

**VIVIAN OLIVA JORGE**

**EXISTE UM SISTEMA QUE FUNCIONA DE  
ACORDO COM O MODELO DE JEFFRESS NAS VIAS  
AUDITIVAS DE MAMÍFEROS?**

**VIVIAN OLIVA JORGE**

**EXISTE UM SISTEMA QUE FUNCIONA DE  
ACORDO COM O MODELO DE JEFFRESS NAS VIAS  
AUDITIVAS DE MAMÍFEROS?**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* (Especialização) em Neurociência e Comportamento da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção de título de Especialista em Neurociência e Comportamento.

Orientador: Prof. Christopher Kushmerick

**Belo Horizonte**

**2011**

043

Jorge, Vivian Oliva.

Existe um sistema que funciona de acordo com o modelo de Jeffress nas vias auditivas de mamíferos? [manuscrito] / Vivian Oliva Jorge. - 2011.

54 f. : il. ; enc.

Orientador: Christopher Kushmerick.

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* (Especialização) em Neurociência e Comportamento da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção de título de Especialista em Neurociência e Comportamento.

1. Jeffress, Modelo de - Teses. 2. Audição (Fisiologia) - Teses. 3. Surdez - Teses. I. Christopher Kushmerick. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. III. Título.

CDU: 612.85



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS – LATO SENSU  
[www.icb.ufmg.br/especializacaoemneurociencias](http://www.icb.ufmg.br/especializacaoemneurociencias)

---

## Defesa de Monografia

Curso de Pós-graduação em Neurociências – Lato Sensu

**Aluna:** Vivian Oliva Jorge

**Título:** "Existe um sistema que funciona de acordo com o modelo de Jeffress nas vias auditivas de mamíferos?"

**Data:** 31 de março de 2011.




**Resultado:** APROVADA

**Banca Examinadora:**

Prof. Christopher Kushmerick

Prof. Jerome Baron

Profa. Luciana Macedo

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, por guiarem meu caminho feito de lutas e incertezas, mas também de esperanças e sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, fonte inesgotável de amor, por me conceder coragem e bênçãos em todos os momentos de minha vida.

Ao meu orientador Christopher Kushmerick, pela confiança. Tens o meu respeito e admiração. Obrigada por enriquecedoras idéias e sábias palavras.

Aos integrantes do Laboratório de Eletrofisiologia Celular (ELETROCEL - UFMG) pela carinhosa acolhida e disposição em ajudar.

Aos amigos do curso de especialização em Neurociência e Comportamento, pela gratificante convivência e aprendizado em conjunto.

Aos meus irmãos e ao Léo pela paciência e compreensão nos momentos de ausência.

E a todos que, de alguma forma, me incentivaram durante essa jornada, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

Diversos modelos têm sido propostos com o intuito de determinar os mecanismos neurais envolvidos na habilidade de localizar uma fonte sonora. Um dos mais relatados na literatura é o de Jeffress (1948), que enfatiza a detecção de coincidências temporais das entradas excitatórias de ambas as orelhas. Assim, foi realizada uma busca detalhada de artigos científicos nas principais bases de dados, com o objetivo de descrever, se há ocorrência deste sistema em mamíferos, expondo dificuldades auditivas enfrentadas por indivíduos surdos unilaterais e práticas terapêuticas que contribuem para a neuroplasticidade. De acordo com a literatura, o modelo de Jeffress (1948) constitui a base para a compreensão de tais mecanismos, pois atualmente, sabe-se que, entradas excitatórias bilaterais chegam à oliva superior medial, responsável por comparar a diferença de tempo interaural, o que corrobora ao modelo. Porém, além de excitação, há necessidade de inibição, que é decorrente do núcleo medial do corpo trapezoidal. Surdos unilaterais apresentam dificuldade em localizar sons, uma vez que, não há comparação acústica binaural. Contudo, práticas terapêuticas específicas como a utilização de Aparelho de Amplificação Sonora Individual, Prótese Implantável de Condução Óssea ou Implante Coclear podem contribuir para a neuroplasticidade, favorecendo bons prognósticos.

## **ABSTRACT**

Different models have been proposed for the determination of the neural mechanisms involved in the ability to locate sources of sound. One of the most reported in the literature is the Jeffress model (1948), which emphasizes the detection of temporal coincidences of excitatory inputs in both ears. For the present study, a detailed search for scientific papers was carried out in the main databases with the aim of determining whether this system occurs in mammals, addressing the difficulties individuals with unilateral deafness face and therapeutic practices that contribute toward neuroplasticity. According to the literature, the Jeffress model (1948) serves as the basis for the understanding of such mechanisms, for it is currently known that bilateral excitatory inputs arrive to the medial superior olive, which is responsible for comparing differences in inter-aural time. After excitation, there is a need for inhibition, which stems from the medial nucleus of the trapezoid body. Individuals with unilateral deafness have difficulty locating sounds due to the lack of binaural acoustic comparison. However, specific therapeutic practices, such as the use of an Individual Sound Amplification Device, Bone Anchored Hearing Aid or Cochlear Implant, can contribute toward neuroplasticity, thereby favoring a good prognosis.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	Valores acústicos médios, de frequência e intensidade, dos sons da fala do português brasileiro.....	12
FIGURA 2 -	Subdivisões da orelha: orelha externa, média e interna.....	14
FIGURA 3 -	Órgão de Corti.....	15
FIGURA 4 -	Vias auditivas centrais.....	17
FIGURA 5 -	Mecanismo hipotético para localização de sons de baixas frequências no mesencéfalo.....	18
FIGURA 6 -	Exemplos de uma mesma seção do complexo olivar superior em primatas.....	25
FIGURA 7 -	Representação da lateralização da DTI no colículo inferior, por meio de ressonância magnética funcional.....	27
FIGURA 8 -	Representação da lateralização da DTI no córtex auditivo, por meio de ressonância magnética funcional.....	28
FIGURA 9 -	Efeito sombra.....	35
FIGURA 10 -	BAHA.....	39
FIGURA 11 -	Funcionamento do implante coclear com o processador de fala ESPrite ( <i>Nucleus</i> ® 24).....	44
TABELA 1 -	Dimensões dos núcleos do complexo olivar superior (mm <sup>3</sup> ) e relações OSL/MNTB e OSL/OSM.....	24
TABELA 2 -	Média das respostas obtidas no questionário.....	38

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO 1 -	Efeitos da perda auditiva em crianças.....	30
QUADRO 2 -	Porcentagem de localizações sonoras corretas de indivíduos com audição normal.....	40
QUADRO 3 -	Porcentagem de localizações sonoras corretas de indivíduos com perda auditiva neurosensorial profunda unilateral, antes da implantação do BAHA.....	41
QUADRO 4 -	Porcentagem de localizações sonoras corretas de indivíduos com perda auditiva neurosensorial profunda unilateral, após a implantação do BAHA.....	41
GRÁFICO 1 -	Pontuação no questionário.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASI -	Aparelho de Amplificação Sonora Individual
BAHA -	Bone Anchored Hearing Aid
CHL -	Conductive Hearing Loss
cm -	Centímetros
dB -	Decibel
DII -	Diferença de Intensidade Interaural
DTI -	Diferença de Tempo Interaural
GABA -	Ácido Gama-Aminobutírico
Hz -	Hertz
IC -	Implante Coclear
KHz -	Kilohertz
MNTB -	Medial Nucleus of the Trapezoid Body
µs -	Microsegundos
NH -	Normal Hearing
OSL -	Oliva Superior Lateral
OSM -	Oliva Superior Medial
SPL -	Sound Pressure Level
SSD -	Single Side Deafness
UHL -	Unilateral Hearing Loss

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	ANATOMOFISIOLOGIA DA VIA AUDITIVA.....	14
3	MODELO DE JEFFRESS (1948).....	18
4	ESTRUTURAS E MECANISMOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE LOCALIZAÇÃO SONORA.....	21
5	PERDA AUDITIVA.....	29
5.1	PERDA AUDITIVA NEUROSENSORIAL UNILATERAL.....	31
6	LOCALIZAÇÃO SONORA MONOAURAL.....	34
7	POSSIBILIDADES TERAPÊUTICAS.....	37
7.1	APARELHO DE AMPLIFICAÇÃO SONORA INDIVIDUAL.....	37
7.2	PRÓTESE IMPLANTÁVEL DE CONDUÇÃO ÓSSEA.....	39
7.3	IMPLANTE COCLEAR.....	43
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
	REFERÊNCIAS.....	48

## 1 INTRODUÇÃO

A detecção da direção de uma fonte sonora é um fenômeno inconsciente e está relacionada com a função de sobrevivência dos indivíduos (CARR; KONISHI, 1990; DEVORE *et al.*, 2009).

De acordo com Heffner e Heffner (1988), a capacidade de localizar um som não é uniforme entre os mamíferos, varia muito entre as espécies, isto é, depende de vários fatores, como formato de pavilhões auriculares, complexidade das codificações de pistas binaurais e em outro nível, do determinado estilo de vida do animal.

Localizações espaciais rápidas e precisas de uma fonte sonora são cruciais para o sucesso de captura de presas, fuga de predadores, ou de outros perigos do meio ambiente (HEFFNER; HEFFNER, 1988; RUCCI; WRAY, 1999). Como exemplo, determinadas espécies de corujas são excelentes predadores noturnos, que podem localizar presas utilizando apenas pistas auditivas (CARR; KONISHI, 1990).

O homem é capaz de localizar espacialmente a origem de uma fonte sonora devido a mudanças que ocorrem no espectro do som por ele percebido, estas mudanças ocorrem devido às diferenças de intensidade e tempo interaurais, somadas às reflexões e difrações da onda sonora na cabeça, ombros e orelhas externas (FONSECA; IÓRIO, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2008a,b). Assim, dois fatores principais são utilizados para a localização sonora, a diferença de intensidade entre as orelhas, chamada de diferença de intensidade interaural (DII); e a diferença de fase entre as orelhas, conhecida como diferença de tempo interaural (DTI).

A detecção da DII ocorre quando há comparação das pressões sonoras que chegam bilateralmente, e é mais eficaz quando a frequência do som apresenta comprimento de onda inferior ao diâmetro da cabeça (aproximadamente 17,5 cm), ou seja, frequências superiores a 4000 Hz (BEAR *et al.*, 2008; GUYTON, 1993; KANDEL *et al.*, 2003).

Tal cálculo pode ser obtido por meio da fórmula:

$$f = v/\lambda$$

em que:  $f$ , é a frequência da onda sonora;  $v$ , velocidade do som no ar (348m/s) e  $\lambda$ , comprimento de onda (OLIVEIRA *et al.*, 2008b).

Este fato se deve ao fenômeno da difração, que é caracterizado como um artifício pelo qual a onda sonora contorna obstáculos. A difração é influenciada pela frequência, assim, sons agudos (altas frequências) pouco se difratam, em razão de apresentarem pequeno comprimento de onda; enquanto que os sons graves (baixas frequências) difratam-se mais facilmente, em decorrência de seu maior comprimento de onda (MIDDLEBROOKS; GREEN, 1991).

A diferença de fase é definida como sendo o tempo que transcorre para uma área de compressão de partículas, por exemplo, uma crista sonora, após ter atingido uma orelha, atingir a outra (OLIVEIRA *et al.*, 2008a). As DTI's estão presentes quando a frequência do estímulo sonoro a ser localizado é menor que 1500 Hz, pois, desta maneira, o comprimento de onda será maior que o diâmetro da cabeça, favorecendo a chegada da onda fora de fase (BEAR *et al.*, 2008; GUYTON 1993; KANDEL *et al.*, 2003; PECKA *et al.*, 2008).

Desta forma, de acordo com Middlebrooks e Green (1991), ocorre maior dificuldade em localizar sons que situam-se na faixa de frequência de 1500 a 3000 Hz, pois os comprimentos de onda se aproximam do valor do diâmetro da cabeça; possibilitando a chegada do som praticamente em fase e com a mesma intensidade em ambas as orelhas. Alguns fonemas da língua portuguesa apresentam essas características (FIG. 1), como é o caso da consoante /g/, em que a frequência média da zona de maior intensidade corresponde aproximadamente a 1500 Hz (RUSSO; BEHLAU, 1993).

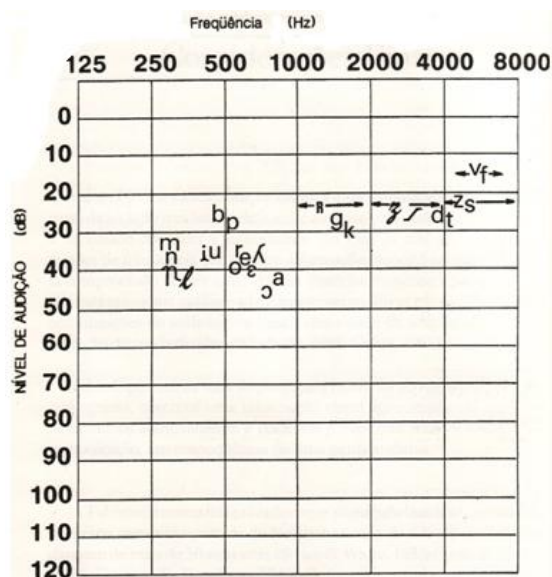


FIGURA 1 - Valores acústicos médios, de freqüência e intensidade, dos sons da fala do português brasileiro.

Fonte: RUSSO; BEHLAU, 1993, p. 49.

Withington (1999) relata que a localização acústica ocorre com maior precisão quando o som apresenta um amplo espectro de frequências, como nos ruídos de banda larga. Antigas sirenes de veículos de emergência, como ambulâncias ou carros de polícia, utilizavam estreitas faixas de frequências, variando entre 0,5 a 1,8 KHz, o que dificultava a orientação, sendo imprescindível a sinalização visual em conjunto.

Atualmente, as ambulâncias, além de apresentarem sinais de alerta luminosos, contínuos ou intermitentes, podem utilizar dois tipos de sinais sonoros, também de forma contínua ou intermitente, este último com alterações de tonalidade, contribuindo para a localização acústica (NITSCHKE *et al.*, 2000).

Quando a ambulância se aproxima do observador, o som da sirene parece mais agudo, ou seja, o comprimento da onda aparente é menor que o comprimento real. Quando o veículo se afasta do observador, o som se torna mais grave, ou seja, o comprimento da onda aparente é maior que o real. Este fenômeno é conhecido como efeito Doppler e auxilia a orientação sonora, já que, fornece mais pistas acústicas para o indivíduo (NOGUEIRA; BABICHAK, 2000).

Segundo Oliveira *et al.* (2008b), a localização no plano vertical sagital mediano não pode ser realizada por meio das diferenças interaurais, uma vez que, as características temporais e de intensidade são praticamente as mesmas. Neste plano, a detecção da origem da fonte sonora ocorre devido às mudanças espectrais causadas pelas reflexões e difrações da onda no tronco, ombros e circunvoluções dos pavilhões auditivos.

Diversos modelos têm sido propostos com o intuito de determinar os mecanismos neurais utilizados para localizar uma fonte sonora, um dos mais relatados na literatura, é o de Jeffress (1948). Este modelo enfatiza a detecção de coincidências binaurais, ou seja, neurônios respondem ao máximo às diferenças de tempo interaural com o intuito de compensar as diferenças de tempo da condução axonal de entradas excitatórias que chegam bilateralmente (CARR; KONISHI, 1990; JEFFRESS, 1948; PECKA *et al.*, 2008). Porém, atualmente existem vários estudos na literatura que questionam se há, de fato, uma implementação deste modelo no sistema auditivo de mamíferos (TOLLIN; YIN, 2005; KRIEGSTEIN *et al.*, 2008; PECKA *et al.*, 2008; YOST *et al.*, 2007).

Para que ocorra uma precisa localização da fonte sonora é necessário que o processamento auditivo central e o periférico estejam dentro dos padrões de normalidade. Indivíduos com perda auditiva unilateral, geralmente demonstram maior dificuldade em determinar a origem de um som (MIDDLEBROOKS; GREEN, 1991; WAZEN *et al.*, 2005).

Desta forma, baseando-se em detalhada revisão de literatura, os objetivos deste trabalho são: descrever os possíveis mecanismos neurais envolvidos na capacidade de localizar uma fonte sonora, assim como expor dificuldades auditivas enfrentadas por indivíduos com surdez neurosensorial unilateral, além de relatar práticas terapêuticas que podem contribuir para a neuroplasticidade.



## 2 ANATOMOFISIOLOGIA DA VIA AUDITIVA

As ondas sonoras entram pela orelha externa, passam pelo canal auditivo, e como consequência causam vibração no tímpano. Este, por sua vez, transmite essas ondulações a três ossículos, martelo, bigorna e estribo, que se encontram na orelha média. O estribo está acoplado à janela oval, na orelha interna, e quando se movimenta, a janela oval move-se para dentro, lançando o líquido da escala vestibular numa profundidade maior dentro da cóclea (FIG. 2). A pressão aumentada na escala vestibular desloca a membrana basilar, que quando vibra, faz com que as células ciliares do órgão de Corti (FIG. 3) se movimentem, flexionando os cílios nos pontos de contato com a membrana tectorial. A flexão dos cílios excita as células sensoriais e como consequência, gera impulsos nas terminações nervosas que chegam ao gânglio espiral.

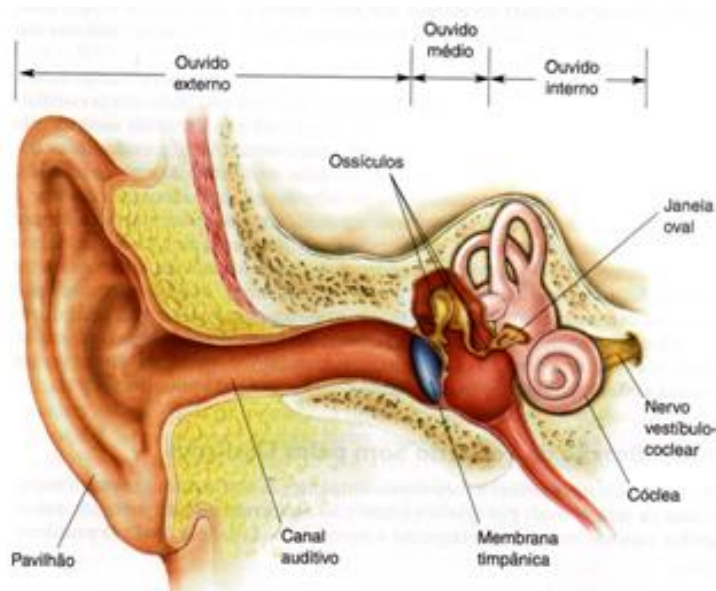


FIGURA 2 - Subdivisões da orelha: orelha externa, média e interna.

Fonte: BEAR *et al.*, 2008, p. 347.

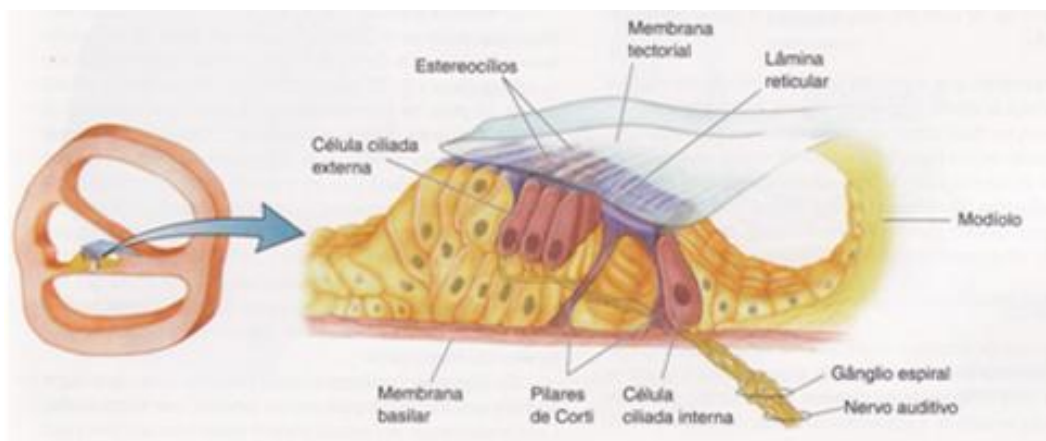


FIGURA 3 - Órgão de Corti.

Fonte: BEAR *et al.*, 2008, p. 355.

As aferências do gânglio espiral penetram nos núcleos cocleares dorsal (posterior) e ventral (anterior), localizados na junção bulbo-pontina, medialmente ao pedúnculo cerebelar inferior. Os núcleos cocleares contêm neurônios de diversos tipos, identificados por suas configurações dendríticas e que realizam funções específicas. Um exemplo são as células em arbusto do núcleo coclear ventral, que são assim denominadas por apresentarem um único dendrito primário robusto com numerosos pequenos ramos. Os axônios dessas células trafegam no corpo trapezóide e fornecem informações temporais específicas sobre os estímulos acústicos, o que é útil para a localização dos sons (KULLMANN; KANDLER, 2008; KANDEL *et al.*, 2003).

O corpo trapezóide constitui-se de um fascículo de fibras mielinizadas, por onde neurônios de segunda ordem oriundos dos núcleos cocleares passam, em sua maioria, para o lado contralateral do tronco encefálico. Segundo Tollin e Yin, *et al.* (2005), as fibras que decussam a partir do corpo trapezóide terminam no complexo olivar superior ou ascendem no lemnisco lateral contralateral.

O complexo olivar superior, ou oliva superior, é o primeiro local no tronco encefálico em que há convergência da informação auditiva de ambas as orelhas, é constituído por três núcleos principais, a oliva superior medial (OSM), a oliva superior lateral (OSL) e o núcleo medial do corpo trapezóide

(MNTB - *medial nucleus of the trapezoid body*) (GROTHER *et al.*, 1992; KANDEL *et al.*, 2003).

A OSM está relacionada com a habilidade de localizar estímulos acústicos no plano horizontal, utilizando diferenças de tempo interaural (GROTHER *et al.*, 1992; KNOBEL; SANCHEZ, 2005; KRIEGSTEIN *et al.*, 2008). Já a OSL utiliza diferenças de intensidade para calcular a origem do som (GROTHER *et al.*, 1992; TOLLIN; YIN *et al.*, 2005). O MNTB situa-se medialmente em relação a OSM. De acordo com Kullmann e Kandler (2008), o MNTB recebe projeções das células globulares em arbusto contralaterais e origina importantes circuitos inibitórios locais dentro da oliva superior.

O lemnisco lateral é um trato proeminente que contém axônios de neurônios vindos do núcleo coclear; do complexo olivar superior, os principais componentes; e dos núcleos adjacentes ao lemnisco. Alguns axônios do lemnisco lateral terminam em seu núcleo, mas a maioria estende-se mais rostralmente até o colículo inferior, no mesencéfalo (GUYTON, 1993).

Os neurônios do colículo inferior enviam axônios ao colículo superior, para que haja integração das informações auditivas e visuais no encéfalo, e ao núcleo geniculado medial, no tálamo. Várias células do colículo inferior respondem a entradas binaurais, dentre as células com frequências características baixas, muitas, são sensíveis a atrasos de tempo interaurais e aquelas com frequências características altas são sensíveis às diferenças de intensidade interaurais. Portanto, as respostas binaurais dos neurônios coliculares inferiores assemelham-se àquelas encontradas nos neurônios do complexo olivar superior (DEVORE *et al.*, 2009; KANDEL *et al.*, 2003).

Do tálamo, a informação projeta-se ao córtex auditivo, situado, em grande parte, no giro superior do lobo temporal (FIG. 4).

É importante destacar que existem outras projeções, núcleos do tronco encefálico e sinais eferentes que contribuem para a funcionalidade do sistema auditivo (BEAR *et al.*, 2008).

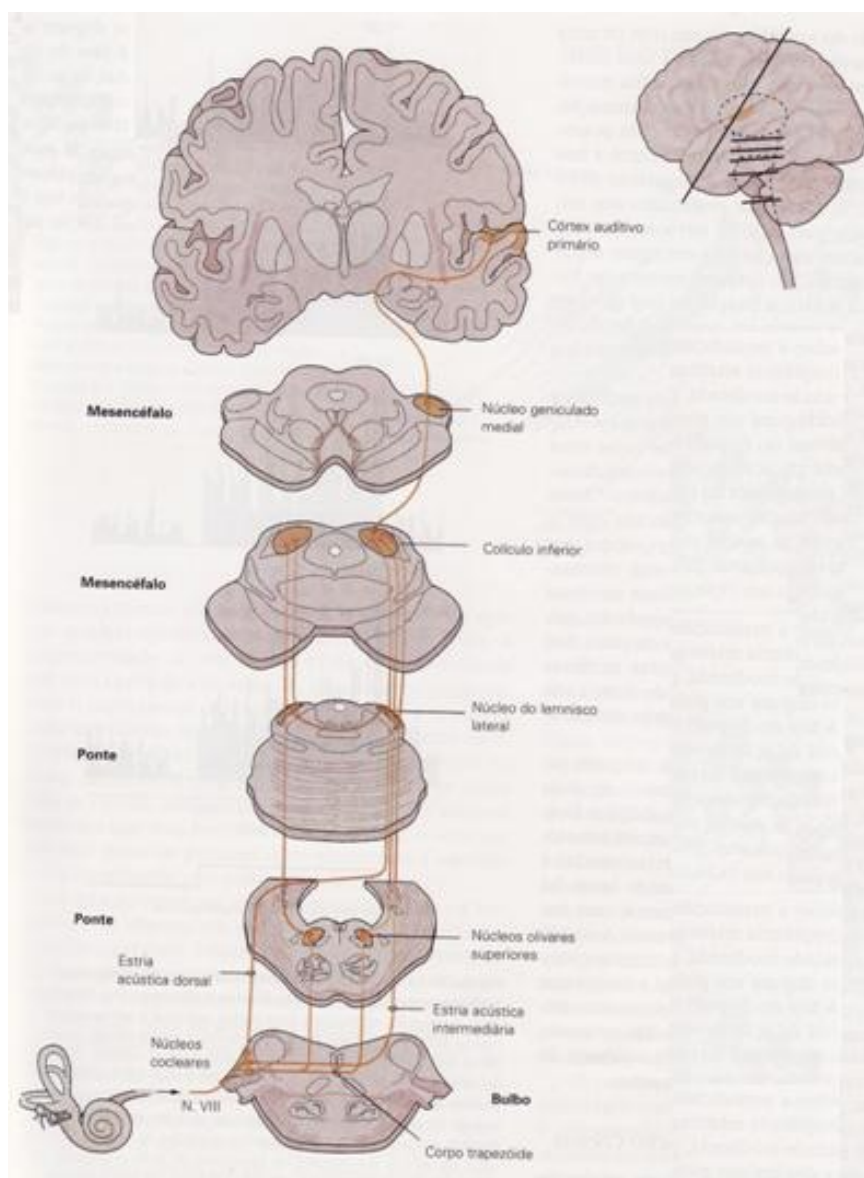


FIGURA 4 - Vias auditivas centrais.  
 Fonte: KANDEL *et al.*, 2003, p. 604.

### 3 MODELO DE JEFFRESS (1948)

Lloyd Alexander Jeffress, em 1948, descreveu uma teoria para a localização de sons de baixas frequências, baseada na discriminação de pequenos intervalos de tempo. Estes, dependem de duas características fisiológicas: a lentidão das fibras nervosas de pequeno porte e o fenômeno da somação espacial.

Um diagrama esquemático do mecanismo é mostrado na FIG. 5.

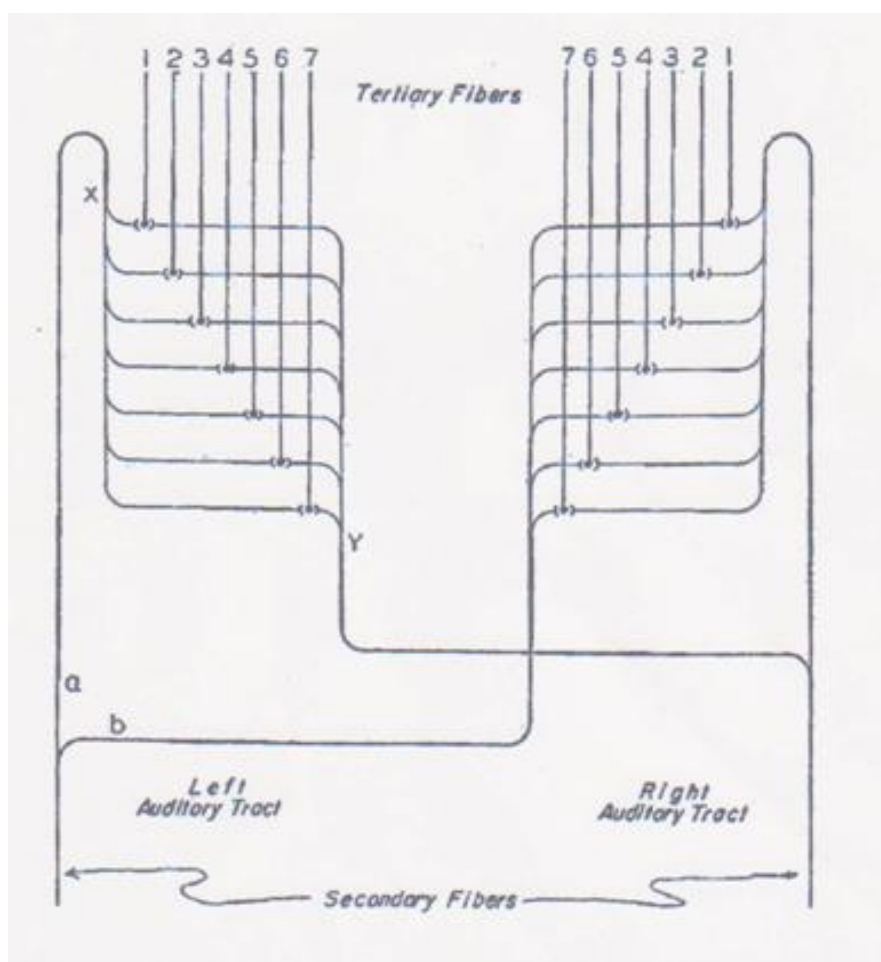


FIGURA 5 - Mecanismo hipotético para localização de sons de baixas frequências no mesencéfalo.

Fonte: JEFFRESS, 1948, p. 36.

Algumas fibras da via auditiva, provavelmente fibras secundárias, dividem-se enviando um ramo para o lado homolateral a, e outro, para o lado contralateral b, em seguida, as fibras correspondentes dos dois lados fazem conexão sináptica com fibras terciárias.

Se um som é gerado no plano mediano, os impulsos oriundos das duas cócleas deverão chegar simultaneamente nos pontos X e Y do diagrama. De acordo com o modelo, a partir destes pontos as fibras se ramificam, formando caminhos de tamanhos diferentes para chegar até as sinapses (números 1-7 do diagrama). Como a propagação do potencial de ação ocorre em velocidade finita, diferenças no comprimento do percurso implicam em diferentes atrasos para chegar aos núcleos cocleares, assim os impulsos dos dois lados chegam simultaneamente em apenas uma das sinapses do meio. Considerando que as sinapses exigem a soma simultânea de ambas às partes para a transmissão, pode ser esperado que a fibra correspondente a sinapse 4 responda, e dependendo da quantidade de atraso e dos requisitos temporais para a soma, possivelmente as fibras adjacentes, mas não as mais remotas.

No caso da fonte sonora estar mais perto de uma orelha, por exemplo, da orelha esquerda, o impulso na fibra primária esquerda, estará à frente do da direita, atingindo o ponto X do diagrama mais cedo que o correspondente atingirá o ponto Y. Assim, as fibras que correspondem as sinapses 4, 5 ou 6 serão estimuladas antes do impulso correspondente preencher o outro lado.

Este modelo supõe que a base da localização sonora de baixas frequências é a diferença de tempo, e desconsidera o efeito de uma possível diferença de intensidade entre as orelhas. No entanto, para Jeffress (1948) uma diferença de intensidade simplesmente aumentaria a diferença de tempo, já que o som chegaria com maior intensidade na orelha mais próxima, estimulando seu receptor um pouco mais cedo que o da orelha oposta. O efeito será, portanto, para aumentar a diferença de tempo já existente e ocasionar maior deslocamento para o plano mediano.

A possível localização desse mecanismo na via auditiva seria em um local onde as conexões de ambos os lados se encontrassem, com atrasos, devido às sinapses prévias iguais, de modo que os impulsos que ocorram

estejam em fase quando os sons ouvidos bilateralmente estão em fase. De acordo com Jeffress (1948), o lugar mais óbvio seria o complexo olivar superior, porém destaca a necessidade da realização de novos estudos.

## 4 ESTRUTURAS E MECANISMOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE LOCALIZAÇÃO SONORA

Nos mamíferos, o complexo olivar superior é composto por vários núcleos que estão envolvidos na habilidade de localizar uma fonte sonora.

A primeira estrutura do sistema nervoso auditivo central responsável pela localização sonora de frequências baixas é a oliva superior medial (HILBIG *et al.*, 2009; KNOBEL; SANCHEZ, 2005; SMITH; DELGUTTE, 2008; THOMPSON *et al.*, 2006).

Entradas excitatórias, utilizando principalmente o neurotransmissor glutamato, vindas de ambas as orelhas chegam aos neurônios da OSM, que são morfologicamente e fisiologicamente especializados em comparar a diferença de tempo interaural (GROTHER *et al.*, 1992; TOLLIN; YIN, 2005). Este ponto de vista da função da OSM é baseado principalmente em dados obtidos em mamíferos com grandes cabeças e boa audição para frequências graves (BEAR *et al.*, 2008; CARR, 1993; DEVORE *et al.*, 2009).

Contudo, Grothe *et al.* (1992) realizaram um estudo com 16 morcegos machos, de uma espécie jamaicana, *Pteronotus parnellfi parnellii*, em que foram analisadas 321 unidades de OSM. Apesar destes morcegos possuírem cabeça pequena, boa audição para altas frequências e ecolocalização, apresentam OSM, com base em localização e citoarquitetura, homóloga a de mamíferos sem ecolocalização; no entanto, funcionalmente é diferente. Dados eletrofisiológicos, anatômicos e neurofarmacológicos foram analisados. Nesta espécie, 85% das unidades de OSM são monaurais, estimuladas somente por um som contralateral, o que difere de mamíferos sem ecolocalização, em que a maioria dos neurônios é binaural. Isto se deve à escassez de projeções excitatórias vindas do núcleo coclear ipsilateral. Além disso, características temporais de resposta são moldadas por entrada inibitória glicinérgica a partir de células do MNTB contralateral. Assim, atribui-se à falta de projeções excitatórias ipsilaterais as principais diferenças encontradas nas propriedades de resposta da OSM; também deve-se considerar que os circuitos inibitórios



podem ser comuns e aguçarem a seletividade para a realização da DTI em outros mamíferos. Este estudo mostra como uma determinada adaptação altera a força de conexões das redes neurais e modifica substancialmente a função da OSM, que em morcegos está relacionada à ecolocalização.

O mecanismo originalmente proposto para explicar a DTI é baseado no modelo de Jeffress (1948), que aborda a detecção das coincidências temporais de entradas excitatórias de ambas as orelhas, utilizando-se da variação do tempo de condução axonal.

De acordo com Pecka *et al.* (2008), coincidências de entradas excitatórias bilaterais são insuficientes para explicar satisfatoriamente a seletividade dos neurônios para diferença de fase interaural, sendo que, esta seletividade requer insumos excitatórios e inibitórios das orelhas.

Os estímulos inibitórios são decorrentes do MNTB e em menor escala, do núcleo lateral do corpo trapezóide (LNTB); o principal neurotransmissor envolvido é a glicina, a qual desempenha um papel importante no ajuste dos atrasos de excitação binaural e desta forma, contribui para uma eficaz detecção da DTI (KADNER *et al.*, 2006).

Em relação ao momento de chegada dos estímulos na OSM, os *inputs* inibitórios contralaterais têm a capacidade de chegar ao mesmo tempo, ou a até mesmo preceder os *inputs* excitatórios contralaterais, entretanto, a glicina pode agir em conjunto com outros fatores, como comprimento ou diâmetro axonal (PECKA *et al.*, 2008; KNOBEL; SANCHEZ, 2005).

Contudo, a função dos estímulos inibitórios na OSM ainda não é totalmente compreendida (GROTHER *et al.*, 1992; KNOBEL; SANCHEZ, 2005; KANDEL *et al.*, 2003).

Os primeiros neurônios especializados em extrair e codificar a DII, para sons de alta frequência, estão localizados na oliva superior lateral (HILBIG *et al.*, 2009; SMITH; DELGUTTE, 2008). A OSL contém neurônios binaurais que recebem entrada excitatória glutamatérgica proveniente do núcleo coclear ipsilateral, e inibitória glicinérgica decorrente do MNTB contralateral (HONG *et al.*, 2008; YOST *et al.*, 2007). De acordo com Tollin e Yin (2005), os neurônios de baixa frequência da OSL, também poderiam contribuir para a realização da

DTI, uma vez que recebem entrada glicinérgica vinda de células do MNTB ipsilateral, que por sua vez, recebem entrada excitatória de neurônios do núcleo coclear contralateral. A explicação baseia-se no fato de que os aferentes preservam a informação temporal ao longo da via auditiva.

Segundo Kullmann e Kandler (2008), sinapses imaturas provenientes do MNTB à OSL, utilizam os neurotransmissores ácido gama-aminobutírico (GABA) e/ou glicina, sendo que inicialmente são despolarizantes e excitatórias, mas gradualmente tornam-se hiperpolarizantes e inibitórias. Isto ocorre devido a uma diminuição gradual da concentração de cloreto intracelular em neurônios da OSL, resultando em um aumento gradual na atividade do co-transportador de cloreto e potássio. Os autores ressaltam a importância de pesquisar se ocorre contribuição do glutamato, já que este, é co-liberado em sinapses imaturas.

Uma pesquisa realizada por Hong *et al.* (2008), teve como objetivo analisar a transmissão sináptica entre o MNTB e a OSL, em um modelo animal para surdez hereditária, utilizando a técnica de fixação de voltagem. Para isso, fêmeas heterozigotas foram acasaladas com machos, surdos, homozigotos e os filhotes utilizados no estudo. Os principais resultados são que o glutamato pode ser liberado em sinapses gabaérgicas/glicinérgicas em heterozigotos (n=6), mas em menor quantidade que em homozigotos (n=7). Também foi constatado, que poderia haver no mínimo dois tipos de fibras, as puramente glutamatérgicas e as glutamatérgicas/gabaérgicas/glicinérgicas, mas ainda não está claro se elas pertencem a diferentes populações de fibras do MNTB, pois as somente glutamatérgicas poderiam ser a parte final do segundo tipo de fibras. A transmissão de glutamato em sinapses MNTB - OSL diminuem após a oitava semana de vida dos ratos, mas os mecanismos envolvidos na cessação ainda não são bem conhecidos.

Hilbig *et al.* (2009), desenvolveram um estudo de comparação morfológica em seções do complexo olivar superior do homem (*Homo sapiens*), bonobo (*Pan paniscus*), chimpanzé (*Pan troglodytes*), gorila (*Gorilla gorilla*), orangotango (*Pongo pygmaeus*), gibão (*Hylobates lar*) e macaca (*Macaca fascicularis*). As seções do bonobo, chimpanzé, gorila, orangotango e gibão

foram utilizadas a partir de coleções. Dez encéfalos de macacas adultas (3 anos de idade) foram obtidos após a eutanásia. E doze encéfalos humanos, de ambos os sexos, com idade entre 54 a 76 anos, sem neuropatologias, foram obtidos a partir de amostras de indivíduos alistados em institutos de doações de corpos. Desta forma, foram realizadas ressecções, fixações com Nissl e micrografias digitais, com medições de volume nuclear em 268 seções, além de contagem de células. Foi observada diminuição sucessiva do tamanho do MNTB e da OSL em relação aos hominídeos, ou seja, do gorila ao homem. A OSL diminuiu mais lentamente que o MNTB, (TAB. 1), sendo que, destes, poucos neurônios dispersos eram detectáveis.

TABELA 1  
Dimensões dos núcleos do complexo olivar superior (mm<sup>3</sup>) e relações  
OSL/MNTB e OSL/OSM

	MNTB	LSO	MSO	LSO/MNTB	LSO/MSO
Human	0.01	3.01	2.75	301	1.1
Bonobo	0.03	2.99	2.51	100	1.1
Chimpanzee	0.08	3.28	2.97	41	1.1
Gorilla	0.11	4.86	2.93	44	1.7
Orangutan	0.18	4.98	3.22	28	1.6
Gibbon	0.21	0.49	0.33	2.3	1.5
Macaca	0.24	0.55	0.29	2.3	1.9

Fonte: HILBIG *et al.*, 2009, p. 495.

De todos os núcleos que compõem o complexo olivar superior, a OSM foi a mais claramente delineada. A estrutura da OSM pareceu ser estável, não somente entre os hominídeos, mas em todos os primatas investigados, como mostra a FIG. 6.

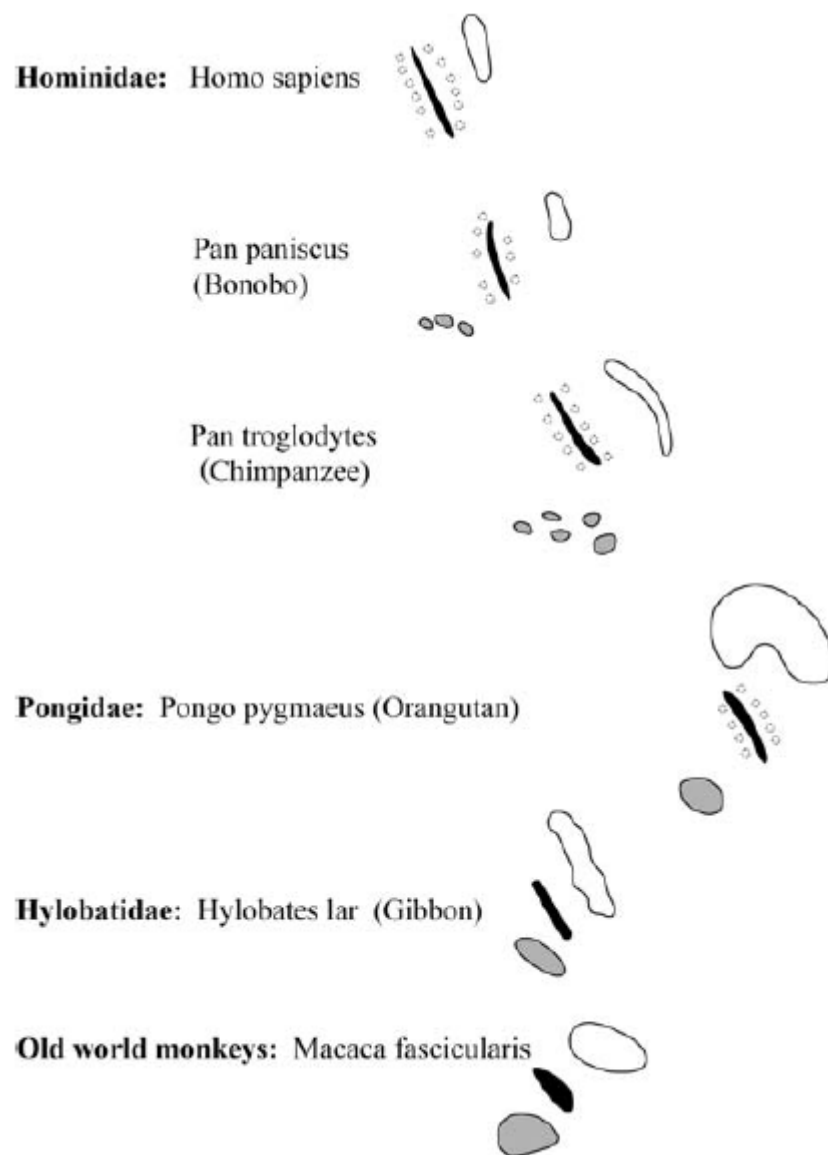


FIGURA 6 - Exemplos de uma mesma seção do complexo olivar superior em primatas.

Em cinza, MNTB; em preto e pontilhado OSM e em branco OSL.

Fonte: HILBIG *et al.*, 2009, p. 492.

Uma possível explicação para a redução do tamanho da OSL é o fato de que os humanos não apresentam necessidade de analisar componentes de alta frequência, como os morcegos. Além desta adaptação funcional que parece ter uma influência importante na forma, tamanho e conexões do sistema auditivo dos vertebrados superiores, os dados morfológicos coincidem e apóiam a posição dos primatas estudados dentro da árvore filogenética, desde

chimpanzé, bonobo e homem, que possuem índices semelhantes da relação OSL/OSM de 1,1, sugerindo um ancestral comum. Todos estes resultados corroboram a hipótese de que uma função relacionada à tendência filogenética ocorreu em primatas e resultou em diminuição e dispersão do MNTB em bonobos e seres humanos. Desta forma, pode-se concluir que essas maiores distâncias entre os poucos neurônios restantes, que são preenchidas por substância branca, indicam um aumento no *input* aferente e na conectividade.

Muitas vias auditivas convergem para o colículo inferior, o que o torna um local de integração sináptica complexo. O principal local em que ocorre detecção de coincidência binaural é na OSM (GROTHER *et al.*, 1992; THOMPSON *et al.*, 2006; TOLLIN; YIN, 2005), embora neurônios em níveis mais elevados da via auditiva, como os do colículo inferior, contribuem para o ajuste da DTI, preservando a informação e retransmitindo ao núcleo geniculado medial, no tálamo (DEVORE *et al.*, 2009; SCOTT *et al.*, 2009; SMITH; DELGUTTE, 2008; YOST *et al.*, 2007).

Um estudo desenvolvido por Thompson *et al.* (2006), avaliou a lateralização do estímulo acústico no colículo inferior, por meio de ressonância magnética funcional, a fim de examinar se a mesma era ipsi ou contralateral à percepção humana. Para isso, 14 indivíduos, seis do sexo masculino e oito do sexo feminino, com idades entre 23 e 57 anos, participaram do estudo. Os estímulos foram exemplares de ruído (amplitude fixa e fase aleatória), com largura de banda de 400 Hz e frequência central de 500 Hz. O experimento consistiu de cinco condições com diferentes DTI's em  $\mu\text{s}$  (-1500 e -500 com percepção à esquerda, 0, +500 e +1500 com percepção à direita) e uma base em silêncio, apresentadas com intensidade de aproximadamente 80 dB SPL. Os participantes foram orientados a ouvir e pressionar um botão com o intuito de indicar o lado da percepção auditiva. A DTI de +/-500  $\mu\text{s}$  produziu atividade no colículo inferior contralateral à apresentação do estímulo. Porém, a DTI de +/-1.500  $\mu\text{s}$ , em contraste, gerou atividade no colículo inferior ipsilateral (FIG. 7). Portanto, a percepção da lateralização, pelo menos ao nível do colículo inferior, não é necessariamente causada por ativação contralateral a nível neuronal.

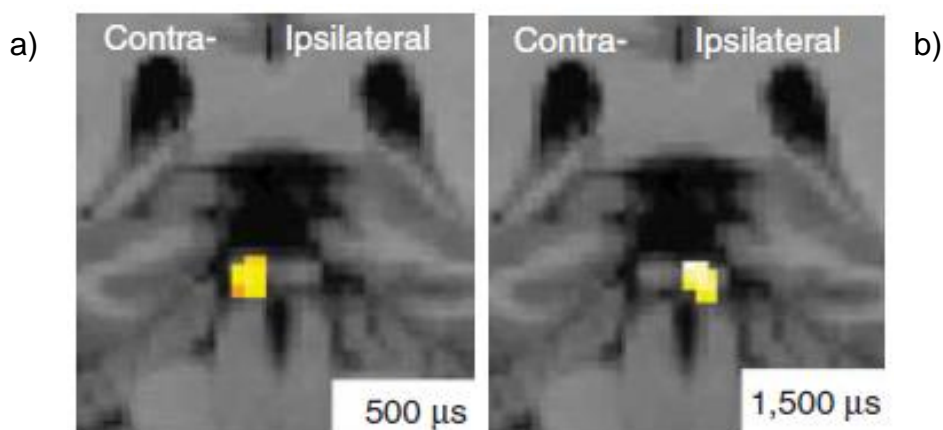


FIGURA 7 - Representação da lateralização da DTI no colículo inferior, por meio de ressonância magnética funcional.

a) Ativação contralateral ao estímulo, com DTI de  $\pm 500 \mu\text{s}$ .

b) Ativação ipsilateral ao estímulo, com DTI de  $\pm 1500 \mu\text{s}$ .

Fonte: THOMPSON *et al.*, 2006, p. 1097.

A atividade do córtex auditivo primário também foi avaliada no estudo citado acima, sendo publicada por Kriegstein *et al.* (2008). Observou-se que a DTI de  $\pm 500 \mu\text{s}$  provocou ativação do hemisfério cerebral contralateral à percepção sonora. Contudo, a DTI de  $\pm 1500 \mu\text{s}$  ao contrário dos resultados obtidos no colículo inferior, em que há ativação ipsilateral, ao nível cortical, foi verificada ativação de ambos os hemisférios, ou seja, não houve dominância de hemisfério cerebral (FIG. 8). Uma possível explicação para esta falta de lateralização poderia ser uma diferença na quantidade da percepção humana para estímulos com DTI de  $500 \mu\text{s}$  e  $1500 \mu\text{s}$ . No entanto, apesar de sons com DTI de  $1500 \mu\text{s}$  apresentarem ativação intracraniana mais difusa, são igualmente lateralizados. Estes dados desafiam a visão tradicional de que o estímulo é necessariamente codificado pelo lado encefálico contralateral. Assim, um novo modelo para localização sonora é necessário com o intuito de relacionar a percepção da lateralização com sua correspondência neural.

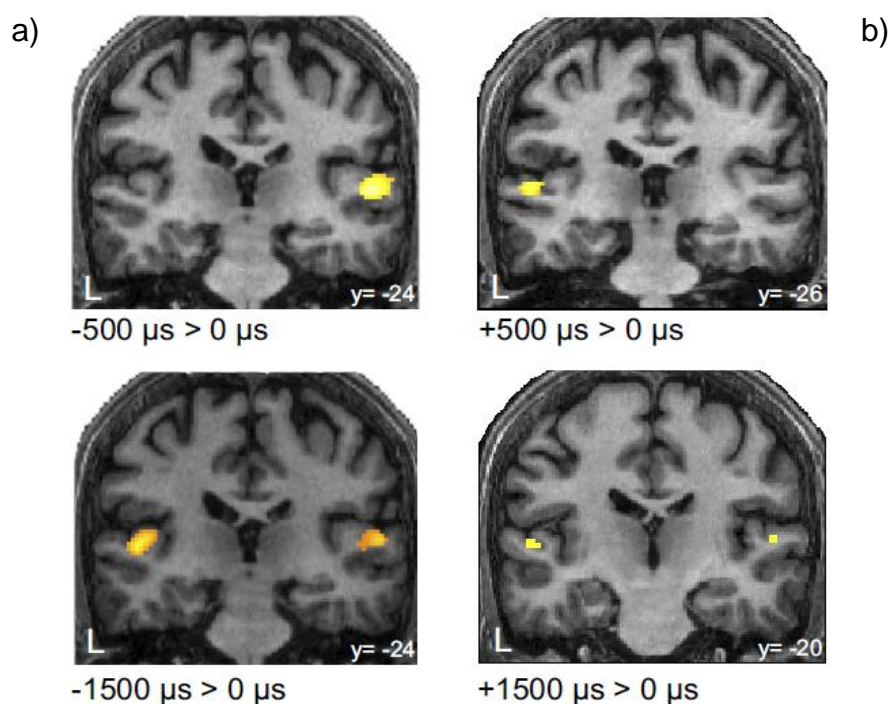


FIGURA 8 - Representação da lateralização da DTI no córtex auditivo, por meio de ressonância magnética funcional.

a) Percepção à esquerda e ativação à direita com DTI de  $-500 \mu\text{s}$ , e sem dominância com DTI de  $-1500 \mu\text{s}$ .

b) Percepção à direita e ativação à esquerda com DTI de  $+500 \mu\text{s}$ , e sem dominância com DTI de  $+1500 \mu\text{s}$ .

Fonte: KRIEGSTEIN *et al.*, 2008, p. 2716.

Algumas considerações podem ser feitas baseando-se nos trabalhos de Thompson *et al.* (2006) e Kriegstein *et al.* (2008): DTI's de grandes dimensões como a utilizada nestas pesquisas, não ocorrem na natureza, pois elas são consideravelmente maiores que as DTI's compatíveis com o diâmetro de uma cabeça humana, entre  $650$  e  $800 \mu\text{s}$  (YOST *et al.*, 2007). Além do fato de que a maioria dos sons exibe alguma pista no início do estímulo acústico, sendo que isto pode afetar decisões de localização sonora. Desta forma, os dados baseados em condições artificiais não são apropriados para descrever o processamento da DTI na vida cotidiana (BUCELL *et al.*, 1991; YOST *et al.*, 2007).

## 5 PERDA AUDITIVA

Durante o desenvolvimento do sistema nervoso ocorre maturação dos sistemas sensoriais, simultaneamente ao sistema motor e aos processos mentais (BUTUGAN *et al.*, 2000). Dessa maneira, se uma perda auditiva não é corrigida nesta fase, compreendida entre zero a três anos, podem ocorrer alterações irreversíveis, comprometendo de maneira global o processo de aprendizado (NORTHERN; DOWNS, 2005).

A perda auditiva pode ser classificada de acordo com o local de comprometimento da via (LOPES FILHO, 2005; NORTHERN; DOWNS, 2005):

- Condutiva: as ondas sonoras não chegam à orelha interna de forma adequada. Podem ocorrer alterações na orelha externa (meato acústico), ou na orelha média (membrana timpânica, cadeia ossicular, janelas redonda ou oval, ou tuba auditiva).
- Neurossensorial: caracterizada por afecções ou lesões na orelha interna (cóclea, nervo coclear, ou em ambos). Caso o acometimento se encontre na cóclea, é chamado de sensorial; se ocorrer no nervo, até os núcleos auditivos no tronco encefálico, é conhecido como neural ou retrococlear.
- Mista: a afecção ou lesão encontra-se na via de condução e na de recepção do som.
- Central: são difíceis de localizar anatomicamente, as alterações podem estar entre os núcleos auditivos e o córtex. Quanto maior a complexidade da mensagem sonora, maior será a dificuldade de compreensão.

Uma das classificações mais utilizadas para avaliar o grau da perda auditiva é baseada em Davis e Silverman (1970). A partir da média do limiar de percepção das frequências de 0,5; 1 e 2 KHz, as quais são imprescindíveis para a compreensão da fala, o grau é determinado:



0 a 25 dB – Limiares auditivos normais.

26 a 40 dB – Perda auditiva leve.

41 a 70 dB – Perda auditiva moderada.

71 a 90 dB – Perda auditiva severa.

Acima de 91 dB – Perda auditiva profunda.

Em crianças, perdas auditivas sutis podem interferir na aquisição e desenvolvimento da linguagem, pois dependendo da intensidade e da configuração da perda, pode haver dificuldade em discriminar alguns fonemas. Desta forma, uma classificação enfatizando perdas auditivas discretas, as quais, não causariam alterações em um indivíduo adulto torna-se imprescindível (QUADRO 1).

QUADRO 1  
Efeitos da perda auditiva em crianças

Nível de Audição Médio (500-2.000 Hz)	Descrição	Condição Possível	O Que Pode Ser Ouvido Sem Amplificação	Efeitos Incapacitantes (Se Não Tratada no Primeiro Ano de Vida)	Prováveis Necessidades
0-15 dB	Variação normal	Perdas auditivas condutivas	Todos os sons da fala	Nenhum	Nenhuma
15-25 dB	Perda auditiva discreta	Perdas auditivas condutivas, algumas perdas auditivas sensorineurais	Sons das vogais ouvidos claramente; podem perder sons de consoantes surdas	Disfunção auditiva leve no aprendizado da linguagem	Consideração da necessidade de prótese auditiva; leitura orofacial, treinamento auditivo, terapia de fala, assento preferencial
25-30 dB	Perda auditiva leve	Perda auditiva condutiva ou sensorineural	Apenas alguns dos sons da fala, os sons sonoros mais altos	Disfunção do aprendizado auditivo, retardo leve da linguagem, problemas leves de fala, desatenção	Prótese auditiva, leitura orofacial, treinamento auditivo, terapia de fala
30-50 dB	Perda auditiva moderada	Perda auditiva condutiva por distúrbios crônicos da orelha média; perdas auditivas sensorineurais	Quase nenhum som da fala no nível de conversação normal	Problemas da fala, retardo da linguagem, disfunção do aprendizado, desatenção	Todos os acima, e considerar transferência para sala de aula especial
50-70 dB	Perda auditiva severa	Perdas sensorineural ou mista devidas à combinação de doença da orelha média e do comprometimento sensorineural	Nenhum som da fala no nível de conversação normal	Problemas severos da fala, retardo da linguagem, disfunção do aprendizado, desatenção	Todos os acima, mais a provável transferência para classes especiais
70+ dB	Perda auditiva profunda	Perdas sensorineural ou mista devidas à combinação de doença da orelha média e do comprometimento sensorineural	Nenhum som da fala ou outros sons	Problemas severos da fala, retardo da linguagem, disfunção do aprendizado, desatenção	Todos os acima, mais provável transferência para classes especiais

Fonte: NORTHERN; DOWNS, 2005, p. 19.

## 5.1 PERDA AUDITIVA NEUROSENSORIAL UNILATERAL

A perda auditiva neurossensorial unilateral é caracterizada pela diminuição da audição em apenas uma orelha, as principais etiologias relatadas na literatura são: schwannoma vestibular, caxumba, ototoxicidade, meningite, catapora, traumatismo cranioencefálico, otite recorrente e idiopática (BUTUGAN *et al.*, 2000; LOPES FILHO, 2005; NASCENTES *et al.*, 2007).

De acordo com Nascentes *et al.* (2007), o schwannoma vestibular, também conhecido como neurinoma do acústico, é unilateral em 95% dos casos, podendo causar surdez súbita. É o tipo de tumor mais comumente encontrado no ângulo pontocerebelar correspondendo a aproximadamente 9% do total de tumores intracranianos. Cresce lentamente, empurrando o VIII par de nervo craniano e alargando o meato acústico interno. Na maioria das vezes, os sintomas iniciais são otoneurológicos, como perda auditiva neurossensorial progressiva, zumbido e vertigem. Mas, quando atinge dimensões maiores, além de afetar o nervo facial e o nervo trigêmeo, pode causar manifestações neurológicas centrais.

Quando há perda auditiva neurossensorial, podem ocorrer várias alterações morfológicas e funcionais no sistema auditivo, como declínio do número e tamanho de células, síntese protéica reduzida e modificação do padrão de liberação de neurotransmissores, como glutamato, glicina e GABA (HONG *et al.*, 2008; KNOBEL; SANCHEZ, 2005; RIZZI; BEVILACQUA, 2003).

No tronco cerebral, os núcleos do sistema auditivo dependem da estimulação aferente para manutenção de sua integridade estrutural e funcional. Um dos mecanismos para isso é a regulação da concentração do cálcio intracelular nos neurônios. A remoção da aferência auditiva resulta em aumento dessa concentração, o que pode levar à morte neuronal (SCHMITHORST *et al.*, 2005).

Segundo Firszt *et al.* (2006), ocorrem assimetrias funcionais e anatômicas em estruturas da via auditiva de indivíduos com audição normal. São observadas características anatômicas diferentes em cada hemisfério; no lado esquerdo ocorre maior extensão da área do córtex auditivo primário, maior

volume de substância branca no giro de Heschl, maiores células piramidais na terceira camada e contato com maior número de fibras aferentes em comparação com o hemisfério direito. Estes dados sugerem que o hemisfério esquerdo pode contribuir para uma transmissão mais rápida, com melhor resolução temporal, imprescindível para o processamento de um discurso. A perda auditiva unilateral modifica os padrões de resposta assimétrica do córtex, além disso, a quantidade de assimetria parece ser diferente entre indivíduos normovintes e com surdez em apenas uma orelha.

Firszt *et al.* (2005) investigaram os efeitos da perda auditiva unilateral sobre a ativação dos padrões hemisféricos. Desta forma, foi apresentado um estímulo de fala /ba/, repetidas vezes, na orelha direita, com intensidade de 80 dB, a nove indivíduos com audição normal e a sete com perda auditiva neurossensorial profunda à esquerda. As medidas de ativação hemisférica foram obtidas utilizando ressonância magnética funcional. Em normovintes, observou-se maior ativação do hemisfério esquerdo (contralateral ao estímulo) em comparação com o hemisfério direito. Sujeitos com perda auditiva profunda unilateral à esquerda, apresentaram decréscimo da atividade no hemisfério contralateral e aumento no hemisfério ipsilateral, além de evidente diminuição do tamanho do hemisfério contralateral ao estímulo sonoro.

Os dados relatados corroboram ao estudo de Hanss *et al.* (2009) que descrevem um padrão de ativação cortical, em indivíduos normovintes, caracterizado por maiores respostas neurofisiológicas no hemisfério contralateral à orelha estimulada. Isto ocorre porque a via auditiva oposta ao som contém maior número de fibras nervosas que a ipsilateral, o que contribui para uma ativação mais direta do córtex auditivo contralateral.

A perda auditiva unilateral pode acarretar diversas dificuldades, como acadêmicas, sócio-emocionais e alterações de fala e linguagem (ARAÚJO *et al.*, 2010; MONDELLI *et al.*, 2010, SCHMITHORST *et al.*, 2005).

Em presença de ruído ambiental, surdos unilaterais não conseguem compreender a fala do mesmo modo que ouvintes normais. Sendo que, uma das maiores dificuldades relatadas na literatura refere-se à localização sonora (HANSS *et al.*, 2009; LITOVSKY *et al.*, 2004; LITOVSKY *et al.*, 2009; MONDELLI *et al.*, 2010).

## 6 LOCALIZAÇÃO SONORA MONOAURAL

A audição binaural oferece vantagens em relação à monoaural; como exemplo, algumas habilidades auditivas somente são realizadas com eficácia se houver limiares normais em ambas as orelhas (MIDDLEBROOKS; GREEN, 1991; WAZEN *et al.*, 2005). Como exemplo, além de localização sonora, podem-se citar as seguintes habilidades (GIL, 2006):

- Figura-fundo: capacidade de identificar mensagem primária na presença de sons competitivos.
- Síntese ou somação binaural: habilidade para integrar estímulos incompletos apresentados simultaneamente ou alternados para orelhas opostas.
- Separação binaural: capacidade para escutar com uma orelha e ignorar a estimulação da orelha oposta.

Quando ocorre perda auditiva neurosensorial profunda unilateral, há extrema dificuldade em localizar fontes sonoras, pois não existe comparação acústica binaural. As diferenças interaurais de tempo e intensidade não ocorrem, uma vez que, a entrada sonora provém de apenas uma orelha.

Como relatado anteriormente neste estudo, as entradas inibitórias contralaterais que atingem a OSM têm a capacidade de chegar ao mesmo tempo, ou até preceder as excitatórias contralaterais. De acordo com Knobel e Sanchez (2005), com o intuito de otimizar a precisão temporal pós-sináptica, as entradas glicinérgicas ocorrem perto da zona de descarga do neurônio (dendrito proximal). No entanto, esta sutileza só é atingida após duas semanas de vida com estimulação auditiva.

Em surdos unilaterais, as sinapses glicinérgicas são regularmente distribuídas no corpo celular, dendritos proximais e distais. Portanto, o desenvolvimento e a organização da cadeia neuronal inibitória, que é fundamental para o ajuste refinado da precisa localização de uma fonte sonora, é dependente da atividade (KAPFER *et al.*, 2002).

Outra dificuldade enfrentada por indivíduos surdos unilaterais refere-se ao chamado efeito sombra (FIG. 9). A cabeça humana, naturalmente, provoca uma “sombra acústica” que faz com que os sons, principalmente aqueles com frequência superior a 2000 Hz, cheguem atenuados na orelha oposta à direção da fonte, impedindo ainda mais a localização acústica (MENEGOTTO; COUTO, 2003; WAZEN *et al.*, 2005).

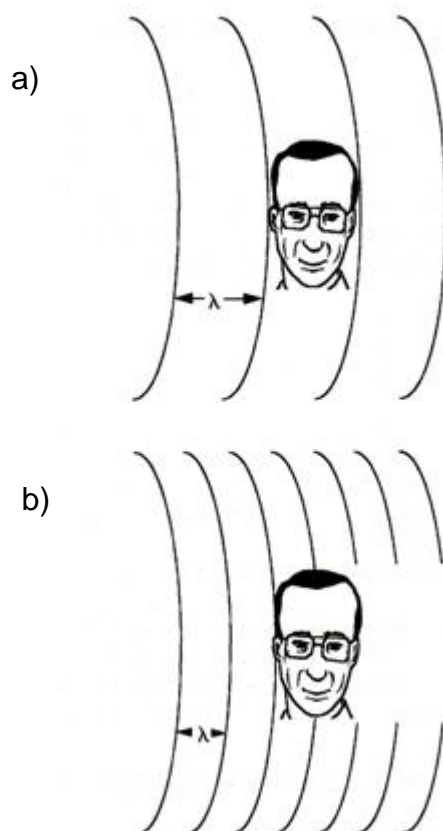


FIGURA 9 - Efeito sombra.

Observa-se que a “sombra acústica” é maior para frequências altas (b), em função do comprimento de onda ser menor que das frequências baixas (a).

Fonte: MENEGOTTO; COUTO, 2003, p. 37.

Contudo, de acordo com Middlebrooks e Green (1991), há evidências de que alguma localização pode ser conseguida utilizando somente uma orelha, pois pistas espectrais monoaurais podem contribuir para determinar se o som é oriundo da frente ou de trás do indivíduo.

Menegotto e Couto (2003) ressaltam que a relação de intensidade entre as frequências pode ser alterada pela variação da ressonância na orelha externa conforme a direção da fonte sonora. Isto fornece pistas monoaurais para a localização. Desta forma, indivíduos com audição unilateral também apresentam, em algum grau, possibilidade de perceber a direção dos sons.

## 7 POSSIBILIDADES TERAPÊUTICAS

A audição binaural proporciona melhor localização de fontes sonoras, capacidade de somação binaural, eliminação do efeito sombra da cabeça e, principalmente, melhora do reconhecimento de fala na presença de ruído (ANDRADE *et al.*, 1999).

Assim, existem algumas possibilidades terapêuticas que podem contribuir para a neuroplasticidade e desta forma amenizar as dificuldades auditivas vivenciadas por indivíduos com surdez monoaural.

### 7.1 APARELHO DE AMPLIFICAÇÃO SONORA INDIVIDUAL

Os problemas acometidos pela privação sensorial podem ser minimizados com o uso do Aparelho de Amplificação Sonora Individual (AASI), o qual permite o resgate da percepção dos sons da fala, além dos sons ambientais, promovendo melhora da habilidade de comunicação (SILMAN *et al.*, 2004).

Segundo Lopes Filho (2005), consiste basicamente de um sistema que aumenta a intensidade dos sons. Assim, quanto maior a perda auditiva, maior amplificação será necessária.

A seleção do aparelho auditivo exige considerações cuidadosas em relação ao modelo do aparelho, ao tipo de adaptação, tecnologia empregada e características eletroacústicas.

Contudo, exames audiométricos tradicionais fornecem apenas informações básicas sobre as habilidades auditivas, a avaliação por meio da aplicação de questionários com enfoque em dificuldades de comunicação, localização, consequências sociais e emocionais da deficiência auditiva, torna-se imprescindível (ARAÚJO *et al.*, 2010; MONDELLI *et al.*, 2010).

Uma pesquisa realizada por Mondelli *et al.* (2010) analisou o benefício da localização sonora em atividades cotidianas, de indivíduos com perda auditiva unilateral de grau leve a profundo, adaptados com AASI. Participaram



deste estudo 31 sujeitos, com idades entre 18 e 75 anos, sendo 19 homens e 12 mulheres. Foi aplicado um questionário composto por 14 questões relacionadas à localização da fonte sonora, em dois momentos, no dia da adaptação do AASI e após período mínimo de seis meses. Verificou-se que sem o uso do AASI houve dificuldade de localização semelhante nos diferentes tipos e graus de perda auditiva, sendo que após o uso do AASI por um período mínimo de seis meses houve melhora estatisticamente significativa para todas as variáveis consideradas, com maior destaque para as perdas de grau leve/moderado (TAB. 2).

TABELA 2  
Média das respostas obtidas no questionário

	Com AASI	Sem AASI
Tempo de uso entre 6 meses e 1 ano	3,17	1,90
Tempo de uso maior que 1 ano	3,25	1,79
Perda auditiva neurossensorial	3,18	1,79
Perda auditiva mista/condutiva	3,32	1,94
Grau de perda auditiva leve/moderado	3,35	1,96
Grau de perda auditiva severo/profundo	3,05	1,67
Tempo de uso de 2 a 8 horas/dia	3,16	1,85
Tempo de uso maior que 8 horas/dia	3,26	1,83
Faixa etária entre 18 e 43 anos	3,31	2,06
Faixa etária entre 44 e 75 anos	3,01	1,56

AASI: Aparelho de Amplificação Sonora Individual.

Pontuação de 1 a 4. O valor 4 indica menor dificuldade.

Fonte: MONDELLI *et al.*, 2010, p. 312.

O uso do AASI aliado a técnicas de treinamento auditivo pode contribuir para a neuroplasticidade, uma vez que, mudanças comportamentais requerem mudanças neurofisiológicas (MUSIEK; SCHOCHAT, 1998; TREMBLAY *et al.*, 1998).

Existem relatos que após longo período de tempo, as habilidades auditivas que foram treinadas se mantêm, pois acredita-se que, após a modificação do substrato neural e aprendizado comportamental, o próprio

ambiente com suas exigências encarrega-se de reforçar o padrão aprendido e até mesmo manter a tendência de melhora (GIL, 2006).

## 7.2 PRÓTESE IMPLANTÁVEL DE CONDUÇÃO ÓSSEA

A Prótese Implantável de Condução Óssea (BAHA - *Bone Anchored Hearing Aid*) constitui-se de um parafuso de titânio que é implantado na cortical do osso mastóideo e uma unidade externa. A unidade externa (FIG. 10) é o processador acústico, ele capta a energia sonora do ambiente e a transforma em energia mecânica, que se traduz em vibração, estimulando a cortical do osso temporal. A unidade externa é encaixada no pino, sendo facilmente removível (BENTO *et al.*, 2008; PRIWIN *et al.*, 2007, SPITZER *et al.*, 2002).



FIGURA 10 - BAHA.

Fonte: BENTO *et al.*, 2008, p. 20.

O BAHA é indicado em casos em que o uso do AASI não é possível, por exemplo, agenesia ou estenose de meato acústico externo, otite externa ou média crônica, em pacientes que sofrem reação cutânea a qualquer tipo de molde auricular e aqueles com perda auditiva neurosensorial severa/profunda unilateral. Neste último caso, o BAHA prevê a entrada do som, auxiliando na

localização acústica e melhorando as habilidades comunicativas (BENTO *et al.*, 2008; HOL *et al.*, 2010; PRIWIN *et al.*, 2007).

Wazen *et al.* (2005) realizaram um estudo com o intuito de quantificar o déficit encontrado na habilidade de localizar um som, por indivíduos com perda auditiva neurossensorial profunda unilateral, antes e após a implantação do BAHA. A idade dos sujeitos variou entre 53 a 74, sendo três homens e cinco mulheres. O teste de localização foi realizado em uma sala acústica, com o paciente sentado no centro, distante cerca de 4 metros de oito alto-falantes que estavam dispostos ao nível da cabeça, separados por 45 graus. Os estímulos consistiram em um ruído de banda estreita centrado nas frequências de 500 Hz ou 3000 Hz, intensidade de 60 dB e duração de 2 segundos. Ensaios clínicos randomizados de cinco apresentações por alto falante foram apresentados em cada condição de escuta. O desempenho médio de 10 indivíduos, normouvintes, utilizados como grupo controle, foi de 74% de acerto para ruído de 500 Hz e 81% para ruído de 3000 Hz (QUADRO 2). Não houve diferença estatisticamente significativa na precisão em função da frequência ( $p=0,21$ ).

#### QUADRO 2

Porcentagem de localizações sonoras corretas de indivíduos com audição normal

<i>Frequency (Hz)</i>	<i>% Correct</i>		
	<b>Mean</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
500	74	65	98
3000	81	58	100

Fonte: WAZEN *et al.*, 2005, p. 930.

O desempenho dos oito indivíduos com perda auditiva unilateral, antes da cirurgia de inserção do BAHA, está exposto no QUADRO 3, em que a precisão média foi de 13% de acerto ao estímulo de 500 Hz e 19% ao de 3000 Hz.

### QUADRO 3

Porcentagem de localizações sonoras corretas de indivíduos com perda auditiva neurossensorial profunda unilateral, antes da implantação do BAHA

Frequency (Hz)	% Correct		
	Mean	Minimum	Maximum
500	13	8	20
3000	19	10	35

Fonte: WAZEN *et al.*, 2005, p. 930.

A segunda avaliação dos indivíduos com perda auditiva unilateral ocorreu após a implantação do BAHA, sendo que, o período mínimo de utilização do dispositivo foi de 30 dias. No QUADRO 4 estão os resultados encontrados, a média da identificação correta foi de 16% para a frequência de 500 Hz e 15% para 3000 Hz.

### QUADRO 4

Porcentagem de localizações sonoras corretas de indivíduos com perda auditiva neurossensorial profunda unilateral, após a implantação do BAHA

Frequency (Hz)	% Correct		
	Mean	Minimum	Maximum
500	16	8	23
3000	15	8	23

Fonte: WAZEN *et al.*, 2005, p. 930.

Em resumo, as análises indicaram que a capacidade dos sujeitos com perda auditiva para localizar a fonte sonora foi significativamente pior que a do grupo controle; o desempenho do grupo de estudo foi equivalente, fazendo uso ou não do BAHA e independente da frequência do estímulo. Cabe ressaltar que este estudo contou com uma amostra pequena, sendo as condições de escuta artificiais, inexistentes na vida cotidiana. Além disto, apesar de não ter ocorrido melhora detectável na localização sonora com o uso do BAHA, após a implantação deste dispositivo, os pacientes mostraram-se satisfeitos com as outras habilidades auditivas.

O BAHA apresenta melhores resultados quando a disacusia é condutiva, em comparação com a neurossensorial, assim, a opinião dos pacientes é o teste crítico para julgar a qualidade do mecanismo (TRINGALI *et al.*, 2008; WAZEN *et al.*, 2005).

Diante disto, Tringali *et al.* (2008) compararam os índices de satisfação de 52 pacientes que apresentavam perda auditiva condutiva ou mista e 118 perda auditiva neurossensorial unilateral, de ambos os sexos, com idade média de 56 anos (variando de 18 a 79 anos) e utilizam o BAHA em apenas uma orelha. Cada paciente recebeu um questionário com o objetivo de verificar o índice de satisfação (com pontuação de 1 a 10), avaliando-se: melhoria da qualidade de vida, nível geral de satisfação, melhoria na localização sonora e satisfação do ponto de vista estético. Houve diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos em relação à qualidade de vida ( $p < 0,0001$ ), satisfação geral ( $p < 0,0001$ ) e localização da fonte sonora ( $p < 0,01$ ). Não houve diferença significativa sobre a estética (GRAF. 1). Entre os pacientes com disacusia condutiva ou mista, os níveis de satisfação e qualidade de vida são compatíveis com dados recentes da literatura, que evidenciam resultados positivos. Entre os pacientes com disacusia neurossensorial, os dados são significativamente mais pobres, mas geralmente permanecem bons, com exceção de localização acústica. Assim, utilizar o BAHA como possibilidade terapêutica para o tratamento de pacientes com perda auditiva neurossensorial, pode gerar satisfação.

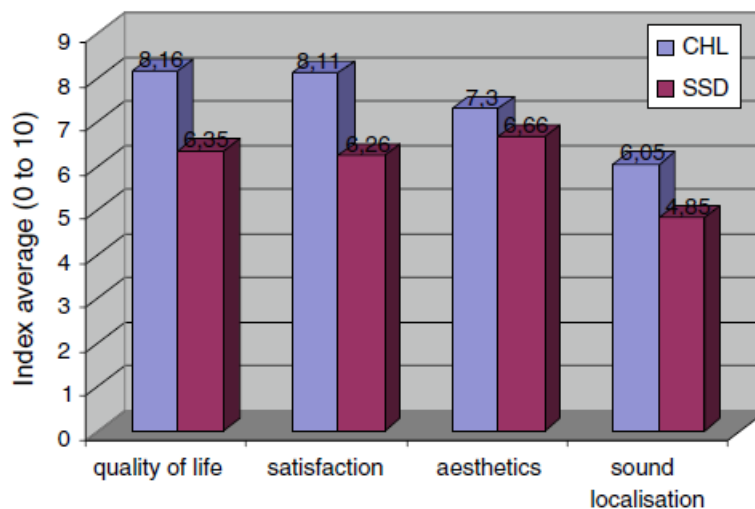


GRÁFICO 1 - Pontuação no questionário.

Perda auditiva condutiva ou mista (CHL - conductive hearing loss)

Perda auditiva neurosensorial unilateral (SSD - single side deafness)

Média da pontuação de qualidade de vida: CHL= 8,16 e SSD = 6,35

Satisfação: CHL= 8,11 e SSD= 6,26

Estética: CHL= 7,3 e SSD= 6,66

Localização sonora: CHL= 6,05 e SSD= 4,85

Fonte: TRINGALI *et al.*, 2008, p. 1463.

### 7.3 IMPLANTE COCLEAR

O Implante Coclear (IC), principalmente em relação à percepção de fala, é um recurso altamente eficiente, promovendo resultados superiores àqueles obtidos com a utilização do AASI em perdas auditivas neurosensoriais severas e profundas (EISENBERG *et al.*, 2004; MIDDLEBROOKS *et al.*, 2005; RIZZI; BEVILACQUA, 2003; YAMAGUCHI; GOFFI-GOMEZ, 2009).

No IC a informação sonora é processada da seguinte maneira: o som ambiental é captado pelo microfone do compartimento retroauricular e levado ao processador de fala, que digitaliza o som em sinais codificados. Estes, são enviados para a antena transmissora, que, por sua vez, os transforma em sinais de radiofrequência e os envia para o receptor do IC. O receptor é a parte

do implante responsável por fornecer o estímulo elétrico que percorrerá o feixe de eletrodos implantados na cóclea, estimulando assim, as fibras remanescentes do nervo auditivo (FIG. 11). Essa informação sonora é, então, enviada ao cérebro para ser compreendida (FREDERIGUE, 2006; RIZZI; BEVILACQUA, 2003).



FIGURA 11 - Funcionamento do implante coclear com o processador de fala ESPrite (*Nucleus*® 24)

- 1: Microfone direcional retroauricular.
- 2: Processador de fala.
- 3: Cabo da antena transmissora.
- 4: Antena transmissora.
- 5: Feixe de eletrodos inseridos na cóclea.
- 6: Fibras nervosas remanescentes são estimuladas e os impulsos neurais chegam aos centros auditivos do cérebro.

Fonte: FREDERIGUE, 2006, p. 37.

Apesar do IC, a princípio, ser indicado para perdas auditivas neurossensoriais bilaterais, a implantação, por exemplo, em indivíduos com surdez súbita unilateral com zumbido incapacitante, pode trazer resultados

benéficos em relação às habilidades auditivas e supressão do zumbido (KLEINJUNG *et al.*, 2009).

Em perdas auditivas profundas bilaterais, o IC utilizado em apenas uma orelha, considerando-se o tempo de uso do dispositivo e a estimulação adequada, contribui para o aprendizado da comunicação verbal (NAVA *et al.*, 2009). Porém, atualmente, com o objetivo de alcançar a audição binaural, têm-se optado pela implantação em ambas as orelhas, ou a utilização do IC em conjunto com o AASI na orelha contralateral. Isto oferece melhor localização sonora, melhor compreensão da fala em presença de ruído e melhor desempenho nas habilidades auditivas em geral (EISENBERG *et al.*, 2004; LITOVSKY *et al.*, 2009; POTTS *et al.*, 2009).

De acordo com Middlebrooks *et al.* (2005), apesar da natureza artificial da entrada sonora, a estimulação elétrica proveniente do IC é bastante similar à estimulação acústica proveniente de uma orelha com audição normal. No entanto, maior número de pesquisas é necessário, com o intuito de aprimorar a audição direcional, a apreciação de músicas, ou até mesmo o reconhecimento de melodias simples.



## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de Jeffress (1948) constitui a base para a compreensão dos mecanismos neurais envolvidos na habilidade de localizar uma fonte sonora.

Entradas excitatórias bilaterais chegam à OSM responsável por comparar a DTI que ocorre com estímulos acústicos de baixas frequências, corroborando a este modelo.

Atualmente, sabe-se que a OSL é responsável por extrair e codificar a DII, que ocorre com tons de altas frequências.

Contudo, para localizar uma fonte sonora, além de entradas excitatórias, também são necessários *inputs* inibitórios. Estes, são provenientes do MNTB que envia projeções à OSM e à OSL, as quais são de extrema importância para o ajuste dos atrasos de excitação binaural e desta forma, contribui para uma eficaz detecção das diferenças interaurais.

Indivíduos com surdez unilateral podem apresentar alterações morfológicas e funcionais em estruturas da via auditiva, com consequências comportamentais, como dificuldades acadêmicas, sócio-emocionais, alterações de fala e linguagem, dificuldade em compreender um discurso em presença de ruído e em localizar fontes sonoras.

A ausência da comparação acústica binaural faz com que as diferenças interaurais de tempo e intensidade não ocorram, prejudicando a localização sonora. Contudo, as reflexões ocorridas na orelha externa, principalmente nas circunvoluções do pavilhão auditivo fornecem pistas monoaurais, contribuindo, em algum grau, para a percepção da direção dos sons.

Algumas práticas terapêuticas são propostas com o intuito de minimizar as dificuldades auditivas enfrentadas por indivíduos com perda auditiva neurossensorial profunda unilateral, como a utilização de AASI e a implantação do BAHA ou IC.

As alterações comportamentais observadas com a utilização destes dispositivos são evidências empíricas da ocorrência da neuroplasticidade, demonstrando a capacidade do sistema nervoso central de adaptar-se a novas

sensações auditivas, após períodos variáveis de privação. Porém, por mais sofisticados que sejam os artifícios, não restauram a audição para uma situação normal; para o bom prognóstico deve-se considerar um programa de estimulação auditiva adequado e a variação individual.

Conhecer os mecanismos pelos quais as estruturas centrais do sistema auditivo reagem a perdas de aferências, e, posteriormente, a uma nova entrada de estímulos, pode ajudar no desenvolvimento de métodos que contribuem para melhorar as habilidades comunicativas verbais de indivíduos com perda da audição em apenas uma orelha.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. B. S. *et al.* Adaptação do aparelho de amplificação sonora individual em perda auditiva unilateral: o ponto de vista do usuário. *Pró-fono*, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 46-52, set. 1999.

ARAÚJO, P. G. V. *et al.* Assessment of the auditory handicap in adults with unilateral hearing loss. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, Bauru, v. 76, n. 3, p. 378-383, maio/jun. 2010.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. *Neurociências: Desvendando o sistema nervoso*. Trad. Denise Zancan. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. cap. 11, p. 343-376.

BENTO, R. F. *et al.* Uso do BAHA na reabilitação auditiva de pacientes com atresia de meato acústico externo. *Arq. Int. Otorrinolaringol.*, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 16-23, mar. 2008.

BUELL, T. N., TRAHOTIS, C.; BERNSTEIN, L. R. Lateralization of low-frequency tones: relative potency of gating and ongoing interaural delays. *J. Acoust. Soc. Am.*, Farmington, v. 90, p. 3077-3084, Apr. 1991.

BUTUGAN, O. *et al.* Diagnóstico precoce da deficiência auditiva no primeiro ano de vida de crianças com alto risco através de audiometria de tronco cerebral. *Pediatrics*, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 115-122, maio 2000.

CARR, C. E.; KONISHI, M. A circuit for detection of interaural time differences in the brain stem of the barn owl. *The Journal of Neuroscience*, Pasadena, v. 10, n. 10, p. 3227-3246, Oct. 1990.

CARR, C. E. Processing of temporal information in the brain. *Annu. Rev. Neurosci.*, College Park, v. 16, p. 223-243, 1993.

DAVIS, H.; SILVERMAN, S. R. Auditory Test Hearing Aids. In: DAVIS, H.; SILVERMAN, S.R. editors. Holt: Rinehart and Winston Hearing and Deafness, 1970.

DEVORE, S. *et al.* Accurate sound localization in reverberant environments is mediated by robust encoding of spatial cues in the auditory midbrain. *Neuron.*, Boston, v. 62, n. 1, p. 123-134, Apr. 2009.

EISENBERG, L. S. *et al.* Communication abilities of children with aided residual hearing: comparison with cochlear implant users. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.*, Los Angeles, v. 130, p. 563-569, May 2004.

FIRSZT, J. B. *et al.* Asymmetric hemodynamic responses of the auditory cortex in normal hearing and unilateral hearing loss subjects. *Assoc Res Otolaryngol Abstr.*, St. Louis, v. 164, p. 465, 2005.

FIRSZT, J. B.; ULMER, J. L.; GAGGL, W. Differential representation of speech sounds in the human cerebral hemispheres. *The Anatomical Record*, St. Louis, v. 288, p. 345-357, 2006.

FONSECA, C. B. F.; IÓRIO, M. C. M. Aplicação do teste de lateralização sonora em idosos. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, Barueri, v. 18, n. 2, p. 197-206, maio/ago. 2006.

FRANÇA, J. L.; VASCONCELLOS, A. C. *Manual para normalização de publicações técnico-científicas*. 8ed. Belo Horizonte: UFMG, 2008. 255 p.

FREDERIGUE, N. B. *Reconhecimento de padrões auditivos de frequência e de duração em crianças usuárias de implante coclear multicanal*. Orientador: Koichi Sameshima. 2006. 192 f. Tese (Doutorado em Psicologia) - Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GIL, D. *Treinamento auditivo formal em adultos com deficiência auditiva*. Orientadora: Maria Cecília Martinelli Iório. 2006. 181 f. Tese (Doutorado em Distúrbios da Comunicação Humana) - Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2006.

GROTHER, B. *et al.* Monaural interaction of excitation and inhibition in the medial superior olive of the mustached bat: an adaptation for biosonar. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Munich, v. 89, p. 5108-5112, June 1992.

GUYTON, A. C. *Neurociência básica: anatomia e fisiologia*. Trad. Cláudia Lúcia Caetano de Araújo. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. cap. 14. p. 159-167.

HANSS, J. *et al.* The effect of long-term unilateral deafness on the activation pattern in the auditory cortices of french-native speakers: influence of deafness side. *BMC Neuroscience*, Lyon, v. 10, n. 23, p. 1-11, Mar. 2009.

HEFFNER, R. S.; HEFFNER, H. E. Sound localization in a predatory rodent, the northern grasshopper mouse (*Onychomys leucogaster*). *Journal of Comparative Psychology*, Boulder, v. 102, n. 1, p. 66-71, Jan. 1988.

HILBIG, H. *et al.* Superior olivary complex organization and cytoarchitecture may be correlated with function and catarrhine primate phylogeny. *Brain Struct Funct.*, Leipzig, v. 213, p. 489-497, Jan. 2009.

HOL, M. K. *et al.* Pilot study on the effectiveness of the conventional CROS, the transcranial CROS and the BAHA transcranial CROS in adults with unilateral inner ear deafness. *Cremers Eur Arch Otorhinolaryngol.*, Nijmegen, v. 267, p. 889-896, Jan. 2010.

HONG, S. H.; KIM, M. J.; AHN, S. C. Glutamatergic transmission is sustained at a later period of development of medial nucleus of the trapezoid body-lateral superior olive synapses in circling mice. *J. Neurosci.*, Gangnam-gu, v. 28, n. 48, p. 13003-13007, Nov. 2008.

JEFFRESS, L. A. A place theory of sound localisation. *J Comp Physiol Psychol.*, v. 41, p. 35-39, 1948.

KADNER, A.; KULESZA, R. J.; BERREBI, A. S. Neurons in the medial nucleus of the trapezoid body and superior paraolivary nucleus of the rat may play a role in sound duration coding. *J Neurophysiol.*, Morgantown, v. 95, p. 1499-1508, Mar. 2006.

KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSELL, T. M. *Princípios da neurociência*. Trad. Francesco Camara Blumenatti. 4ed. Barueri: Manole, 2003. p. 590-613, 614-624.

KIEINJUNG, T. *et al.* Curing tinnitus with a cochlear implant in a patient with unilateral sudden deafness: a case report. *Cases Journal*, Regensburg, v. 2, n. 7462, p.1-3, May 2009.

KAPFER, C. *et al.* Experience-dependent refinement of inhibitory inputs to auditory coincidence-detector neurons. *Nature Neuroscience*, Munich, v. 5, p. 247-253, Feb. 2002.

KNOBEL, K. A. B.; SANCHEZ, T. G. Auditory deprivation, inhibitory circuits and plasticity: implications for the comprehension of tinnitus and hyperacusis. *International Archives of Otolaryngology*, Campinas, v. 9, n. 4, p. 341-345, Oct. 2005.

KRIEGSTEIN, K. V. *et al.* Responses to interaural time delay in human cortex. *J Neurophysiol.*, London, v. 100, p. 2712-2718, Sept. 2008.

KULLMANN, P. H. M.; KANDLER, K. Dendritic Ca<sup>2+</sup> responses in neonatal LSO neurons elicited by glycinergic/GABAergic synapses and action potentials. *Neuroscience*, Pittsburgh, v. 154, n. 1, p. 338-345, June 2008.

LITOVSKY, R. Y. *et al.* Bilateral Cochlear Implants in Adults and Children. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.*, Madison, v. 130, p. 648-655, May 2004.

LITOVSKY, R. Y.; PARKINSON, A.; ARCAROLI, J. Spatial hearing and speech intelligibility in bilateral cochlear implant users. *Ear Hear*, Madison, v. 30, n. 4, p. 419-431, Aug. 2009.

LOPES FILHO, O. *Tratado de fonoaudiologia*. Ribeirão Preto: Tecmedd, 2005. cap. 1, p. 23-39.

MENEGOTTO, I. H.; COUTO, C. M. Tópicos de acústica e psicoacústica relevantes em audiologia. In: FROTA, S. *Fundamentos em fonoaudiologia: audiologia*. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. cap. 2, p. 19-39.

MIDDLEBROOKS, J. C.; BIERER, J. A.; SNYDER, R. L. Cochlear implants: the view from the brain. *Current Opinion in Neurobiology*, Ann Arbor, v. 15, p. 488-493, July 2005.

MIDDLEBROOKS, J. C.; GREEN, D. M. Sound localization by human listeners. *Annu. Rev. Psychol.*, Gainesville, v. 42, p. 135-159, 1991.

MONDELLI, M. F. C. G. *et al.* Perda auditiva unilateral: benefício da localização auditiva após adaptação de aparelho de amplificação sonora individual. *Arq. Int. Otorrinolaringol.*, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 309-315, jul./ago./set. 2010.

MUSIEK, F. E.; SCHOCHAT, E. Auditory training and central auditory processing disorders: a case Study. *Semin Hear*, Lebanon, v. 19, n. 4, p. 357-365, Feb. 1998.

NASCENTES, S. M. *et al.* Sudden deafness as a presenting symptom of acoustic neuroma: case report. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, São Paulo, v. 73, n. 5, p. 713-716, Sept./Oct. 2007.

NAVA, E. *et al.* Spatial hearing with a single cochlear implant in late-implanted adults. *Hearing Research*, Trento, v. 255, p. 91-98, June 2009.

NITSCHKE, C. A. S.; LOPES, N. G.; BUENO, R. M, L. Riscos laborais em unidade de tratamento intensivo móvel. 2000. 81 f. Monografia (Especialização em Medicina do Trabalho) - Associação Catarinense de Medicina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

NOGUEIRA, C.; BABICHAK, C. C. Mais ciência. *Ciência & Ensino*, Curitiba, v. 9, p. 18-22, dez. 2000.

NORTHERN, J. L.; DOWNS, M. P. *Audição na infância*. Trad. Antônio Francisco Dieb Paulo. 5ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. cap. 1, p. 3-27.

OLIVEIRA, A. C. *et al.* Localização de fontes sonoras: a importância das diferenças dos limiares auditivos interaurais. *Rev Soc Bras Fonoaudiol.*, Maceió, v. 13, n. 1, p. 7-11, fev. 2008a.

OLIVEIRA, A. C. *et al.* A importância das variações espectrais transferidas anatomicamente para a localização de fontes sonoras. *Rev CEFAC*, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 385-391, jul. 2008b.

PECKA, M. *et al.* Interaural time difference processing in the mammalian medial superior olive: the role of glycinergic inhibition. *J. Neurosci.*, Munich, v. 28, n. 27, p. 6914-6925, July 2008.

POTTS, L. G. *et al.* Recognition and localization of speech by adult cochlear implant recipients wearing a digital hearing aid in the nonimplanted ear (bimodal hearing). *J Am Acad Audiol.*, St. Louis, v. 20, n. 6, p. 353-373, June 2009.

PRIWIN, C. *et al.* BAHA in children and adolescents with unilateral or bilateral conductive hearing loss: a study of outcome. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, Stockholm, v. 71, p. 135-145, Sept. 2007.

RIZZI, F. M. L.; BEVILACQUA, M. C. Efeitos do número e localização dos eletrodos na cóclea na percepção da fala de indivíduos pós-linguais implantados. *Rev Bras Otorrinolaringol.*, Bauru, v. 69, n. 3, p. 364-369, maio/jun. 2003.

RUCCI, M.; WRAY, J. Binaural cross-correlation and auditory localization in the barn owl: a theoretical study. *The Neurosciences Institute*, San Diego, v. 12, p. 31-42, Jan. 1999.

RUSSO, I.; BEHLAU, M. *Percepção da fala: análise acústica do português brasileiro*. Morumbi: Lovise, 1993, p. 48-50.

SCHMITHORST, V. J. *et al.* Cortical reorganization in children with unilateral sensorineural hearing loss. *Neuroreport.*, Cincinnati, v. 16, n. 5, p. 463-467, Apr. 2005.

SCOTT, B. H.; MALONE, B. J.; SEMPLE, M. N. Representation of dynamic interaural phase difference in auditory cortex of awake rhesus macaques. *Neurophysiol.*, New York, v. 101, p. 1781-1799, Jan. 2009.

SILMAN, S. *et al.* Próteses auditivas: um estudo sobre seu benefício na qualidade de vida de indivíduos portadores de perda auditiva neurossensorial. *Distúrbios da Comunicação*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 153-165, ago. 2004.

SMITH, Z. M.; DELGUTTE, B. Sensitivity of inferior colliculus neurons to interaural time differences in the envelope versus the fine structure with bilateral cochlear implants. *J Neurophysiol.*, Boston, v. 99, p. 2390-2407, Feb. 2008.



SPITZER, J. B.; GHOSAINI, S. N.; WAZEN, J. J. Evolving applications in the use of bone-anchored hearing aids. *American Journal of Audiology*, New York, v. 11, p. 96-103, Dec. 2002.

TOLLIN, D. J.; YIN, T. C. T. Interaural phase and level difference sensitivity in low-frequency neurons in the lateral superior olive. *J Neurosci.*, Madison, v. 25, n. 46, p. 10648-10657, Nov. 2005.

THOMPSON, S. K. *et al.* Representation of interaural time delay in the human auditory midbrain. *Nature Neuroscience*, London, v. 9, n. 9, p.1096-1098, Sept. 2006.

TREMBLAY, K.; KRAUS, N.; MCGEE, T. The time course of auditory perceptual learning: neurophysiological changes during speech-sound training. *Neuro Report*, Seattle, v. 9, p. 3549-3759, Nov. 1998.

TRINGALI, S. *et al.* A survey of satisfaction and use among patients fitted with a BAHA. *Eur Arch Otorhinolaryngol.*, Lyon, v. 265, p. 1461-1464, Apr. 2008.

YAMAGUCHI, C. T.; GOFFI-GOMEZ, M. V. S. Perfil audiológico do usuário implante coclear e aparelho de amplificação sonora individual na orelha contralateral: resultados preliminares. *Rev. CEFAC*, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 494-498, jul./set. 2009.

YOST, W. A.; DYE, R. H.; SHEFT, S. Interaural time difference processing of broadband and narrowband noise by inexperienced listeners. *J Acoust Soc Am.*, Chicago, v. 121, n. 3, p. 103-109, Mar. 2007.

WAZEN, J. J. *et al.* Localization by unilateral BAHA users. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.*, New York, v. 132, n. 6, p. 928-932, June 2005.

WITHINGTON, D. J. Localisable alarms. In: STATON, N. A.; EDWORTHY, J. *Human Factors in Auditory Warnings*. Leeds: Ashgate, 1999. p 56-61.