Importante destacarmos que estudos com IRMF identificaram as áreas ao redor do STS como de alta seletividade para sons verbais¹⁹. E a área anterior do STS no hemisfério direito apresentou intensa resposta frente a sons não-verbais e sons ambientais^{19,20}. Sendo assim, esta região representa atualmente um importante paradigma na investigação e na compreensão do funcionamento da via auditiva central, responsável pela identificação das nuances e dos aspectos paralinguísticos da fala.

REFERÊNCIAS

1. Alvarez AM, Balen AS, Misorelli MIL, Sanchez ML. Processamento auditivo central: proposta de avaliação e diagnóstico diferencial. In: Munhoz MS, Caovilla HH, Silva ML, Ganância MM. *Audiologia Clínica*. São Paulo: Atheneu; 2000. p. 103-19.
2. Samelli AG, Schochat E. The gapes-in-noise test: gap detection thresholds in normal hearing young adults. *Int J Audiolo*. 2008;47(5):238-45.
3. Kozlowski L, Wiemes GM, Magni C, Silva AL. A efetividade do treinamento auditivo central: estudo de caso. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2004;70(3):427-32.
4. Gielow I. *Escutação: treino auditivo para a vida*. São Paulo: Thot; 2008.
5. Bocca E, Calearo C, Cassinari V. A new method for testing hearing in temporal lobe tumors. Preliminary report. *Acta Otolaryngol*. 1954;44(3):219-21.
6. Machado SF. *O teste SSW: a validação e aplicação de um instrumento no estudo e avaliação da percepção de fala [dissertação]*. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; 1993.
7. Mueller HG, Bright KE. Monosyllabic procedures. In: Katz J, editor. *Handbook of clinical audiology*. 4th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 1994. p.222-38.

8. Jacob LCB, Alvarenga KF, Zeigelboim B. Avaliação audiológica do sistema nervoso auditivo central. *Arquivos da Fundação Otorrinolaringologia [periódico online]* 2000 [citado 2005 mar 01]; 4 (4). Disponível em: <http://www.hcnet.usp.br/otorrino/arq44/aval.htm>.
9. Neves IF, Schochat E. Maturação do processamento auditivo em crianças com e sem dificuldades escolares. *Pró-Fono Rev Atual Cient.* 2005;17(3):311-20.
10. Santos JN, Lemos SM, Rates SP, Lamounier JA. Habilidades auditivas e desenvolvimento de linguagem central em crianças. *Pró-Fono Rev Atual Cient.* 2008;20(4):255-60.
11. Jorge TC. Avaliação do processamento auditivo em pré-escolares [dissertação]. Campinas: Pontifícia Universidade Católica de Campinas; 2006.
12. Pereira LD, Schochat E. Processamento auditivo central: manual de avaliação. São Paulo: Lovise; 1997.
13. Vilas BL, Muniz L, Caldas Neto SS, Gouveia MCL. Desempenho do processamento auditivo em uma população de cegos. *Rev Bras Otorrinolaringol.* 2011;77(4):504-9.
14. Palmer JM. Anatomia para a fonoaudiologia. 4th ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2003.
15. Machado ABM. Neuroanatomia funcional. 2nd ed. São Paulo: Atheneu; 1993.
16. Correa EM. Embriologia e histologia fonoaudiológica. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2002.
17. Aquino AMCM. Processamento auditivo eletrofisiologia e psicoacústica. São Paulo: Lovise; 2002.
18. Bistafa SR. Acústica aplicada ao controle do ruído. São Paulo: Blucher; 2006.
19. Mangabeira Albernaz PL. Vias auditivas centrais. In: Campos CA, Costa HOO T, editores. *Tratado de otorrinolaringologia*. São Paulo: Roca; 2002. p.401-5.
20. Brugge JF. Neurophysiology of the central auditory and vestibular systems In: Paparella MM, Shumrick DA, Gluckman JL, Meyerhoff WL. *Otolaryngology*. 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders; 1991. p. 281-301.
21. Pereira JR, Reis AM, Magalhães. Neuroanatomia funcional: anatomia das áreas activáveis nos usuais paradigmas em ressonância magnética funcional. *Acta Médica Portuguesa.* 2003;16:107-16.
22. Belin P, Zatorre RJ, Ahad P. Human temporal-lobe response to vocal sounds. *Brain Res Cogn Brain Res.* 2002;13(1):17-26.
23. Belin P, Zatorre RJ, Lafaille P, Ahad P, Pike B. Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature.* 2000;403(6767):309-12.

24. Obleser J, Boecker H, Drzezga A, Haslinger B, Hennenlotter A, Roettingert M, et al. Vowel sound extraction in anterior superior temporal cortex. *Hum Brain Mapp* 2006;27(7):562-71.
25. Price CJ. The anatomy of language: a review of 100 fMRI studies published in 2009. *Ann NY Acad Sci.* 2010;1191:62-88.