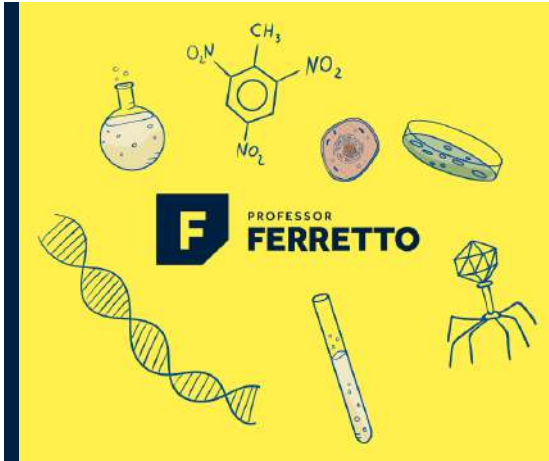


Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM



SISTEMA SENSORIAL

Enquanto os dois primeiros sistemas integradores tratam de coordenar a ação harmônica das várias células do corpo do animal entre si, o **Sistema Sensorial** trata de coordenar a ação do organismo como um todo com o meio ambiente. O sistema sensorial trabalha captando estímulos ambientais como luz, sons, substâncias químicas, frio, calor e outras. Isso permite o reconhecimento de condições mais favoráveis à manutenção do metabolismo ou à obtenção de alimento.

O sistema sensorial funciona através de **receptores sensoriais** capazes de perceber os estímulos ambientais. Esses receptores sensoriais podem apresentar duas origens histológicas. Alguns deles são neurônios modificados originando células epiteliais especiais, sendo denominados nesse caso de **células neurosensoriais**, e outros são células epiteliais especializadas conectadas a neurônios, sendo denominados nesse segundo caso de células **epitélio-sensoriais**.

Os receptores sensoriais podem ser classificados em três grupos de acordo com a origem dos estímulos percebidos:

- **interoceptores**: são aqueles localizados nos órgãos internos que percebem variações de pressão arterial (barorreceptores como nos nódulos aórticos e seios carotídeos) ou teores de substâncias químicas nos fluidos corporais (quimioceptores para detecção do teor de CO_2 e pH), bem como dor (nociceptores).

- **proprioceptores**: são receptores especiais situados no interior dos músculos e que transmitem ao cérebro estímulos **indicativos do grau de contração ou relaxamento muscular**. É graças aos proprioceptores que você pode deduzir a altura a que elevou o pé ao subir um degrau, mesmo sem olhar para baixo. Também

ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Sistema sensorial](#)
- [Visão](#)
- [Olho humano](#)
- [Defeitos de visão](#)
- [Olfato](#)
- [Paladar](#)
- [Tato](#)
- [Áudio e equilíbrio](#)
- [Orelha humana](#)
- [Audição em humanos](#)
- [Equilíbrio em humanos](#)

são os proprioceptores que lhe permitem saber quando a sua bexiga está cheia ou quando o seu intestino tem conteúdo para eliminar.

- **exteroceptores**: são os receptores sensoriais espalhados pela superfície corporal, que percebem os estímulos ambientais; como mecanoreceptores e pressoreceptores de tato, termoreceptores, mecanoreceptores sonoros (fonoceptores) de audição, quimioceptores de paladar e olfato e fotoreceptores de visão.

VISÃO

A visão é o sentido responsável pela percepção de luz. Às vezes, apenas variações na intensidade luminosa podem ser percebidas. Em alguns seres, entretanto, essa percepção é de tal modo eficiente que formas e eventualmente cores são também percebidas.

EVOLUÇÃO DA VISÃO

Estigma ou mancha ocelar

Organismos como bactérias e plantas possuem estruturas fotossensíveis na forma de pigmentos presentes na membrana plasmática, mas não se pode falar em estruturas visuais. A primeira estrutura fotossensível especificamente designada para captação de luz é o chamado **estigma ou mancha ocelar** presente em Euglenas, organismos unicelulares autótrofos fotossintetizantes.

Ocelos

Animais invertebrados inferiores como cnidários, platelmintos, nematelmintos, moluscos e anelídeos apresentam o que se pode chamar de os primeiros órgãos visuais, os ocelos, muito bem caracterizados em

planárias. Ao contrário de olhos que são estruturas que captam variações de luminosidade bem sutis, permitindo distinção de formas e às vezes de cores, os ocelos distinguem apenas intensidade luminosa, percebendo por exemplo onde há mais ou menos luz.

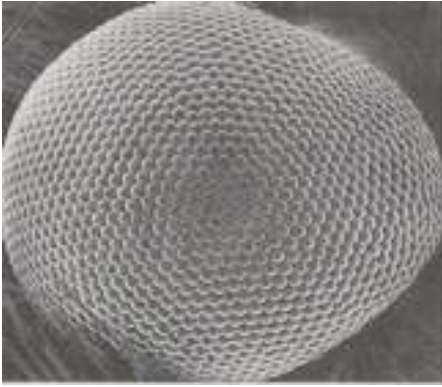
Olhos compostos

Alguns invertebrados como os insetos possuem **ocelos** e além deles estruturas denominadas **olhos compostos**, formados cada qual por inúmeros omatídios. Cada omatídio é dotado de uma **lente quitinosa**, protegida em sua base por **células pigmentadas** que controlam a penetração da luz, e um eixo nervoso denominado **rabdoma ou retina**, que converte os estímulos luminosos em sinais elétricos para a formação das imagens. Cada omatídio no olho composto fabrica sua própria imagem de maneira que, imaginem, é como se você tivesse milhares de imagens simultaneamente formadas nas mais diversas direções (já que os olhos compostos têm omatídios apontados em todas as direções possíveis graças à sua localização na cabeça, com um ângulo de

visão de 360°). Além disso, estes olhos compostos são bem mais rápidos do que o olho humano, por exemplo, que só capta algo em torno de 50 quadros por segundo contra 300 de insetos (um filme que você esteja assistindo, que lhe parece ser uma imagem contínua parecerá uma sucessão rápida de quadros para a barata que está comendo o bombom que você esqueceu na cadeira ao lado nas partes mais emocionantes do filme). Apesar disso, a imagem é bem mais nítida para o olho humano do que para o olho composto dos insetos (e por isso provavelmente ela não está nem aí para o referido filme e sim para o seu bombom...). Esta maior velocidade do olho de insetos e a maior amplitude de visão são alguns dos motivos que explicam por que moscas são tão difíceis de serem pegas.



Cabeça de percevejo evidenciando seus dois olhos compostos, cada um deles formado por milhares de omatídios.



Fotomicrografia eletrônica de varredura de olho composto, mostrando em detalhe os omatídios.

OLHOS DE CEFALÓPODES E VERTEBRADOS

Outros invertebrados como moluscos cefalópodes (lulas e polvos) e vertebrados em geral possuem **olhos** bem mais complexos. Os peixes têm olhos aparentemente muito míopes, o que entretanto é adequado ao meio aquático em que vivem. Algumas aves, como os falconiformes, possuem duas máculas lúteas, o que aumenta em muito a precisão e definição da imagem. Muitos vertebrados, como cães, gatos e bovinos, não têm visão em cores (o touro irrita-se com o agitar da capa do toureiro, mas procede da mesma forma quer a capa seja vermelha ou azul – o vermelho é usado apenas para disfarçar o sangue... do touro ou do toureiro). Isso porque não há cones no olho. O fenômeno é dito **discromatopsia total**. Curiosamente, os insetos, que são animais evolutivamente mais antigos, têm visão em cores normalmente.

A posição dos olhos é em parte determinada pelos hábitos da espécie. Animais predados têm olhos lateralmente, o que amplia o campo de visão. Animais predadores possuem olhos frontais, proporcionando **visão estereoscópica**, em três dimensões com apurado senso de profundidade.

OLHOS DE CEFALÓPODES E VERTEBRADOS

Outros invertebrados como moluscos cefalópodes (lulas e polvos) e vertebrados em geral possuem **olhos** bem mais complexos. Os peixes têm olhos aparentemente muito míopes, o que entretanto é adequado ao meio aquático em que vivem. Algumas aves, como os falconiformes, possuem duas máculas lúteas, o que aumenta em muito a precisão e definição da imagem. Muitos vertebrados, como cães, gatos e bovinos, não têm visão em cores (o touro irrita-se com o agitar da capa do toureiro, mas procede da mesma forma quer a capa seja vermelha ou azul – o vermelho é usado apenas para disfarçar o sangue... do touro ou do toureiro). Isso porque não há cones no olho. O fenômeno é dito **discromatopsia total**. Curiosamente, os insetos, que são animais evolutivamente mais antigos, têm visão em cores normalmente.

A posição dos olhos é em parte determinada pelos hábitos da espécie. Animais predados têm olhos lateralmente, o que amplia o campo de visão. Animais predadores possuem olhos frontais, proporcionando **visão estereoscópica**, em três dimensões com apurado senso de profundidade.

OLHO HUMANO

A visão na espécie humana é captada pelos **globos oculares**, que ficam alojadas nas arcadas orbitárias e se movimentam com o auxílio de vários músculos inervados por três dos doze pares de nervos cranianos: o oculomotor (par III de nervos cranianos), o abducente (par IV) e o patético ou troclear (par VI). O nervo responsável pela visão é o **nervo óptico (par II)**. Cada globo ocular é formado por três envoltórios: a **esclerótica**, a **coroide** e a **retina**.

ESCLERÓTICA

Tecido conjuntivo fibroso que, em alguns peixes, tem natureza óssea. Tem finalidade estrutural e de proteção. Na parte anterior do globo torna-se muito fina e delicada, a ponto de se tornar transparente, constituindo assim a **córnea**. É envolvida como um todo pela **membrana conjuntiva**, que quando irritada origina a famosa conjuntivite.

COROIDE

Também é tecido conjuntivo, muito vascularizado e com células muito pigmentadas. Desempenha o papel de parede negra da câmara escura de máquinas fotográficas – absorver o excesso de luz que penetra no recinto. Na parte anterior do olho, a coróide torna-se visível por trás da córnea transparente e recebe o nome de **íris**. É a pigmentação da íris que dá cor ao olho. No centro da íris há um orifício circular, a pupila. A íris possui fibras musculares lisas ao redor da pupila que são inervadas pelos nervos do SNA simpático (que levam a **midríase**, ou seja, dilatação da pupila) e do SNA parassimpático (que levam a miose, contração da pupila). A íris, através da pupila, age como diafragma de uma máquina fotográfica, controlando a quantidade de luz que entra no olho. Cada vez que um indivíduo passa de um ambiente claro para um escuro, sofre uma midríase. Quando passa do escuro para o claro, sofre miose. Quando ocorrem lesões cerebrais, esse reflexo pupilar deixa de existir. Os anestesiologistas frequentemente testam esse reflexo em seus pacientes, durante uma anestesia geral.

RETINA

É o envoltório mais interno do globo ocular. Tem estrutura nervosa e, numa pequena área da parte posterior da câmara escura do olho, apresenta uma pequena depressão, a **mácula lútea** (mancha amarela). É nesse ponto que a luz, depois de atravessar todas as estruturas do olho, deve chegar. Se a imagem projetar fora desse lugar, não será percebida. No centro da mácula lútea situa-se a **fovea centralis**. Os neurônios que se distribuem na mácula lútea classificam-se, entre outros, em dois tipos importantíssimos, os cones e os bastonetes.

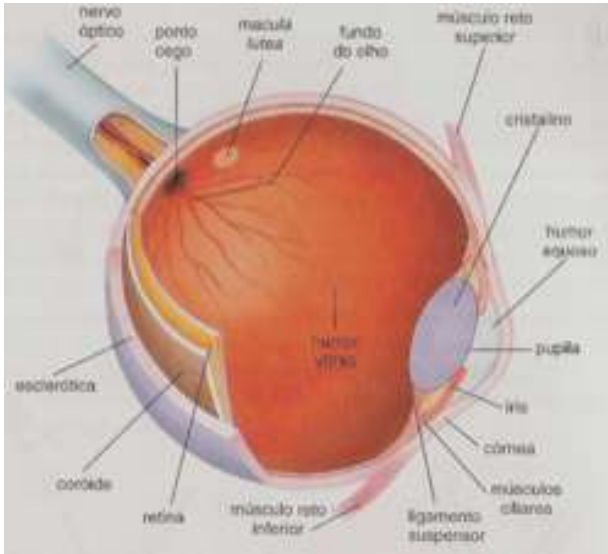
Os **cones** localizam-se na fovea centralis e são menos sensíveis à luz que os bastonetes, porém os distinguem em comprimentos de onda mais diversos. Eles nos permitem ver as cores determinadas pelos comprimentos de onda entre 390 nm (violeta) e 760 nm (vermelho). Abaixo e acima desses limites, ultravioleta e infravermelho, a luz é invisível ao olho humano. Cães, gatos e bovinos, como citado antes, não possuem cones. A percepção de cores é feita por pigmentos fotossensíveis denominados fopsinas. Há cones para três cores em humanos: azul, vermelho e verde. Todas as outras cores são captadas por estimularem cada um dos três com determinada intensidade. Na falta de algum deles, haverá **daltonismo ou cegueira para cores**.

Já os **bastonetes** se organizam na periferia da mácula lútea e são muito sensíveis à luz, porém só percebem contrastes de claro e escuro. O pigmento utilizado, a rodopsina, é derivado da vitamina A. Por isso, em ambientes de pouca luz, só esses neurônios conseguem captar o estímulo luminoso; porém, em tal circunstância, vemos com pouca percepção as cores. Pelo fato de os bastonetes ficarem na periferia da mácula lútea, distinguimos uma estrela bem diminuta com a periferia do campo visual. Procure ver uma estrela muito pequena. Você conseguirá vê-la melhor se não a olhar de cheio.

Um fato curioso é que os cones e bastonetes têm suas extremidades fotossensíveis voltadas para a coróide, isto é, como se estivessem de costas para a luz. Assim, a luz tem que atravessar toda a retina (com outras camadas de neurônios) e se refletir na camada pigmentada (última camada da coróide) para só então sensibilizar cones e bastonetes. Olhos azuis refletem melhor a luz, tendo surgido em regiões de altas latitudes e de baixa luminosidade. Olhos negros absorvem melhor a luz em excesso, sendo mais adequados

em regiões bem iluminadas.

Na camada de células pigmentadas da coróide de felinos e ruminantes, encontram-se cristais de guanina que refletem melhor a luz, facilitando a visão no escuro. Em face dessa circunstância, decorre um fenômeno muito conhecido que é a fosforescência dos olhos desses animais quando se encontram no escuro e têm uma fonte de luz à sua frente.



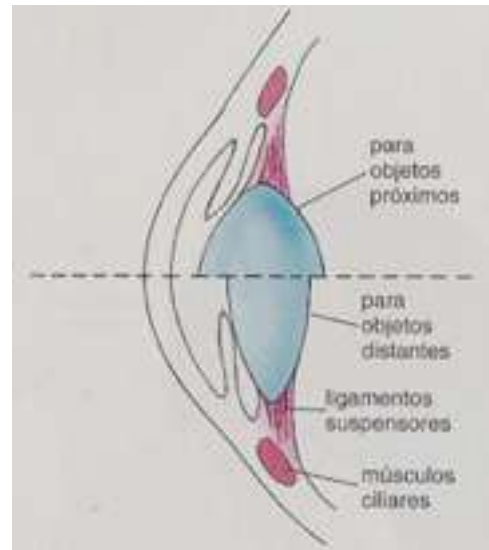
O globo ocular. A luz deve atravessar a córnea, a câmara anterior (com humor aquoso), a pupila, o cristalino, o humor vítreo e projetar-se na macula lútea.

CRISTALINO: A LENTE DO OLHO

Logo abaixo da córnea, por trás da íris, encontra-se o cristalino, um corpo gelatinoso transparente que funciona como a lente do olho, biconvexa. Entre o **cristalino** e a córnea, o espaço é preenchido por um fluido denominado **humor aquoso**. Atrás do cristalino, o fluido que preenche o globo ocular é denominado **humor vítreo**.

O cristalino é sustentado por **ligamentos suspensores e músculos ciliares** (que nada têm a ver com os cílios das pálpebras). A contração desses músculos determina o aumento no diâmetro ântero-posterior do cristalino. O relaxamento dos músculos ciliares promove o efeito contrário. Assim, o cristalino se acomoda, localizando a imagem convenientemente na *fovea centralis*. Na idade avançada, ele perde essa capacidade de acomodação e a imagem não é mais satisfatoriamente projetada sobre a retina. É o que se

chama "**vista cansada**" ou **presbiopia**.



Acomodação do cristalino.

O CAMINHO DA LUZ ATÉ A RETINA

A sequência dos componentes do olho que vão sendo sucessivamente atravessados pela luz, desde sua superfície até o fundo do olho, é:

córnea (parte central transparente da esclerótica) → humor aquoso → pupila (abertura da íris) → humor vítreo → retina

DEFEITOS DE VISÃO

GLAUCOMA

O termo **glaucoma** se refere a um grupo de doenças que atingem a retina e a danificam permanentemente, causando uma atrofia progressiva do campo visual, que pode progredir para visão subnormal ou cegueira. O principal fator de risco para o glaucoma é a **pressão intraocular elevada**, não existindo contudo uma relação causal direta entre um determinado valor da pressão intraocular e o aparecimento da doença; enquanto uma pessoa pode desenvolver dano no nervo com pressões relativamente baixas outra pode ter pressão in-

traocular elevada durante anos sem apresentar lesões. A causa mais de glaucoma é a obstrução do escoamento do humor aquoso, o que justifica a elevação da pressão intraocular, sendo frequentemente assintomático até que ocorra danos à retina e redução do campo visual.

O glaucoma é a causa mais comum de cegueira na espécie humana, podendo ser controlada com o uso de colírios específicos.

CATARATA

Na **catarata**, o cristalino perde a transparência pelo acúmulo de proteínas defeituosas em sua estrutura, se tornando translúcido e em último caso, opaco. A troca do cristalino ou a destruição das proteínas defeituosas por tratamentos a laser podem ser procedimentos a serem tomados para a correção da doença.

PRESBIOPIA OU VISTA CANSADA

A **presbiopia ou vista cansada** é uma condição relacionada ao envelhecimento normal do humano, na qual ocorre perda da flexibilidade do cristalino e/ou degeneração dos músculos ciliares, resultando na impossibilidade de ajustar adequadamente o foco da visão.

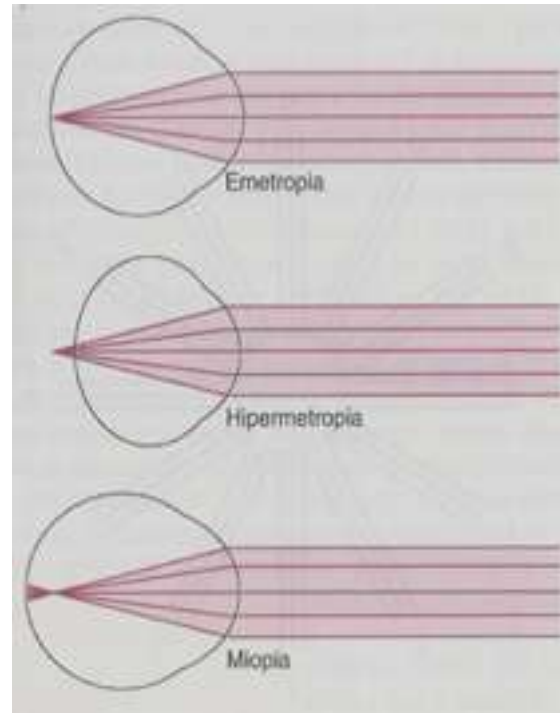
A correção da presbiopia se faz através do uso de **lentes bifocais**, nas quais uma região da lente apresenta o foco adequado para objetos próximos e outra região da lente apresenta o foco adequado para objetos distantes.

MIOPIA E HIPERMETROPIA

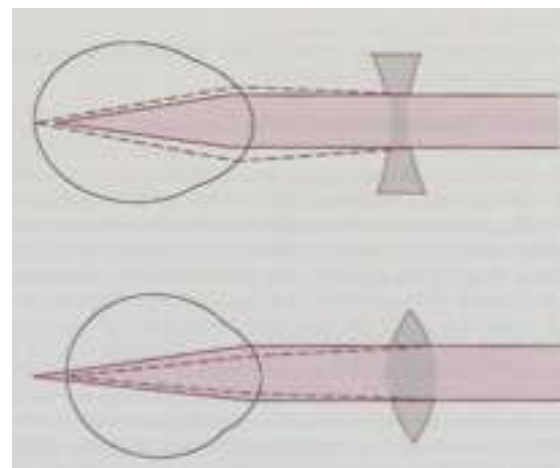
O globo ocular pode ter um **diâmetro antero-posterior** maior que o normal, seja por um aumento no seu eixo longitudinal, seja por uma maior curvatura da córnea ou do cristalino. Quando isso acontece, a imagem enfocada de um objeto à frente não cai exatamente na retina, mas antes dela, isto é, fora de foco. Para ver "de longe", o indivíduo tem de usar lentes divergentes. Essa anomalia é a miopia. A cirurgia corretiva pode ser feita acomodando a curvatura do globo ocular para uma posição adequada.

Na **hipermetropia** sucede o contrário. O olho

tem um **diâmetro antero-posterior menor** do que o normal. A imagem projeta-se depois da retina. O cristalino tem dificuldade em focalizar a imagem de um objeto próximo (dificuldade de ver "de perto"). A correção é feita com **lentes convergentes** que trazem a imagem para a mácula lútea.



Olho emétrepe (normal), olho hipermétrepe e olho míope.



Correção da miopia com lente côncava e correção da hipermetropia com lente convexa.

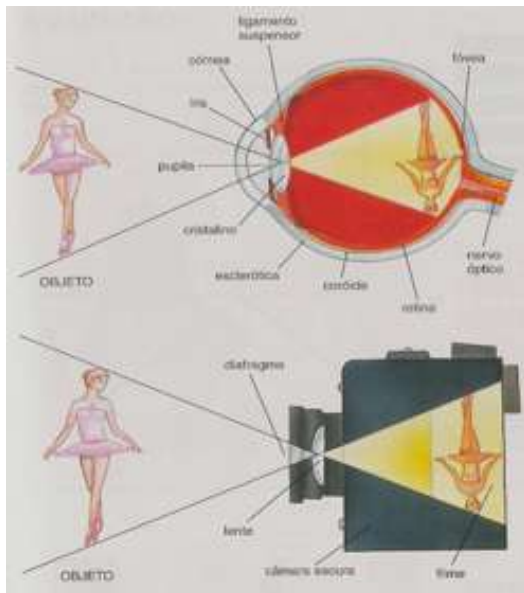
ASTIGMATISMO

Quando a curvatura da córnea é **imperfeita**, ocorre o **astigmatismo**. Neste caso, a visão de um ponto resulta em imagem dupla com superposição. A correção é feita com **lentes cilíndricas**.

COMPARAÇÃO ENTRE OLHO E MÁQUINA FOTOGRÁFICA

O globo ocular tem muita similaridade com uma máquina fotográfica. Inclusive, a imagem projetada na retina é invertida. No entanto, ao ser “interpretada” no cérebro, ela é recolocada na posição do objeto. Veja as analogias:

Máquina fotográfica	Globo ocular
Diafragma	Íris com pupila
Lentes	Cristalino
Câmara escura	Interior do olho
Filme ou sensor	Retina com pigmentos visuais



Esquema representando a comparação entre o globo ocular e a máquina fotográfica.

OLFATO

O sentido do **olfato**, ou seja, a captação de substâncias químicas no ar, é percebido em invertebrados através de receptores químicos espalhados pela pele. Às vezes, eles se concentram em determinadas áreas corporais, como as **aurículas** de planárias e as **antenas** e **cerdas** de insetos. Nestes animais, é difícil deparar o sentido do olfato do paladar.

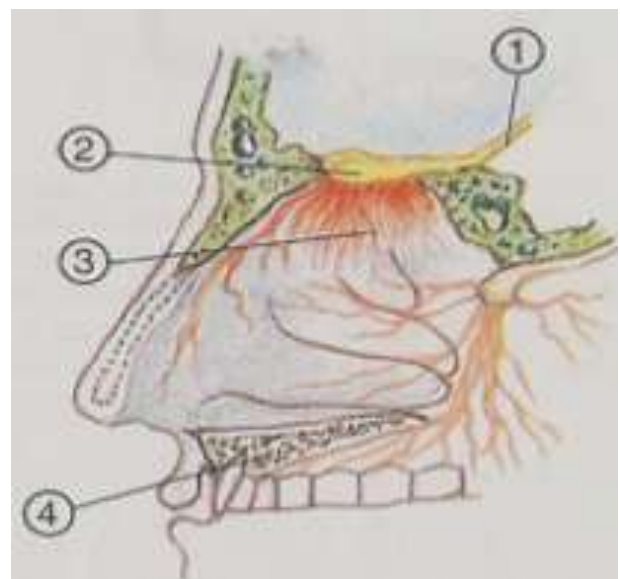
Em vertebrados, os carnívoros e as aves de rapina têm o olfato muito apurado, sendo chamados

de **macrosmáticos**. O homem e os demais primatas têm um olfato bem menos acurado, sendo considerados **microsmáticos**. Já cetáceos como as baleias e os golfinhos simplesmente não têm olfato, sendo ditos **anosmáticos**.

Em humanos, a olfação se dá pela **mucosa pituitária**, localizada no teto das **fossas nasais**. O nome pituitária indica uma relação com a glândula hipófise ou pituitária: ambas têm origem na ectoderme e estão separadas apenas por uma fina parede óssea do osso esfenóide (lembra dele? É ele que compõe a base do crânio e tem uma cela túrcica onde a hipófise se encontra).

Na sua parte mais anterior, a mucosa pituitária é vermelha e recebe a denominação de **pituitária respiratória ou vermelha**, tendo o papel de umedecer e aquecer o ar que entra nas fossas nasais, o que facilitará os trabalhos de trocas gasosas nos pulmões.

A porção mais posterior da pituitária é amarela e é formada por neurônios junto a células epiteliais, constituindo a **pituitária olfativa ou amarela**. As células nervosas têm seus dendritos terminando em botões que agem como quimioceptores. Eles captam moléculas trazidas pelo ar e transmitem as informações percebidas ao **nervo olfativo (par I)**, que as levará até a região adequada do cérebro de modo a haver a interpretação dos estímulos captados.



1. nervo olfativo; 2. bulbo olfativo; 3. ramificações do nervo olfativo atravessando a lâmina crivada do osso etmoide; 4. osso maxilar superior.

A hipótese mais aceita para explicar o funcionamento da olfação é chamada de mecanismo de **osmorrecepção**, segundo a qual os quimioceptores para o olfato percebem as formas tridimensionais de sete categorias de moléculas, sendo cada uma destas categorias responsável por um determinado odor. É um mecanismo semelhante à especificidade enzimática pelo modelo chave-fechadura, só que agora entre as substâncias odoríferas e os receptores para o olfato.

Os sete odores fundamentais, equivalentes às sete formas tridimensionais percebidas pelos quimioceptores, são: acre ou penetrante, almíscar, cânfora, éter, floral, menta e pútrido. Muitas substâncias voláteis têm moléculas complexas capazes de cair em diversas posições, encaixando-se, assim, em diferentes tipos de receptores. A combinação de estímulos diferentes simultaneamente justificaria a imensa variedade de odores que se pode sentir.

Apesar disso tudo, apenas o odor mais intenso será percebido. Assim, a eliminação de cheiros desagradáveis utiliza um princípio denominado de **mascaramento**: a utilização de um odor agradável mais forte evita que se perceba o odor fétido ao nível do cérebro, que só processa uma informação olfativa por vez, ou seja, a mais forte delas.

PALADAR

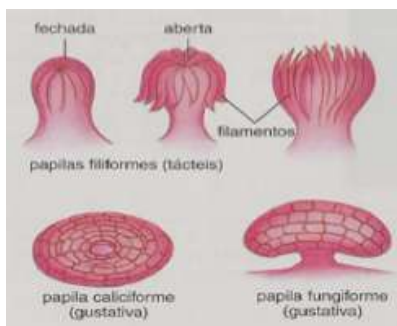
O sentido do **paladar ou gustação**, ou seja, a captação de substâncias químicas dissolvidas na água, é proporcionado por estruturas denominadas **papilas gustativas** localizadas principalmente na **língua**. De modo semelhante ao que ocorre para o olfato, as papilas gustativas possuem quimioceptores, denominados de corpúsculos de gosto, capazes agora de reconhecer cinco sabores específicos: **doce, salgado, azedo, amargo e umami**. O umami está relacionado a um aditivo culinário conhecido como glutamato, que tem, então, receptores em particular para si, sendo descrito muitas vezes como sendo o “sabor das proteínas”.

Na verdade, há dois grupos fundamentais de papilas: as papilas tácteis e as papilas gustativas.

As papilas tácteis são também chamadas de papilas filiformes, ou seja, finas e alongadas, e contêm filetes nervosos para perceber impressões de tato na língua, como a textura do alimento. As papilas gustativas, essas sim, percebem os sabores. Elas são inervadas por ramificações nervosas derivadas do nervo glossofaríngeo (par IX) e podem ser de dois tipos:

- **papilas fungiformes**, em forma de cogumelo e distribuídas por toda a língua nas superfícies laterais e superior; elas são responsáveis por perceber os gostos **doce, salgado, azedo e umami**;
- **papilas valadas** ou **caliciformes**, em forma de cálice, bastante grandes e dispostas na parte mais posterior da língua, formando um "V" lingual; elas são responsáveis por perceber o gosto **amargo**.

A combinação da percepção da textura do alimento e do gosto do mesmo possibilita a distinção de milhares de sabores diferentes.



É interessante perceber que os sentidos de olfato e paladar estão intimamente relacionados, grande parte do sabor de um alimento vem do seu cheiro. Isso é facilmente percebido quando se utilizam aromatizantes em alimento, que conferem a ele uma alteração em seu sabor. Ou então quando se está com o nariz congestionado, quando os alimentos se tornam insípidos devido à não percepção de seu cheiro. Ou ainda quando a mãe quer empurrar um remédio amargo goela abaixo do filho e manda ele apertar o nariz com os dedos para não perceber quão amargo é o remédio.



Locais de percepção mais acentuada para cada um dos quatro sabores fundamentais na língua.

TATO

O sentido do **tato** é o único que se distribui por toda a superfície do organismo, ou seja, por toda a superfície da pele. As estruturas sensoriais presentes na derme são **corpúsculos** (formados por epitélio modificado) ou **terminações nervosas livres** (formados por prolongamentos de neurônios).

- **corpúsculos de Krause**: medem cerca de 0,03 mm, sendo os menores corpúsculos da pele; são sensíveis ao toque e ao frio;
- **corpúsculos de Ruffini**: também medem cerca de 0,03 mm, sendo também os menores corpúsculos da pele; são sensíveis ao toque e ao calor;

- **corpúsculos de Váter-Pacini**: de localização profunda na pele, são os maiores corpúsculos da pele tendo formato ovoide e medindo cerca de 4 mm e são sensíveis a pressões fortes;
- **corpúsculos de Meissner**: de localização superficial na pele, medem cerca de 0,1 mm; são sensíveis ao toque e às pressões leves;
- **terminações nervosas livres**: não são encapsuladas em corpúsculos; são sensíveis à dor: elas transmitem ao córtex cerebral os estímulos dolorosos. Essas terminações não distinguem, entretanto, a natureza do estímulo, reagindo da mesma forma quer seja excitação de natureza física, química ou mecânica. A sensação de queimadura por uma brasa em nada difere da produzida por um ácido ou por um forte beliscão com uma pinça.

ÁUDIO E EQUILÍBRIO

É difícil separar os sentidos de audição e equilíbrio na espécie humana, uma vez que ambos estão relacionados com os ouvidos. Em invertebrados, entretanto, esta separação pode ser feita.

EVOLUÇÃO DOS SENTIDOS DE AUDIÇÃO E EQUILÍBRIO

Em organismos invertebrados aquáticos como cnidários e moluscos, há órgãos denominados estatocistos responsáveis pela sensação de equilíbrio. Cada estatocisto é uma estrutura esférica forrada por cílios com pedrinhas de calcário, os estatólitos. Os cílios captam a posição dos estatólitos, o que dá a orientação espacial.

O sentido de audição em animais mais simples

está relacionado a mecanorreceptores que levam à captação de vibrações no ar como nas **cerdas de insetos** e estruturas denominadas de **membranas timpânicas** localizadas nas articulações das patas desses mesmos animais.

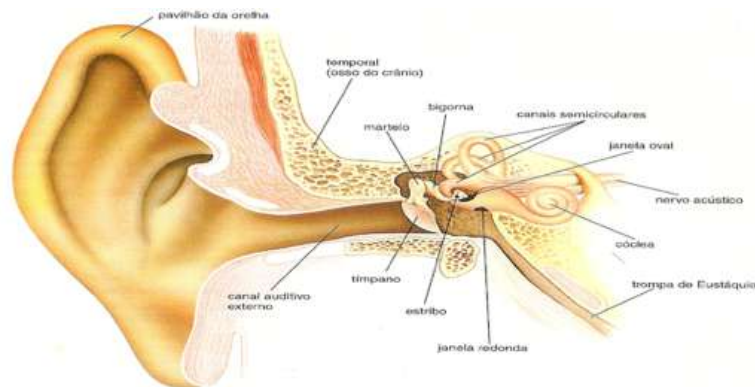
Nos vertebrados, os sentidos de audição e equilíbrio passam a ser desempenhados em conjunto por um ouvido. Os peixes já possuem um **labirinto com canais semicirculares** e uma **lagena**, estrutura correspondente ao caracol, porém não é enrolada em espiral. Nos peixes, a **linha lateral**, uma faixa pigmentada no sentido do comprimento, a cada lado do tronco, encobre canais internos contendo células ciliadas denominadas neuro-mastos. Por aberturas nessas faixas, a água circula pelos canais internos e transmite as vibrações sonoras que se transmitem pela água, graças à linha lateral.

Só a partir dos répteis é que a cóclea toma sua

trajetória efetivamente helicoidal. Nas aves, começa-se a notar um pavilhão auricular precário. Mas a orelha (pavilhão auricular) só se desenvolve mesmo nos mamíferos.

ORELHA HUMANA

Em humanos, a orelha (antigamente denominada ouvido) é o órgão responsável não apenas pela audição como também pelo equilíbrio. A orelha está dividida em três áreas: orelha externa, média e interna.



ORELHA EXTERNA

A **orelha externa** é composta pelo **pavilhão auricular** (aquilo que nós normalmente chamamos de orelha) e pelo **canal auditivo** que conduz ao ouvido interno. Nele, há pelos e glândulas produtoras de cera (cerume) para retenção de partículas de poeira que adentrem a área.

ORELHA MÉDIA

A **orelha média** é separada do ouvido externo por uma fina membrana denominada tímpano. Essa área do ouvido abriga também três ossículos articulados, um canal denominado trompa de **Eustáquio** (ou **tuba auditiva**) e uma comunicação com o ouvido interno.

O som que penetra pelo canal auditivo faz com que o **tímpano** vibre, e estas vibrações são transmitidas aos três ossículos, primeiro o **martelo**, e depois então a **bigorna**, e por fim o **estribo**, que transmite as vibrações ao ouvido interno. A função do tímpano e dos três ossículos é **amplificar as vibrações do som** no ar, para que estas se tornem perceptíveis ao ouvido interno.

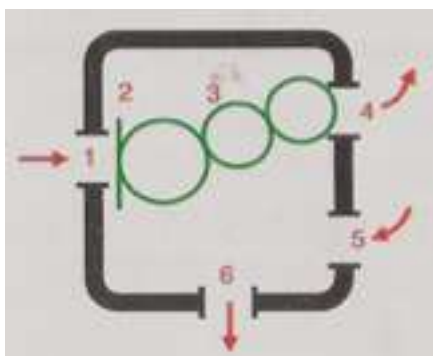


Diagrama da orelha média. 1. primeira abertura da caixa timpânica; 2. tímpano; 3. cadeia de ossinhos; 4. segunda abertura do ouvido médio - janela oval (acesso ao ouvido interno); 5. janela redonda; 6. abertura para a trompa de Eustáquio.

A trompa de Eustáquio tem dupla função: dissipar o som depois que ele volta do ouvido interno e, principalmente, igualar a pressão do ouvido médio com o ouvido externo (que tem a mesma pressão do meio externo). Caso esta pressão esteja diferente, o tímpano dobra, o que é bastante doloroso e, em último caso, pode romper a membrana timpânica. Em aviões, ao se decolar ou pousar, a dor no ouvido é devido à diferença de pressão sobre o tímpano. Ao mascar chiclete, por exemplo, haverá um estímulo da trompa de Eustáquio promovendo decompressão e aliviando a dor.

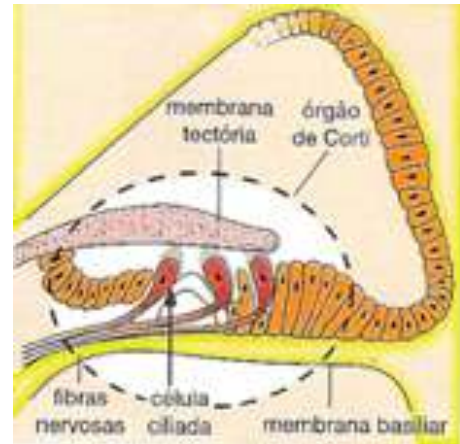
ORELHA INTERNA OU LABIRINTO

A **orelha interna** ou **labirinto** é formada pela **cóclea**, relacionada à audição, e pelo **aparelho vestibular**, relacionado ao equilíbrio.

A cóclea ou caracol possui uma entrada, em contato com o ouvido interno, denominada **janela oval**, e uma saída, também em contato com o ouvido médio, denominada janela redonda. Entre a janela oval e a redonda, por dentro da cóclea, há a membrana basilar, sobre a qual se encontra o **órgão de Corti**, ligado ao **nervo vestibulo-coclear (par VIII)** e capaz de converter som em impulsos nervosos para serem interpretados pelo cérebro. A partir da janela oval, sobre a membrana basilar, há dois canais preenchidos por um **líquido**, a **perilínfa**, sendo estes canais ditos **escala vestibular (superior)** e **escala média (média)**, separados pela membrana tectórica. A escala vestibular e a timpânica vão até o fim da membrana basilar e se continuam abaixo dela, agora com o nome de **escala timpânica**, e que termina na janela redonda. (A sequência seria: escala vestibular, membrana tectórica, escala média, membrana basilar, escala timpânica). Os cílios do órgão de Corti estão ligados à membrana tectórica (atravessam, pois, a perilínfa na escala média). E enquanto a membrana basilar é rígida, a membrana tectórica é móvel, podendo se deslocar com a vibração da perilínfa.

AUDIÇÃO EM HUMANOS

O som, conduzido pelo canal auditivo, faz vibrar o tímpano, que transfere as vibrações para os três ossículos (com função de amplificar a sensação sonora, lembra?) e daí a partir do estribo então para a janela oval, que as transmitem para a perilínfa, que vibra também. **A vibração da perilínfa nas escalas vestibular e média faz com que a membrana tectórica vibre, puxando os cílios do órgão de Corti a ela ligados. Os cílios então convertem a vibração do som (perilínfa/membrana tectórica) em sensação sonora** no componente auditivo do nervo vestibulo-coclear. As vibrações da perilínfa são então dissipadas a partir da escala timpânica pela janela redonda.



Detalhes do órgão de Corti. Veja como os cílios de algumas células percebem as vibrações da membrana tectórica.

INTENSIDADE SONORA E FREQUÊNCIA SONORA

A percepção da **intensidade do som**, medida em decibéis (db) é devido ao número de cílios excitados. A partir de 80-90 db, o som pode promover lesões permanentes nos cílios dependendo do tempo de exposição ao som. A partir de 110-120 db, as lesões são irreversíveis não importa quão pequeno seja o tempo de exposição (um avião a jato decolando ou um show qualquer estando próximo às caixas de som passam facilmente dessa intensidade; cuidado!). Sons exageradamente altos destroem os cílios do órgão de Corti, impossibilitando a captação de sons.

A **altura (frequência) do som**, medida em Hertz (Hz), é determinada pelos cílios excitados: na base do órgão de Corti, **esses cílios são curtos e tensos, o que lhes permite vibrar mais, captando sons muito agudos (alta frequência); no fim, esses cílios são longos e pouco tensos, o que lhes faz vibrar menos, captando sons mais graves (baixa frequência)**; ao longo do órgão de Corti o tamanho e a tensão vão gradativamente alterando. O ouvido humano capta sons de 16Hz a 20.000Hz (abaixo disso, infrassom, acima disso, ultrassom). Cães, por exemplo, podem ouvir até os 30.000Hz.

EQUILÍBRIO EM HUMANOS

Em vertebrados, o mecanismo é bem parecido, sendo os órgãos de equilíbrio situados no ouvido interno, no que chamamos **aparelho vestibular ou labirinto**, composto de sáculo, utrículo e canais semicirculares.

Sáculo e utrículo são semelhantes aos estatocistos, com cílios e pedrinhas denominadas **otólitos ou otocônias**. Essas estruturas são relacionadas ao equilíbrio menos refinado, já que os otólitos têm muita inércia.

Canais semicirculares são um conjunto de três canais em semicírculo, com dilatações nas bases chamadas **ampolas**. Cada conjunto de três canais possui um canal em cada uma das três dimensões. No interior dos canais há cílios (concentrados principalmente nas ampolas) que percebem a posição de um líquido aí presente, a endolinfa. Como o líquido tem inércia menor, percebe variações muito sutis da posição corporal.

Ao se parar bruscamente de rodopiar, sente-se a sensação de tontura e pode-se até perder o equilíbrio. Isso ocorre porque, ao rodopiar, a **endolinfa** irá se mover. Ao parar, como ela tem baixa inércia, a endolinfa continuará rodando. Isto faz com que o olho e o labirinto passem informações diferentes ao sistema nervoso. A interpretação contraditória gera a sensação de tontura. Bailarinas têm um truque para não perder o equilíbrio nos seus rodopios: olhar fixo para um ponto minimiza a sensação de tontura que se poderia ter.

Tome nota: