

ANATOMO - FISIOLOGIA DA AUDIÇÃO

O som é um tipo de energia mecânica, resultado da transmissão de energia de partículas de ar em vibração, de uma fonte sonora em direção a partes mais distantes. Freqüência sonora é um conceito que caracteriza a altura de um som, definindo-o como grave, médio ou agudo. A freqüência é expressa em Hertz (Hz), ou ciclos por segundo, e é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Os sons comuns apresentam uma ampla gama de freqüências, tendo a fala freqüências que variam entre 300 e 3000 Hz. Intensidade sonora corresponde à amplitude das vibrações periódicas das partículas de ar e está associada à pressão e energia sonora (som fraco e forte), e é expressa em decibéis, a unidade de sensação sonora. O timbre ou qualidade do som é dado pelas diferenças de amplitude dos sons harmônicos, que são sons de freqüências múltiplas em relação à freqüência do som fundamental.

ORELHA EXTERNA

Possui a função de coletar e encaminhar as ondas sonoras até a orelha média, amplificar o som, auxiliar na localização da fonte sonora e proteger a orelhas média e interna.

A função do pavilhão auricular como captador de ondas sonoras é discutível, pois sua ausência é compatível com boa acuidade auditiva. O meato acústico externo transfere e amplifica o som para a orelha média, principalmente em freqüências de 2000 a 5000 Hz, sendo máxima entre 200 e 3000 Hz (aproximadamente 20 dB). Também serve para auxiliar na localização da fonte sonora, que consiste na impressão de volume sonoro causada pela aplicação de pressão sobre as orelhas. Há o efeito sombra da cabeça, no qual ondas de pequeno comprimento são bloqueadas pela cabeça e a pressão sonora é reduzida no lado oposto à fonte sonora.

Entretanto, a principal função da orelha externa é a proteção da membrana do tímpano, além de manter um certo equilíbrio de temperatura e umidade necessários à preservação da elasticidade da membrana. Contribuem para essas funções as glândulas ceruminosas produtoras de cerúmen, os pêlos, e a migração epitelial da região interna para a externa.

ORELHA MÉDIA

Trata-se de uma fenda preenchida por ar, comunica-se com a nasofaringe através da tuba auditiva (Figura 1). Possui em seu interior a cadeia ossicular, composta por: martelo (em contato direto com a membrana timpânica); bigorna e estribo (em contato com a cóclea através da janela oval).

Seu papel mais importante é a equalização das impedâncias da orelha média (vibrações aéreas que invadem a membrana timpânica) e da interna (variações de pressão nos compartimentos líquidos da orelha interna).

Sob o impacto de ondas sonoras sucessivas a membrana timpânica vibra no seu todo,

deslocando-se para dentro e para fora da orelha média (fases de compressão e de rarefação), como um pistão, juntamente com o cabo do martelo, ao qual está intimamente fixado. Segundo Békésy somente 55 mm² (de 85 mm²) da área entram em vibração. O deslocamento da membrana timpânica apresenta a capacidade de variar de amplitude em cada zona da membrana timpânica de acordo com a frequência sonora, porém o deslocamento máximo sempre ocorre na região pósterior - superior. À medida que a frequência aumenta, o deslocamento da membrana é cada vez mais complexo.

A cadeia ossicular transmite a vibração acústica desde a membrana até a base do estribo, passando pelo martelo e bigorna.

Unidade Tímpano-Ossicular

As vibrações sonoras originadas no meio atmosférico são refletidas no meio líquido e perdem 999 milésimos de sua força e somente 1 milésimo da energia consegue chegar ao meio líquido. Deste modo, os animais aquáticos ficam isolados dos ruídos do mundo atmosférico, porém a energia sonora originada no líquido é totalmente aproveitada.

A orelha média serve para corrigir esta perda que ocorre na transmissão da onda sonora do meio aéreo para o meio líquido da cóclea. Isto ocorre por dois mecanismos:

1- Mecanismo hidráulico: a relação de superfície entre a área de vibração útil da membrana (55 mm²) e a platina do estribo (3,2 mm²) é de 17/1 (varia até 25/1, segundo diferentes estudos), o que significa um aumento de pressão que chega à janela oval de 17 - 25 vezes (aproximadamente 26 dB).

2- Mecanismo de alavanca martelo-bigorna, que vibram em conjunto em torno do seu eixo de rotação. O ramo longo da bigorna, que é menor que o cabo do martelo faz com que as ondas sonoras transmitidas à janela oval aumentem a pressão acústica numa relação de 2/1 (2,5 dB).

O eixo de rotação é, a princípio, fixo e é formado pela linha que une o ligamento anterior do martelo ao ligamento posterior da bigorna. O movimento de deslocamento da cadeia ossicular é complexo e compreende dois movimentos: de rotação (já descrito), que ocorre nas frequências baixas e o de translação, que ocorre nas frequências altas e pode ser mais proeminente que a rotação.

A amplificação global da pressão transmitida da membrana do tímpano até a platina do estribo é de 22 vezes, correspondendo a 27-35 dB. Portanto, a adaptação da impedância entre o meio aéreo e a cóclea é indispensável à boa transmissão sonora. Sem este mecanismo de adaptação de impedâncias, haveria uma perda auditiva de aproximadamente 30 dB.

Deste modo, há predomínio intenso de pressão acústica das ondas que chegam à janela oval em relação às que chegam à janela redonda e as ondas alcançam as janelas em oposição de fase:

compressão na janela oval e rarefação na redonda. Esta diferença de pressão acústica e de fase entre as duas janelas é indispensável para a mobilização da perilinfa e conseqüente ativação da membrana basilar que aloja o órgão de Corti.

A impedância de entrada da energia sonora na orelha interna depende da pressão acústica na rampa vestibular (janela oval), da pressão acústica na platina do estribo (janela oval => rampa vestibular) e do volume de perilinfa deslocado pela platina por unidade de tempo. Os movimentos da platina são limitados pela inércia da perilinfa e pela extensibilidade da membrana basilar.

Portanto, a impedância da orelha interna é "resistiva", tendo como conseqüências: toda a energia acústica incidente dissipa-se na cóclea e as ressonâncias que aparecem na orelha média são amortecidas.

Função de proteção da orelha interna

Realizada pela presença mecânica da membrana timpânica e reflexo do estapédio.

O reflexo do estapédio é desencadeado por um estímulo sonoro intenso e consiste de uma contração bilateral do músculo do estribo (estapédio). A contração isolada do m. do estapédio faz com que ele gire em torno de um eixo vertical, facilitando a transmissão de sons fracos. Sob estímulos de grande intensidade, ele se desloca sob o eixo longitudinal e se desloca de cima para baixo com amplitude máxima superior, aumentando a rigidez e a resistência à transmissão de sons graves, principalmente.

A aferência é feita pelo NC VIII (nervo auditivo) e a eferência pelo nervo do estapédio, ramo do NC VII (nervo facial). Porém, alguns estudos indicam que a atenuação do som pelo reflexo estapediano possa ser de apenas 2 dB para uma intensidade de 20 dB acima da intensidade desencadeadora do reflexo.

Este reflexo possui um período de latência (14 a 16 ms), não oferecendo proteção contra ruídos bruscos e apresenta fadigabilidade, limitando a duração do seu papel protetor em casos de sons intensos e prolongados. Também há outras hipóteses para a sua função: redução dos ruídos da fonte sonora; atenuação seletiva de freqüências graves, com a finalidade de não deixar que os sons graves mascarem os agudos, melhorando a percepção de sons complexos (agudos); redução da excitação da orelha interna, diminuindo o ruído provocado por ela mesma.

Também colabora com a proteção o m. tensor do tímpano, em menor importância.

Tuba Auditiva

Função de manter o arejamento das cavidades da orelha média, o que é assegurado pela sua abertura intermitente. O equilíbrio entre a pressão

atmosférica e a do ar contido na cavidade timpânica é indispensável para que a unidade tímpano-ossicular vibre sem obstáculos.

ORELHA INTERNA

Cóclea

A cóclea (do grego: *coclos*- caracol) constitui o labirinto anterior. Trata-se de um órgão de cerca de 9 mm de diâmetro com estrutura cônica composta por três “tubos” paralelos que se afinam da base para o ápice. Têm uma parede extremamente delgada e se dispõem em espiral, em torno de um osso chamado columela ou modíolo, ao redor do qual dão de duas e meia a três voltas. Suas paredes externas são ósseas. É responsável pela transdução de energia acústica (mecânica) em energia elétrica.

A base da cóclea é mais alargada e possui duas janelas, a oval e a redonda. Os três

“tubos” são denominados

- 1) Rampa vestibular: Mais superior, limita-se com a orelha média pela janela oval;
- 2) Rampa média ou ducto coclear: Posição intermediária; contém o órgão de Corti e é delimitada em sua base pela membrana basilar
- 3) Rampa timpânica: Mais inferior; limita-se com a orelha média pela janela redonda

As rampas vestibulares e timpânica comunicam-se entre si através do helicotrema, situado no ápice da cóclea. Em seu interior contém perilinfa, um fluido semelhante ao extracelular, rico em sódio ($\text{Na}^+=139 \text{ mEq/L}$ e $\text{K}^+=4 \text{ mEq/L}$), O interior do ducto coclear contém endolinfa, semelhante ao líquido intracelular, rico em K^+ ($\text{Na}^+=13 \text{ mEq/L}$ e $\text{K}^+=144 \text{ mEq/L}$).

A lâmina espiral é uma lâmina óssea separada da columela e completada pela membrana basilar, que se insere sobre sua borda livre. A rampa vestibular está separada do ducto coclear pela membrana vestibular de Reissner e o ducto coclear está separado da rampa timpânica pela membrana basilar, onde está situado o órgão de Corti. A membrana tectória projeta-se sobre o órgão de Corti, com sua borda interna fixa ao modíolo e a borda externa livre.

A membrana basilar e a transmissão sonora

Transmissão sonora:

Membrana timpânica \Rightarrow cadeia ossicular \Rightarrow platina do estribo \Rightarrow janela oval \Rightarrow impulsiona a perilinfa dentro da cóclea \Rightarrow pressão aplicada direcionada inferiormente sobre a membrana basilar \Rightarrow onda mecânica se desloca ao longo da rampa vestibular \Rightarrow helicotrema (ápice) \Rightarrow retorna

pela rampa timpânica \Rightarrow janela oval \Rightarrow deslocamento de “ida e volta” da onda sonora \Rightarrow diferença de pressão hidrostática sobre a membrana basilar (vibra de cima para baixo.)

As propriedades mecânicas da membrana basilar são a chave para a fisiologia adequada da cóclea.

A principal característica da membrana basilar é que ela não é uniforme, de forma que suas propriedades mecânicas variam ao longo de seu comprimento: no ápice, a membrana é mais delgada e solta enquanto na base ela é mais espessa e fixa. Isso é importante para que na base os indivíduos percebam os sons mais agudos e no ápice os sons mais graves.

Isso atribui à membrana uma estrutura tonotópica, ou seja, sons agudos (até 20 kHz) têm seu pico na espira basal do ducto coclear e sons graves, na espira apical. Sons muito graves (menor que 200 Hz) provocam mobilização de toda a membrana basilar.

Esta é a Teoria de von Békésy \Rightarrow **O som** se propagará através de toda a membrana basilar, causando maior amplitude de movimento em determinado ponto dela (formando os “envelopes” da membrana) , enquanto os demais pontos permanecem próximos da inércia.

Finalmente, as deformações ondulatórias da membrana basilar repercutem sobre as células ciliadas do órgão de Corti.

Órgão de Corti

O órgão de Corti é a estrutura transdutora de energia mecânica para energia elétrica; localiza-se ao longo e sobre a membrana basilar, sendo formado por cinco tipos básicos de células:

1) **Células ciliadas internas (CCI)**: são as principais células receptoras auditivas. Formam a coluna mais interna ao longo do órgão de Corti (aproximadamente 3500 células), são piriformes. Seu potencial de ação no repouso é de -40 mV na base e -32 mV no ápice

2) **Células ciliadas externas (CCE)**: formam as três fileiras mais externas; são em número três vezes maior (12000 a 16000) e são cilíndricas. O potencial de ação de repouso é de -53 mV no ápice e -70 mV na base. Têm alta seletividade freqüencial.

3) 3 tipos de células de sustentação: **Deiters, Hensen, Claudius**. Além desses tipos celulares, o órgão de Corti também possui as aferências neuronais. Dos 30000 a 50000 neurônios aferentes que inervam a cóclea, 90 a 95% são neurônios do tipo I e fazem sinapse com as CCI e cada CCI é inervada por 15 a 20 neurônios tipo I. Os outros 5 a 10% são do tipo II e inervam as CCE e cada neurônio tipo II inerva 10 CCE.

Por fim, recobrando o órgão de Corti, existe a membrana tectória. Em íntimo contato com os estereocílios das CCI e CCE, é responsável pela deflexão e hiperflexão dessas estruturas durante a vibração da membrana basilar.

Portanto para que este complexo sistema funcione, a integridade de todas estas estruturas é muito importante.

Estereocílios das Células Ciliadas

Tanto as CCI como as CCE possuem feixe de estereocílios.

CCI: Seu pólo apical está recoberto de estereocílios, dispostos em várias fileiras de tamanho decrescente (são maiores no exterior). Estereocílios em forma de “V”.

CCE: Seus estereocílios estão localizados no ápice da célula, organizados em três ou quatro fileiras, cuja altura aumenta do interior para o exterior e têm forma de “W” com suas pontas para fora. A abertura do “W” aumenta da primeira para a terceira fileira de CCE. A parte apical dos cílios maiores está implantada na membrana tectória. O ápice dos estereocílios é mais rígido que a base. A estrutura protéica dos cílios é complexa. Seu centro é constituído por um filamento de actina formado pela associação em hélice de monômeros de actina. Sua parte basal está presa à placa cuticular por proteínas contráteis como a actina, miosina e tropomiosina.

A resposta freqüência- dependente

Cada célula ciliada tem uma resposta eletrofisiológica dependente da freqüência sonora, relacionada com a sua posição na membrana basilar. A sensibilidade de uma dada célula para cada freqüência pode ser visualizada numa curva “tuning”. Tal curva demonstra a intensidade mínima (em dBNA) de vários tons puros que devem ser dados para uma determinada célula ciliada interna para que essa varie seu potencial de repouso numa voltagem pré-estabelecida.

Na curva em exemplo, o critério de resposta (variação do potencial de repouso) foi de 1mV. Observamos que a curva “tuning” apresenta forma de “v”, ou seja, há uma sensibilidade muito alta para dadas freqüências sonoras (aquelas da tonotopia onde a célula está inserida), e muito baixa para as demais freqüências. Isso é mais um fator de aumento de sensibilidade do órgão de Corti para as várias freqüências sonoras.

Os cílios das Células ciliadas externas (CCE) estão em contato com a membrana tectoial (somente o cílio maior). Os cílios das Células Ciliadas Internas (CCI) somente terão contato com a membrana Tectorial quando ocorrer a estimulação das CCE e amplificação dos movimentos da membrana basilar, havendo assim o estímulo sonoro. As CCE não enviam para o SNC o

Sinal auditivo (somente o sinal mecânico de contração), somente a CCI é que envia o sinal sonoro ao SNC quando despolarizada (quando o cílio maior toca a membrana Basilar).

Etapas da fisiologia coclear

1- Transdução mecanoelétrica nas células ciliadas externas:

As vibrações mecânicas da membrana basilar e órgão de Corti provocadas pelas vibrações da perilinfa causa a deflexão mecânica do feixe de estereocílios, que se deflete como um todo, devido às conexões laterais existentes entre cada estereocílio e pelo fato da base ser mais estreita em relação ao corpo. As conexões laterais permitem que a pressão aplicada a um estereocílio seja aplicada ao cílio vizinho. Há também uma conexão ("tip link") que une a extremidade de um estereocílio ao vizinho mais alto e se acredita que aí exista um canal iônico de transdução. No repouso este canal oscila entre aberto e fechado, mas fica fechado a maior parte do tempo. Se o feixe é defletido, cada estereocílio desliza sobre o vizinho, fazendo com que o tip link (conexão) seja esticado, abrindo o canal de transdução e permitindo o influxo de cálcio e principalmente potássio, despolarizando a membrana celular.

2-Transdução eletromecânica nas células ciliadas externas: (cóclea ativa)

Os potenciais elétricos assim formados provocariam contrações mecânicas rápidas das células ciliadas externas, que constituem a base da eletromotilidade e ocorrem em fase com a frequência sonora estimulante. Estas contrações determinariam uma amplificação da vibração da membrana basilar numa área restrita do órgão de Corti, devido ao coplamento que as células ciliadas externas realizam entre a membrana basilar e a membrana tectórica. Tais contrações rápidas poderiam ocorrer por um mecanismo de eletrosmose que depende da presença do sistema de cisternas laminadas das células ciliadas externas.

3-Transdução mecanoelétrica nas células ciliadas internas

A amplificação das vibrações da membrana basilar provocaria o contato dos cílios mais longos das células ciliadas internas com a membrana tectórica e conseqüente inclinação dos mesmos. Isto nas células de uma área delimitada pequena onde é liberada a energia pelo mecanismo ativo. Nesta área, um pequeno número de células ciliadas internas é estimulado com máxima intensidade. A inclinação e estimulação dos cílios determinaria a despolarização das células ciliadas internas, com formação de potenciais receptores pela entrada de potássio pelos canais iônicos dos cílios. Em seguida, há a liberação de neurotransmissores e a formação de uma mensagem sonora codificada em impulsos elétricos, que é transmitida ao SNC pelo nervo acústico

Potenciais globais da cóclea

Correspondem à soma das atividades individuais, são registradas por microeletrodos colocados contra o promontório, na janela redonda ou nas rampas vestibular ou timpânica.

São quatro potenciais:

1- Potencial endococlear de repouso: é o único que não é gerado em resposta à estimulação sonora. Dependente da estria vascular (localizada na parede lateral da cóclea), que é considerada a “bateria” da cóclea, sua fonte de energia essencial para a transdução. A cóclea em repouso mantém um gradiente bem elevado. O potencial da endolinfa é de +80mV (pela alta concentração de potássio) e da perilinfa é de -60mV, pela alta concentração de sódio, resultando num potencial de 140mV. Alterações nos mecanismos envolvidos na produção de endolinfa e do potencial podem produzir perda auditiva (algumas vezes é chamada de presbiacusia metabólica).

2- Potencial microfônico coclear: é a primeira transformação no potencial de ação que ocorre após a estimulação sonora. Representa o influxo de K⁺ nas CCE, proporcional ao deslocamento da membrana basilar. Reproduz a frequência do som estimulante. É um potencial de corrente alternada, que segue a morfologia da onda sonora que o desencadeou. Não têm latência, ocorrendo simultaneamente ao som.

3- Potencial de somação: É a segunda alteração elétrica de corrente contínua, simultânea a um tom contínuo ou a um estímulo sonoro transitório. Tem a mesma direção do potencial de ação do nervo auditivo e é geralmente registrado como uma pequena deflexão que antecede o potencial do nervo. Está relacionado com os movimentos da membrana basilar e pode ser captado quando existe uma diferença entre a amplitude de movimento da membrana basilar. Segue o envelope da estimulação sonora. Seu valor depende da frequência, da intensidade e do nível de registro na cóclea. É gerado pelas CCI e CCE, principalmente. Há relação entre sua amplitude e a intensidade sonora. Só pode ser registrado com sons de alta intensidade, pois nesta situação e excursão da membrana basilar em direção à escala média será muito maior que aquela em direção à escala timpânica. Na hidropsia endolinfática, a escala média está dilatada e a diferença de movimento da membrana basilar em direção à escala média em relação à timpânica será maior que o esperado e o potencial de somação será maior. Essa alteração de potencial é muito sugestiva de hidropsia.

4- Potencial de ação do nervo auditivo: resultado do disparo sincrônico de muitas fibras do nervo auditivo, após a estimulação sonora ser processada em energia bioelétrica, através das CCI. O tempo de ocorrência de cada potencial depende da velocidade da onda viajante pela membrana basilar. A velocidade é maior na espira basal e diminui progressivamente na direção da espira apical.

NC VIII (NERVO AUDITIVO OU COCLEAR)

O nervo auditivo possui ao redor de 30000 a 50000 fibras. O corpo celular de suas fibras está no gânglio espiral, que recebe dendritos da lâmina espiral (lâmina óssea onde está inserida a membrana basilar) e manda axônios para o núcleo coclear.

Inervação Aferente

É composta dos neurônios tipo I (90-95%) que inervam as CCI e pelos neurônios tipo II (5-10%), que inervam as CCE (Figura 13). Os neurônios tipo I são células grandes, mielinizadas e bipolares, apresentam condução rápida e o provável neurotransmissor envolvido é o glutamato. Os dendritos tipo I são conectados de forma radial com as CCI, configurando um corpo sináptico rodeado de vesículas.

Os neurônios tipo II são células pequenas com axônio não mielinizado de pequeno diâmetro.

A sinapse neurônio tipo II e CCE é do tipo balão, de tamanho pequeno com presença inconstante do corpo sináptico na CCE e sua extremidade é pobre em organelas especializadas. O neurotransmissor é desconhecido.

As fibras do nervo auditivo também têm seletividade freqüencial, dependente da tonotopia coclear. A freqüência característica de uma fibra é aquela que possui um limiar de resposta mais baixo.

Respostas do n. auditivo a dois estímulos com freqüências diferentes: quando dois tons são apresentados simultaneamente, a resposta do nervo não é a soma das respostas individuais. Vários estudos demonstraram que a descarga elétrica em resposta a dois tons pode ser menor que a resposta a um só. Um tom pode suprimir a resposta do outro. Há semelhanças entre os efeitos supressores de dois tons das fibras auditivas, células ciliadas e vibração da membrana basilar, sugerindo que a origem deste fenômeno está na resposta mecânica da membrana basilar.

Propriedades de adaptação: as interações sonoras podem ocorrer também com a estimulação não simultânea. O termo adaptação é usado para explicar a alteração de resposta a um estímulo causado por estimulação prévia a outro. A recuperação de adaptação ocorre em tempos diferentes, dependente do nível e duração do estímulo adaptador. Se a duração é curta (menor que um segundo) a recuperação é rápida.

Respostas a vários estímulos: o efeito de “ruído de fundo” na percepção de um estímulo

sonoro é estudado como um fenômeno psico-físico. O ruído de fundo pode diminuir a sensibilidade e o nível de resposta a um tom, por efeitos de supressão e adaptação.

SISTEMA NERVOSO CENTRAL

Composto de:

- núcleos cocleares
- complexo olivar superior
- núcleos do lemnisco lateral
- colículo inferior
- corpo geniculado medial
- córtex auditivo

Têm organização tonotópica, dependente da frequência e nem todas as fibras passam por todas as estruturas.

a) Núcleos Cocleares

Constituem as primeiras estruturas auditivas centrais da via ascendente. Localizados na face dorsolateral do tronco cerebral, próximo ao ângulo ponto-cerebelar.

Recebem aferências do n. auditivo, aferências centrais auditivas e não auditivas. As fibras do nervo auditivo se dividem rapidamente ao entrar no tronco cerebral em dois ramos, caracterizando a tonotopia do núcleo coclear:

- anterior ou ascendente: projeção para o núcleo coclear ântero-ventral.
- posterior ou descendente: projetam-se no núcleo coclear pósterio-ventral e no núcleo dorsal.

1- *Núcleo ântero-ventral*: é a maior parte do núcleo coclear. Rica inervação aferente ascendente e algumas descendentes provenientes dos centros superiores (complexo olivar superior e cerebelo). Algumas aferências são inibitórias e parecem melhorar a seletividade.

Eferência para o corpo trapezóide e bilateralmente para o complexo olivar superior, núcleos do lemnisco lateral e colículo inferior.

2- *Núcleo pósterio-ventral*: aferências do nervo auditivo e centrais. Eferência para a estria auditiva intermediária e núcleos contra-laterais do lemnisco lateral e colículo inferior.

3- *Núcleo dorsal*: Algumas células do núcleo dorsal respondem à orelha contra-lateral e associadas a uma excitação ipsilateral, podem inibir ou estimular um estímulo contra-lateral. Esse núcleo também tem função localizatória do som no eixo vertical.

As fibras dos núcleos cocleares também se dispõem de forma tonotópica, de forma que as frequências mais altas são representadas na região mais distal do eixo longitudinal do núcleo; As fibras da base da cóclea se dirigem à região dorsal e do ápice à região ventral.

Os neurotransmissores provenientes das aferências do nervo auditivo são excitatórios (ácido glutâmico e/ou ácido aspártico) e os centrais são

acetilcolina, GABA, glicina, noradrenalina. Os núcleos cocleares têm organização dependente da frequência. Há quatro tipos de respostas:

- Primárias: reproduz o conteúdo da mensagem das fibras do nervo auditivo. Possui parte fásica inicial seguida de uma parte tônica que se mantém ao longo do estímulo sonoro, no núcleo coclear ântero-ventral.
- Transitórias: importante pico de descarga no início do estímulo, seguido por uma diminuição rápida. Ocorre nos núcleos cocleares ventrais.
- Resposta em “dentes de serra” – picos de descargas que dependem da duração e intensidade do estímulo. Em todas as divisões.
- Resposta crescente e com pausa: caracterizada por reatividade que cresce progressivamente após um tempo de latência longo. Observada nas células da porção dorsal.

b) Complexo Olivar Superior

É considerado o primeiro centro do sistema nervoso auditivo ascendente onde ocorre a convergência de aferências de ambas as orelhas, dado que muitas fibras não cruzam a linha média através do corpo trapezóide.

Constitui um conjunto de núcleos situados na ponte, caracterizado por grande variabilidade a função de várias espécies. Os núcleos no homem são: oliva superior lateral, oliva superior medial, núcleos periolivares e núcleo medial do corpo trapezóide. Sua função é complexa: localização espacial do som, reflexo estapediano, fisiologia do sistema eferente olivo-coclear.

1- Núcleo medial do corpo trapezóide:

As células são principalmente inibitórias. Não têm um papel bem conhecido. Aferências do núcleo coclear contralateral e eferências para a oliva superior medial e lateral.

2- Oliva superior lateral:

Possui organização tonotópica:
altas frequências: medial
baixas frequências: lateral

Seu principal papel é a localização dos sons de alta frequência no espaço.

Tipos de células encontradas neste núcleo:

- células E0: respondem a estímulos puramente monoaural.
- células EI (excitação-inibição): maioria das células. Respondem a estímulos binaurais.

São sensíveis a uma diferença interaural de tempo e de intensidade (raramente de intensidade).

- Células EE (excitação-excitação): respondem a estímulos binaurais.

Aferência: núcleo coclear ântero-ventral contra-lateral núcleo medial do corpo trapezóide ipsilateral Eferência: lemnisco lateral bilateral colículo inferior outros núcleos do complexo olivar superior.

A maior parte dos neurônios têm excitação ipsilateral e inibição contra-lateral. Sua função é a de localização da fonte sonora, usando para isso a diferença de intensidade que cada som chega á orelha externa.

3-Oliva superior medial

As freqüências graves estão na região dorsal e as agudas na ventral.

Aferência: núcleo coclear ântero-ventral (glutamato +, GABA/glicina -)

Eferência: lemnisco lateral bilateral.

Função: detecção das diferenças interaurais (localização do som no espaço). A localização é realizada pela percepção das diferenças de fase (freqüências baixas) da onda sonora de cada orelha. É capaz de distinguir sons com até 10 μ s de intervalo. Sua percepção da diferença de intensidade em cada orelha é pequena.

4- Núcleos Periolivares

Situados na periferia das olivas superior medial e lateral e do núcleo medial do corpo trapezóide.

Eferências: núcleos cocleares, lemnisco lateral, cóclea.

Sua função é indefinida.

Audição Binaural

Quando a acuidade auditiva é semelhante em ambas as orelhas, a direção de um som pode ser definida com grande acurácia. Esta habilidade é baseada na diferença de tempo de chegada e de intensidade do som que chega nas duas orelhas. Quando a fonte sonora está localizada diretamente na frente ou atrás da cabeça, o som chega em ambas as orelhas ao mesmo tempo. Quando vem de outra direção, alcança cada orelha em tempos diferentes, devido à diferença da distância de cada orelha e a fonte. Os neurônios do complexo olivar superior respondem especificamente à diferença temporal entre as estimulações e sua presença é fundamental para a audição binaural. A intensidade sonora depende da onda sonora e do tamanho da cabeça (efeito sombra) e a diferença de intensidade tem uma relação complexa com a distância angular e é altamente dependente do espectro sonoro.

Reflexo do Estapédio

O arco reflexo envolve a orelha e estruturas do sistema nervoso ascendente, desde o núcleo coclear até o complexo olivar superior e a via eferente envolve o nervo facial (ramo do estapédio).

Envolve a cóclea, o nervo auditivo, o núcleo coclear ântero-ventral e corpo trapezóide, existindo comunicações para os núcleos motores do NC VII ipsi e contra-laterais. No homem, o arco reflexo causa contração só do m. do estapédio. Mesmo que só uma orelha seja estimulada, a resposta do reflexo é bilateral, na mesma intensidade. O limiar de ativação ipsilateral é um pouco mais baixo que o da ativação contra-lateral (aproximadamente 85 dB acima do limiar auditivo nas freqüências de 500 a 4000 Hz).

A força de contração aumenta com a intensidade do estímulo.

Ramo do estapédio Músculos do estapédio Ramo do estapédio NC VII NC VII
NC VIII N C COS COS NC NC VIII OD OE
NC VII = Nervo facial NC = Núcleo coclear
NC VIII = Nervo auditivo COS = Complexo olivar superior

Reflexo alterado: limitação sensorial na via aferente patologias da porção eferente
patologias do nervo facial lesão do troco cerebral.

Recrutamento:

Em indivíduos normais o reflexo do estapédio é desencadeado com intensidade entre 70 e 100 dB NA acima do limiar auditivo. Quando a diferença entre o limiar do reflexo e o limiar auditivo é menor que 60 dB dizemos que há recrutamento, o que é sugestivo de lesão coclear. O recrutamento é definido como um aumento desproporcional da sensação de intensidade em relação ao aumento da intensidade física, implicando em uma redução do campo dinâmico de audição. A diferença entre o que o indivíduo detecta em seu limiar auditivo mínimo, e o que ele tolera, em seu limiar de desconforto, é bastante reduzida. A fisiopatologia do recrutamento é, ainda hoje, objeto de discussões e controvérsia. Segundo a teoria de Tumarkin e Kobrak, nas lesões recrutantes estariam

lesadas apenas as CCE, e a orelha afetada, conquanto não reagisse a estimulações de baixa intensidade, ao se aumentar sua amplitude gradativamente recuperaria sua capacidade de resposta, à medida que fossem entrando em ação as CCI. As teorias atuais propõem que as CCE funcionariam como uma resistência variável que pode modificar a ressonância do complexo membrana basilar – órgão de Corti – membrana tectória, em face das suas propriedades contrárias e, com isso, permitindo uma maior tonotopicidade às CCI, opondo-se desta maneira a teoria de Tumarkin e Kobrak.

c) Núcleos do Lemnisco Lateral

Situam-se na ponte, no interior das fibras do lemnisco lateral. São as grandes vias ascendentes da sensibilidade. Recebe aferências das fibras dos núcleos cocleares e do complexo olivar superior.

São três núcleos: dorsal, ventral e intermédio. A aferência do núcleo dorsal é binaural, do ventral é contra-lateral e do intermédio é ipsilateral. Sua função é desconhecida.

d) Colículo Inferior

Localiza-se na porção dorsal do mesencéfalo. É essencial, funcionando como centro de integração da mensagem auditiva. Sem ele, a percepção do som seria impossível. Tem aferências auditivas e extra-auditivas (por exemplo, tátil).

Divisão: núcleos central, dorso-medial, lateral e dorsal.

Quase todos os neurônios respondem a estímulos ipsilaterais e contra-laterais, predominantemente contra-laterais. Menos de 40% são excitados por estímulos ipsilaterais.

Recebe diversos tipos de informações, como frequência, intensidade, complexidade temporal, localização no espaço. Parece estar envolvido com a localização sonora e com funções motoras, como por exemplo, medula espinhal e colículo superior, que ativa a musculatura extraocular, formando mapas de representações funcionais que permitem representar os parâmetros do “espaço sonoro”.

Aferências: periféricas – todos os núcleos inferiores, exceto núcleo ventral contralateral do lemnisco lateral.

Descendentes (centrais) – córtex auditivo e corpo geniculado medial.

Eferências para o corpo geniculado medial, núcleos auditivos do tronco cerebral e estruturas extra-auditivas: colículo superior, formação reticular, mesencéfalo, cerebelo.

e) Corpo Geniculado Medial

Localiza-se no tálamo. Tem rica inervação descendente, que juntamente com a ascendente, forma os tratos auditivos tálamo-corticais.

Três divisões: dorsal, ventral e medial. Recebe aferências auditivas, vestibulares, visuais e somáticas. Parece estar relacionado com a vigília do córtex auditivo (atenção auditiva) e também com a codificação da intensidade e da frequência do som.

f) Córtex Auditivo

O córtex auditivo primário se localiza dentro da cisterna de Sylvius do lobo temporal (áreas 41 e 42 de Brodman). Além da área primária (AI) há a área secundária (AII), área terciária (AIII), zona ectosilviana posterior, franja suprasilviana e ínsula.

Também tem organização tonotópica.

Os neurônios corticais não são sensíveis a estímulos sonoros contínuos, diferentemente dos núcleos do tronco cerebral, o que é importante para

separar um sinal auditivo de um ruído de fundo, pois a presença do ruído de fundo não modifica o grau de descarga do estímulo. O tipo de resposta de cada célula cortical pode variar em função do espectro, intensidade e localização espacial do som. No corpo geniculado medial, em resposta a um estímulo tonal simples há diversos tipos de respostas temporais: respostas transitórias no início (respostas “on”) ou de cessação (respostas “off”) e respostas sustentadas durante toda a duração do estímulo. As características do espectro das respostas corticais se parecem com as do tálamo. A codificação da intensidade pode se fazer de duas maneiras: algumas células têm um aumento progressivo de sua descarga até a sua saturação quando o aumento da intensidade é em torno de 30 dB e outras não saturam. Também têm propriedades binaurais, com interações excitatórias e inibitórias. Não há um consenso sobre seu funcionamento.

Alguns autores citam a existência da especialização hemisférica do córtex auditivo central, característica muito discutível e que estaria fortemente influenciada pelo aprendizado.

Lobo temporal direito: análise auditiva da mensagem sonora (discriminação de intensidade, duração e timbre do som).

Lobo temporal esquerdo: tratamento fonético da mensagem sonora e compreensão verbal ou semântica.

Lobo parietal e/ou opérculo temporal direito: compreensão da entonação emocional da mensagem sonora.

SISTEMA EFERENTE

É um sistema complexo, compreendendo um conjunto de núcleos do tronco cerebral, do complexo olivar superior e córtex auditivo.

Há dois sistemas eferentes principais: o trato olivo-coclear (que termina na orelha) e um que termina em vários núcleos do sistema auditivo ascendente.

O trato olivo-coclear é dividido em medial e lateral.

a) Trato Olivo-Coclear Medial

As fibras são mielinizadas e de condução rápida, que inervam principalmente as CCE. 80% são contra-laterais. Têm origem na parte medial do complexo olivar superior, principalmente núcleo medial do corpo trapezóide. Há fibras cruzadas (mais importantes) e não cruzadas. O principal neurotransmissor parece ser a acetilcolina.

b) Trato Olivo-Coclear Lateral

As fibras não são mielinizadas, com núcleos pequenos e inervam principalmente as CCI.

90% são ipsilaterais. Os corpos celulares se localizam no complexo olivar superior (principalmente oliva superior lateral), que manda projeções cruzada e não cruzada sobre o órgão de Corti. São mediados por neurotransmissores múltiplos (metencefalina, GABA, acetilcolina) e têm papel desconhecido.

c) Neurotransmissores do Sistema Eferente

Excitatórios: - Acetilcolina

- Opióides endógenos (endorfina, encefalina): aumentam a descarga elétrica sobre as

CCI e sobre os neurônios aferentes tipo I.

- Glutamato: associado à lesão celular da senescência (apoptose/presbiacusia?).

Inibitórios: - Dopamina: proteção das CCI e NC VIII em situações de exposição a ruídos intensos.

- Óxido Nítrico: vasodilatador coclear e libera acetilcolina e glutamato.

d) Ações do Sistema Eferente

Não são totalmente conhecidas. Algumas delas foram descobertas através de experimentos com animais, entre elas:

- Modular a atividade das CCE: o sistema eferente inibe a contração mecânica das CCE,

portando diminuir as otoemissões acústicas. Ocorre provavelmente pela liberação de GABA e dopamina e leva à proteção da via auditiva.

- Diminuição do potencial de ação do NC VIII em ambientes silenciosos e aumento do

potencial em ambientes ruidosos, aparentemente contribuindo na percepção sonora eletiva para melhorar a discriminação sonora.

- Aumento do microfonismo coclear.

- Diminuição do potencial endococlear.

- Diminuição do potencial de somação.

BIBLIOGRAFIA

1. Hungria, H. *Otorrinolaringologia*. Oitava edição, 2000, 299-318.

2. Miniti, A; Bento RF; Butugan, O. *Otorrinolaringologia Clínica e Cirúrgica*. Segunda edição, 2000, 77-100.

3. Mills, JH; Adkins. *Anatomy and Physiology of Hearing*. In Bailey, JB *Head and Neck*

Surgery-Otolaryngology, 1993, 1441-146.

4. Abbas, PA; Miller, CA. *Physiology of the Auditory System*. In Cummings, *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 1993, vol 4, 2831-2867.

5. Verchen, S. *Encyclopédie Medico-Chirurgicale Otorrinolaringologiae*, vol 1, 2000.

7. Lopes Filho, O. *Anatomofisiologia Clínica dos Órgãos da Audição*. In Otacílio & Campos,

8. Oliveira, JA. *Fisiologia Clínica da Audição – Cóclea Ativa*. In Otacílio & Campos, *Tratado de Otorrinolaringologia*, 1994, 510-530.

ANATOMOFISIOLOGIA VESTIBULAR

O ouvido interno é dividido em labirinto anterior e posterior.

O labirinto posterior é composto por dois sistemas de cavidades ósseas: os canais semicirculares e o vestíbulo. Localiza-se no osso temporal e contém em seu interior o labirinto membranoso.

O aparelho vestibular funciona continuamente, inclusive durante o sono, de forma inconsciente. A assimetria da resposta labiríntica, seja pela estimulação excessiva ou pela Hipoestimulação, leva a vertigem, nistagmo e reflexo vagal que são sensações conscientes.

Funções do labirinto Vestibular:

- 1) Transformar as forças provocadas pela aceleração da cabeça e da gravidade em um sinal biológico.
- 2) Informar os centros nervosos sobre a velocidade da cabeça e sua posição no espaço.
- 3) Iniciar alguns reflexos necessários para a estabilização do olhar, da cabeça e do corpo.

Todas essas funções são importantes para o equilíbrio (capacidade de manter a postura apesar de circunstâncias adversas). Além do aparelho vestibular periférico, o equilíbrio é também determinado pelos olhos, com sua percepção das relações espaciais, pelos interoceptores (músculos, tendões, articulações, vísceras,...) e pelos esteroceptores da pele.

1. Anatomia do vestíbulo e dos canais semicirculares:

1A. Vestíbulo Membranoso: O vestíbulo é uma pequena cavidade colocada entre a cóclea e os canais semicirculares. É composto por duas vesículas, o utrículo e o sáculo, também chamados de órgãos otolíticos. O utrículo é maior e ocupa a parte superior do vestíbulo, o sáculo é inferior e menor. Uma pequena área de revestimento do utrículo e do sáculo se diferencia em órgão

sensorial, a mácula. A mácula do utrículo é chamada lápulus, e a do sáculo, rágata. O lápulus fica na superfície inferior do utrículo, quase horizontal e desempenha um papel importante na determinação da orientação da cabeça quando a pessoa esta ereta, enquanto a rágata está localizada no plano vertical e é importante para o equilíbrio quando a pessoa está em decúbito.

As máculas apresentam células ciliadas sensoriais intercaladas por células de sustentação. Cada mácula é recoberta por uma camada gelatinosa, na qual estão mergulhados os otólitos, formações de carbonato de cálcio. As milhares de células ciliadas projetam cílios para dentro da camada gelatinosa. O peso dos otólitos inclinará os cílios em direção a força da gravidade.

O sáculo é ligado ao ducto coclear pelo canalículo de Hensen.

Do utrículo e do sáculo originam-se ductos que vão se unir para formar o ducto endolinfático. Este atravessa o aqueduto vestibular (um estreito canal ósseo) e termina no saco endolinfático, uma pequena dilatação em fundo cego recoberta por Dura-mater.

O saco endolinfático tem duas funções: equilibrar a pressão entre sistema vestibular e sistema nervoso central e absorver endolinfa.

1B. Líquidos do labirinto: A endolilnfa é incolor, semelhante aos líquidos intracelulares (rica em K^+ , 120 a 150 mmol/l, e pobre em Na^+ , 1 a 2 mmol/l, além de possuir glicose e proteínas) e preenche o labirinto membranoso. Sua secreção é feita em algumas regiões do epitélio labiríntico, especialmente na estria vascular, com possível controle hormonal.

A perilnfa localiza-se entre o labirinto membranoso e o ósseo com função de amortecer as vibrações ósseas. Sua composição é semelhante a do líquido extracelular, sendo o Na^+ o principal cátion e Cl^- o principal ânion.

1C. Canais Semicirculares: Os canais semicirculares são três de cada lado, denominados de superior ou anterior, lateral ou horizontal e posterior ou frontal. Estão dispostos em ângulo reto uns em relação ao outro, de modo que representam todos os três planos do espaço. Cada canal tem uma extremidade dilatada chamada de ampola e uma extremidade não ampolar. As extremidades não ampolares dos canais posterior e superior se unem antes de chegarem no vestíbulo, onde se abrem em um orifício comum.

Os canais laterais fazem um ângulo de 30° com o plano horizontal, quando a cabeça esta na posição ortostática. Sua ampola localiza-se na porção anterior do canal.

Ambos os canais laterais estão no mesmo plano horizontal, formando um par funcional.

O canal posterior e superiores estão em um plano vertical, formando um ângulo de aproximadamente 45° com o plano sagital.

O canal superior de um lado faz par funcional com o canal posterior do lado oposto.

O epitélio dos canais semicirculares se diferencia em órgãos sensoriais, denominados cristas ampolares. As cristas ocupam um terço do diâmetro das ampolas, e são formadas por um pequeno conjunto de células de sustentação e células ciliadas altamente diferenciadas. A crista é recoberta pela Cúpula, uma estrutura gelatinosa composta por mucopolissacarídeos, que se estende à parede oposta da ampola e atua como um meio elástico que pode ser deformado pelo movimento da endolinfa.

A célula ciliada é o elemento receptor do labirinto vestibular. Esta célula é présináptica ao nervo vestibular, composto de neurônios bipolares, cujos corpos celulares localizam-se no Gânglio de Scarpa. Cada neurônio bipolar envia um processo periférico (pré-ganglionar) para uma ou mais células ciliadas, e um processo central para as estruturas do tronco encefálico.

As células ciliadas tanto da crista ampolar quanto da mácula podem ser de dois tipos: Tipo I, de formato arredondado e envolto por várias terminações nervosas e Tipo II, de formato cilíndrico e com uma única terminação nervosa.

Na superfície apical das células ciliadas, tanto tipo I quanto tipo II, estão os cílios.

Para cada célula ciliada existe um cílio diferente dos outros, o cinocílio, que é único, emerge do corpo da célula e se coloca na periferia do tufo de estereocílios. Os estereocílios variam de tamanho. Aqueles juntos ao cinocílio são maiores, e diminuem de comprimento a medida que dele se afastam. Os cílios das células ciliadas nas cristas dos canais semicirculares são paralelos aos eixos dos canais, estando o cinocílio sempre na mesma extremidade de cada célula.

2. FISILOGIA DOS CANAIS SEMICIRCULARES E DO VESTÍBULO

O sistema vestibular detecta a posição e o movimento da cabeça no espaço pela integração das informações dos receptores periféricos localizados no ouvido interno.

As células sensórias do labirinto posterior transformam energia mecânica que resulta dos movimentos ciliares em sinal biológico.

Os canais semicirculares são responsáveis pela mensuração de acelerações angulares, causadas pela rotação da cabeça ou do corpo. Cada ducto tem um máximo de sensibilidade ao movimento angular, em um eixo perpendicular à sua posição. Um movimento voltado para a máxima excitação de um membro do par funcional, produz a máxima inibição do outro membro. Como os movimentos rotatórios da cabeça não ocorrem apenas nos planos exatos dos canais, mais de um par deve ser excitado concomitantemente pela maioria dos movimentos.

Com o movimento rotatório da cabeça, há movimento uniforme da endolinfa no sentido contrário, porém com velocidade igual ao do ducto semicircular. Na parada da cabeça, a endolinfa, por inércia, continua a deslocar-se no mesmo sentido até deter-se.

Isso resulta em pressão na cúpula que se deflete e movimenta os cílios que nela penetram.

Nos canais superiores e posteriores o cinocílio localiza-se na extremidade não utricular da ampola, e no canal lateral na extremidade utricular. Todo esse arranjo estrutural desempenha papel relevante na fisiologia vestibular, pois permite que a célula ciliada responda de maneira diferente conforme a direção de movimentação dos cílios.

O movimento dos esteriocílios sobre cinocílio leva a despolarização da célula ciliada, com aumento da liberação de neurotransmissores e, portanto, aumento do estímulo da fibra aferente. Entretanto, a movimentação dos cinocílios sobre os esteriocílios leva a hiperpolarização da célula, com redução da liberação de neurotransmissores e menor estímulo nas fibras aferentes.

As correntes endolinfáticas nos ductos semicirculares podem ser ampulípetas, que se dirige do arco do ducto para a ampola, ou ampulífugas, que se dirige da ampola para o arco do ducto. Nos canais laterais as correntes endolinfáticas ampulípetas flexionam os esteriocílios sobre o cinocílio, em direção ao utrículo, causando despolarização elétrica das células ciliadas e conseqüente excitação das neurofibrilas. Já as correntes endolinfáticas ampulífugas flexionam o cinocílio em direção ao arco do canal e acarretam hiperpolarização elétrica, com inibição das neurofibrilas. Nos canais semicirculares superior e posterior verificam-se o contrário. As Leis de Ewald procuram explicar esse fenômeno: no canal semicircular lateral, a corrente endolinfática ampulípetas desperta reflexos mais intensos que a ampulífuga; nos canais semicirculares superior e posterior a corrente ampulífuga provoca reflexos mais intensos. Por exemplo, ao se rodar a cabeça para o lado direito ocorrerá, por inércia, uma corrente ampulípetas à direita (lado da rotação) e ampulífuga à esquerda. Assim, ocorrerá despolarização celular de um lado e hiperpolarização no outro, configurando a resposta bidirecional.

O vestíbulo é responsável pela detecção de acelerações lineares, produzidas pela gravidade ou pelos movimentos do corpo e pelo equilíbrio estático do corpo no espaço.

O vestíbulo é excitado pelo deslocamento da membrana otolítica sobre a mácula, isto ocorre quando a cabeça e o corpo são deslocados seguindo uma linha, como se deslocar para frente ou para trás (ex: carro, avião), ou para cima e para baixo (ex: elevador).

Esses movimentos geram um fenômeno de tração da membrana otolítica sobre os cílios da mácula, ou ao contrário, geram um fenômeno de pressão. Sua resposta seria semelhante à dos canais semicirculares. É especialmente importante que as diferentes células pilosas estejam orientadas em todas as

direções possíveis nas máculas dos utrículos e dos sáculos, de modo que, em diferentes posições da cabeça, diferentes células pilosas podem ser estimuladas. Assim, a inclinação da cabeça em qualquer direção vai resultar em despolarização de algumas células utriculares e hiperpolarização de outras. Esse sinal complexo fornece ao cérebro uma medida acurada da posição da cabeça.

3. Nervo Vestibular:

O nervo vestibular possui dois ramos:

- 1) Ramo superior; proveniente do utrículo e dos ductos semicirculares superior e lateral.
- 2) Ramo inferior; proveniente do sáculo e do ducto semicircular posterior.

Ambos esses ramos possuem seus corpos celulares no Gânglio de Scarpa, próximo ao meato acústico interno. Cada gânglio de Scarpa possui aproximadamente 20mil células bipolares: os axônios periféricos, pequenos, inervam as células ciliadas e os centrais, muito maiores, terminam no tronco cerebral. Ambos os axônios e corpos celulares dos neurônios no Gânglio de Scarpa são mielinizados, uma vez que o potencial de ação se propaga diretamente através do corpo celular bipolar a partir dos ramos periféricos para os centrais.

O nervo vestibular se une ao nervo coclear para formar o nervo vestibulococlear.

Este, exclusivamente sensitivo, atravessa o meato acústico interno, juntamente com os nervos facial e o intermédio. Após deixar o meato, o nervo vestibulococlear penetra na ponte, em uma região chamada ângulo ponto-cerebelar. As fibras sensitivas seguem em direção aos núcleos vestibulares da ponte.

4. Núcleos Vestibulares:

As fibras provenientes do ramo vestibular do VII par craniano projetam-se principalmente sobre os núcleos vestibulares principais ipsilaterais.

Os núcleos vestibulares localizam-se no assoalho do IV ventrículo, na junção da ponte com a parte superior do bulbo.

São em número de quatro, ou seja, núcleos vestibulares lateral, mediais, superior e inferior.

1) Núcleo Vestibular Lateral ou Deiters: participa do controle da postura. Pode ser dividido em duas zonas conforme as suas afêrências

- Porção Rostroventral: recebe aferências do utrículo, sáculo e canal semicircular superior.

- Porção Dorsocaudal : aferências não labirínticas provenientes do cerebelo e da medula espinhal.

2) Núcleo Superior ou Bechterew: recebe aferências ampolares.

3) Núcleo Medial ou Schwalbe ou Triangular: recebe aferências ampolares e em menor quantidade utriculares.

Os núcleos superiores e mediais recebem fibras predominantemente dos canais semicirculares. Os neurônios do núcleo medial são predominantemente excitatórios, enquanto aqueles do núcleo superior são predominantemente inibitórios. Eles mandam fibras através do fascículo longitudinal medial para centro oculomotor e para medula espinhal.

4) Núcleo Descendente ou Inferior ou Roller: é responsáveis pela integração entre labirinto vestibular, cerebelo, formação reticular, medula espinhal e núcleos vestibulares contralateral. Recebe aferências dos canais semicirculares, utrículo, sáculo e verme cerebelar.

5. Vias Vestibulares Centrais:

Existem relações estreitas entre os núcleos vestibulares e diversas estruturas centrais como cerebelo, mesencéfalo (formação reticular pontomedular), tubérculos quadrigeminais, tálamo e córtex cerebral. Esses centros vestibulares também se conectam com os núcleos contralaterais, através das fibras comissurais, com os centros medulares e núcleos oculomotores, constituindo suporte anatômico dos reflexos vestibuloespinais e vestibulocular.

-Vias Comissurais: unem os núcleos homólogos e simétricos bilateralmente. Pode-se considerar que este sistema comissural é inibidor dos canais semicirculares e excitatório dos órgãos otolíticos, de modo geral. As relações comissurais incrementam a sensibilidade dos neurônios vestibulares aos movimentos da cabeça. Estas conexões ocorrem principalmente a partir dos núcleos superior e medial, conectados as vias vestibuloculares, estando diretamente implicadas no controle labiríntico cruzado do arco reflexo vestibulocular e na combinação dos movimentos oculares. A existência destas conexões explica o processo de compensação do lado oposto após uma hemilabirintectomia. Não se sabe exatamente como ocorre esta compensação, podendo ser por regeneração axonal a partir do lado oposto ou por aumento da eficácia das sinapses que permaneceram intactas. O desenvolvimento desta compensação é acelerado por exercícios físicos, estimulações visuais e estimulantes farmacológicos (anfetaminas).

Pode ser retardado por repouso ou drogas sedativas labirínticas.

-Vias Vestibuloespinais: são divididas em 3 fascículos.

Fascículo Vestibuloespinal Lateral: tem origem principal a partir do Núcleo Lateral (Deiters), com pequena contribuição de fibras do Núcleo Descendente, transportando informações utriculares e saculares. Distribui-se ipsilateralmente a todos os níveis medulares, com algumas fibras chegando à região lombossacral. Este fascículo exerce efeitos facilitadores sobre os

motoneurônios alpha e gamma dos músculos extensores ipsilaterais, influenciando a musculatura axial e distal e inibição dos músculos flexores ipsilaterais.

Fascículo Vestibuloespinal Medial: origina-se nos Núcleos Medial e Descendente com pequena contribuição do Lateral. É bilateral e seus neurônios terminam a nível cervical. Controla exclusivamente a musculatura axial, com influências facilitadoras ou inibidoras sobre os motoneurônios dos músculos cervicais. A estimulação dos canais semicirculares de um lado leva à inibição ipsi e excitação contralateral da musculatura flexora axial.

Fascículo Vestibuloespinal Caudal: origem no pólo caudal dos Núcleos Medial e Descendente e do Grupo Celular f, estendendo-se até a região lombar. Suas propriedades funcionais ainda não foram definidas.

-Vias Vestibulooculares: o Fascículo Longitudinal Medial envia fibras para os núcleos dos nervos oculares (Núcleo Abducente VI; Núcleo Troclear IV; Núcleo Oculomotor III). Algumas fibras terminarão no Núcleo Intersticial de Cajal, que é um núcleo oculomotor acessório, constituindo um conjunto de fibras correspondente à projeção vestibulomesencefálica.

6. Reflexos envolvidos na estabilização da cabeça no espaço

O estímulo dos receptores labirínticos desencadeia diversas respostas estereotipadas da cabeça e dos segmentos corporais:

Reflexos de direcionamento: originado nos órgãos maculares, detectam a posição da cabeça em relação à gravidade.

Reflexos de equilíbrio estático: origem macular. Corrigem a posição da cabeça durante as mudanças de sua posição fundamental em relação ao corpo, garantindo o ajuste do tônus da musculatura de sustentação cervical e dos membros, tendendo a manter a cabeça em posição horizontal, evitando quedas.

Reflexos de equilíbrio dinâmico: mantêm a sustentação cervical e corporal durante as mudanças súbitas de orientação no espaço, ou durante os deslocamentos corporais (equilíbrio cinético).

6A. Reflexos Vestibuloespinais

Reflexos vestibulares atuam no pescoço (Reflexo Vestibulocervical) e nos membros (Reflexo Vestibuloespinal) evocados por informações sensoriais a partir dos órgãos otolíticos e dos canais semicirculares. Estes órgãos informam o cérebro sobre a direção da gravidade e a aceleração produzida durante movimentos da cabeça nos planos horizontal e sagital. Estes reflexos são primariamente estáticos e deflagrados por posicionamento da cabeça em diferentes orientações em relação à gravidade. O Reflexo Vestibulocervical contrapõe movimentos da cabeça, mantendo-a estável. De modo geral, estes reflexos provocam deslocamento compensatório do segmento cefálico em sentido oposto ao da rotação do corpo. O Reflexo Vestibuloespinal contrai e

relaxa músculos dos membros, realizando pó exemplo, preparativos durante uma queda, com objetivo de redução do impacto.

6B. Reflexos Cervicocervical

A estabilização do olhar no espaço necessita da participação de aferências proprioceptivas musculoesqueléticas estimuladas pela mudança de orientação da cabeça em relação ao tronco. Estas informações provêm dos receptores articulares da coluna vertebral e dos fascículos neuromusculares, que são abundantes na musculatura cervical, e projetam-se, em sua maioria, sobre os Núcleos Vestibulares, especialmente o Medial, Lateral e Descendente. Assim, realizam a estabilização da cabeça em relação ao tronco através da contração dos músculos cervicais com origem nos receptores cervicais, diferenciando-se dos Reflexos Vestibulocervicais que têm origem no labirinto posterior.

Portanto, considera-se que esta informação proprioceptiva funcione em termos análogos a um “labirinto secundário” cervical.

7. Reflexos envolvidos na estabilização do olho no espaço

O sistema vestibular controla os movimentos oculares durante os deslocamentos da cabeça através do Reflexo Vestibulocular (VOR). O sistema visual estabiliza o olhar durante os deslocamentos do campo visual através do Reflexo Optocinético e, por último, o sistema proprioceptivo musculoesquelético, estimulado pelo deslocamento da cabeça em relação ao tronco também provoca um reflexo de estabilização do olhar através do Reflexo Cervicoocular.

7A. Reflexos Vestibulooculares (RVO ou VOR)

Consiste em produzir um movimento compensatório ocular no sentido oposto da movimentação da cabeça, cujo objetivo é manter uma visão adequada do campo visual durante os deslocamentos da cabeça. Pode ser originado em qualquer um dos canais semicirculares, produzindo o reflexo Vestibulocular angular (aVOR) ou nos órgãos otolíticos, produzindo o reflexo Vestibulocular Linear (IVOR).

São observados durante a rotação da cabeça, quando geram movimentos compensatórios dos olhos compostos por um deslocamento lento na direção oposta à da rotação da cabeça (Fase lenta ou vestibular) e movimentos sacádicos no sentido da rotação (Fase rápida ou central – compensação). O conjunto destes movimentos compõe o nistagmo vestibular. Vale ressaltar que a fase rápida dá a denominação do nistagmo, pois é mais facilmente visualizada.

Uma forma simples para verificar a importância desse reflexo é tentando ler este texto enquanto se movimenta o papel em um pequeno ângulo, poucas vezes por segundo. A leitura se torna impossível, pois os reflexos de perseguição ocular são muito lentos para garantir uma estabilidade visual satisfatória. Entretanto, se o papel se mantiver parado e a cabeça for movimentada, pode-se ler o texto com facilidade, porque, agora, os

movimentos relativos entre o alvo visual e a cabeça são compensados pelo Reflexo Vestibulocular, que move os olhos na mesma velocidade que a cabeça, porém em direção oposta. Se a movimentação da cabeça for muito vigorosa, a performance dinâmica do VOR pode ser excedida e a imagem ficar fora de foco.

Este reflexo corresponde a um arco reflexo trineuronal simples, formado pelas aferências vestibulares primárias, pelos neurônios vestibulares secundários do fascículo longitudinal medial e pelos motoneurônios que inervam a musculatura ocular extrínseca. Por isso, o VOR apresenta tempo de latência (tempo decorrido entre o movimento da cabeça e o início do movimento ocular) muito reduzido, em torno de 12 a 14 ms. Outras estruturas também estão envolvidas no VOR como aferências do flóculo cerebelar e da formação reticular.

Como exemplo, podemos utilizar o Reflexo Vestibulocular do canal semicircular lateral, que compensa a rotação horizontal da cabeça para um lado. A estimulação elétrica deste canal causa um desvio ocular bilateral, horizontal puro, para o lado contralateral. Este fenômeno ocorre através da excitação de neurônios do núcleo vestibular medial ipsilateral ao canal estimulado, que cruzam a linha média e excitam neurônios no núcleo abducente contralateral. Existem duas modalidades de neurônios no núcleo abducente: 1. neurônios motores que através do nervo abducente excitam o músculo reto lateral ipsilateral; 2. neurônios que os axônios cruzam a linha média e ascendem pelo fascículo longitudinal medial contralateral até o núcleo oculomotor, onde estimulam neurônios que seguem através do nervo oculomotor até o músculo reto medial. Um outro grupo de neurônios está no núcleo vestibular lateral que mandam seus axônios pelo o tracto ascendente de Deiters, até o núcleo oculomotor, de onde o estímulo também segue pelo nervo oculomotor até o músculo reto medial. Simultaneamente, os músculos oculares antagonistas são relaxados por vias inibitórias.

7B. Reflexo Optocinético

Permite a estabilização de imagens móveis do campo visual sobre a retina. Pode ser observado quando a cena visual esta se movendo continuamente diante dos olhos, tal como passagem de vagões do metrô e tambor optocinético ou de Bárány. Este tipo de estímulo faz com que os olhos se fixem em um ponto importante após o outro no campo visual, saltando de um para o outro duas a três vezes por segundo. Estes saltos são chamados de sacadas, assim, os movimentos oculares lentos na direção do deslocamento do objeto são interrompidos por movimentos sacádicos no sentido oposto. O conjunto destes movimentos caracteriza o Nistagmo Optocinético, cuja direção da fase lenta opõe-se à do VOR. No homem, o tracto óptico acessório, que desencadeia este reflexo, projeta-se para os núcleos pontinos e o sistema vestibular, além do cerebelo vestibular via Oliva Inferior.

Podem-se observar 2 tipos de sistema optocinético: Cortical (foveal)-associado ao sistema de seguimento (perseguição) e Subcortical- responsável pelo Nistagmo Optocinético, partindo da periferia da retina.

7C. Reflexo Cervicocular

Recebe aferências proprioceptivas musculoesqueléticas cervicais. Tem influência em movimentos oculares lentos, agindo sinergicamente com o VOR. Considerado isoladamente, tem papel pouco importante na estabilização do olhar. Entretanto, observa-se que, após lesão vestibular, há incremento importante no ganho deste reflexo, atenuando a deficiência da informação sensorial.

7D. Seguimento Lento ou Perseguição

Considerado um reflexo de estabilização do olhar, permite focalizar sobre a fóvea um objeto que se desloca. Este reflexo implica na existência de uma relação entre a velocidade do olho e a do objeto móvel (erro retiniano). Os movimentos de perseguição classicamente são considerados como os movimentos dos olhos realizados com a cabeça fixa. As vias implicadas nesta perseguição envolvem zonas corticais, cerebelo e a formação reticular paramediana pontina, correspondendo à Via Oculógira Posterior. Esta Via tem seu primeiro nervo na fóvea da retina, o segundo no tracto óptico, projetando-se nos corpos geniculados laterais e terceiro nas radiações ópticas, terminando nas áreas estriadas e paraestriadas do córtex visual primário. Lesões occipitais unilaterais alteram o seguimento lento no campo visual contralateral. Os movimentos de seguimento são lentos, automáticos e tendem a estabilizar a imagem sobre a retina. São considerados equivalentes ao Sistema Optocinético Cortical (Foveal).

8. Cerebelo

Órgão situado na fossa posterior craniana atrás do tronco cerebral, ao qual se conecta por três pares de pedúnculos cerebelares. Controla a atividade dos Núcleos Vestibulares através de quatro subunidades denominadas Cerebelo Vestibular – flóculo, nóculo, úvula e paraflóculo ventral. O lóbulo anterior e o núcleo fastigial conectam-se também ao núcleo de Deiters, mas não são consideradas áreas do Cerebelo Vestibular.

As aferências de origem vestibular podem ser diretas do labirinto, dirigindo-se ao lóbulo floclonodular ou indiretas, a partir do núcleo vestibular lateral, com predomínio ipsilateral.

O vestibulocerebelo controla e mantém o equilíbrio estático e a fixação da imagem sobre a retina durante os movimentos da cabeça. Lesões nessa região causam hipertonia de descerebração (liberação da influência vestibular sobre o tronco e músculos extensores), perturbação da posição ortostática e nistagmo, com instabilidade do olhar.

O Núcleo Fastigial através dos Fascículos Reticular e Vestíbuloespinal, controla os dispositivos motores da medula e, através das projeções reticulares, a oculomotricidade. Sua lesão leva a hipotonia axial e ataxia, alterações do equilíbrio dinâmico.

9. Projeção Vestibular Cortical

A existência de uma representação cortical do sistema vestibular foi sugerida por alguns autores por duas observações particulares:

1. Demonstração de potenciais evocados no córtex cerebral entre a área auditiva e sensorial somática após estímulo do labirinto de animais.
2. Demonstração em humanos de sensação de vertigem após estimulação direta do córtex do lobo temporal.

As áreas corticais relacionadas as representações do Sistema Vestibular são:

Córtex visual primário (17 de Brodmann), Córtex Temporal Medial e Súpero-Medial e Córtex Parietal Posterior e Frontal (8 de Brodmann).

Bibliografia

SEMINÁRIO FUNDAÇÃO ORL

1. Tratado de Fisiologia Médica, Arthur C. Guyton, John E. Hall, 9a ed.- capítulos 51 e 55 (pág. 596-597 e 640-644).
2. Principles of Neural Science, Eric R. Kandel, James H. Schwartz, Thomas M. Jessell, 4a ed.- capítulo 40 (pág. 801 a 8115).
3. Encyclopédie Médico-Chirurgicale, JP. Sauvage, S. Orsel, R. Morin – capítulo Fisiologia vestibular (E-20-037-A-10)
5. Otorrinolaringologia, Helio Hungria, 8a ed. 2000 - capítulo 33 (pág. 319-323)