

H7: Cellen om te zien, horen, ruiken en proeven

oppervlakkige, diepen en viscale waarneming: zie vorig hoofdstuk

Bijzondere waarneming: dit hoofdstuk

Zintuigreceptoren:

Aspecten van de stimulustransformatie:

1. RECEPTIE: stimulusenergie wordt opgevangen
2. TRANSDUCTIE: omzetting van stimulusenergie in receptorpotentiaal
3. CODERING: inputsignalen worden omgezet in een code van actiepotentialen

Zien

Visuele waarneming

Licht (elektromagnetische straling) passeert en treft het netvlies achteraan de oogbol



Wordt gefocust door het hoornvlies (=cornea) en de lens



Licht passeert de *glasachtige lichaam*= een viskeuze vloeistof die de holt in de oogbol opvult



Licht bereikt het netvlies (=retina) = een dunne sterk georganiseerde laag van 5 types van zenuwcellen die gelegen is aan de achterste binnenzijde van de oogbol

- axonen in lagen: niet gemyeliniseerd → doorzichtig → slecht minimale vervorming licht
- Op *fovea*: een plek op de retina waar cellichamen van retinale neuronen opzijgeschoven → licht kan de cellichamen ongehinderd bereiken
→ mensen bewegen voortdurend met hun ogen zodat beeld hierop gefocust w
- *Blinde vlek*: plaats waar de optische zenuw uit de oogbol treedt → geen fotoreceptoren

Nadat licht langs verschillende retinalagen gepasseerd is, bereikt het de *fotoreceptoren*



fototransductie: lichtprikkel → neuronale signalen



Neuronale signalen worden door de optische zenuw (= *nervus opticus*) naar de hersenen gestuurd



Signalen passeren langs het *chiasma opticum* waar een deel van de banen de middenlijn kruist



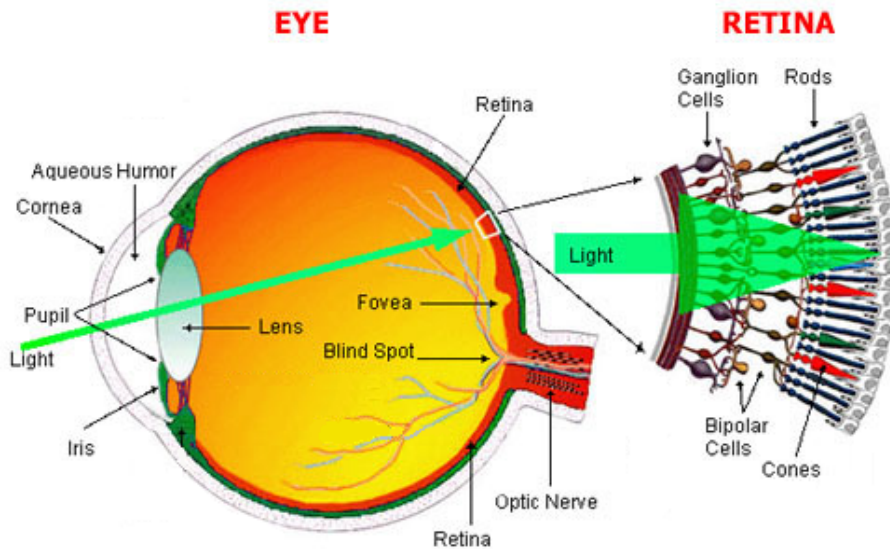
Signalen komen in de *tractus opticus* om een synaps te vormen met de cellen in de *nucleus geniculatus lateralis* van de thalamus



Signale projecteren naar de primaire visuele cortex in de hersenen



In hersenen: verdere verwerking & bewuste visuele perceptie



Staafjes en kegeltjes

*Retina: 2 types van fotoreceptoren

1. Staafjes:
 - bij schemering (nachtelijk zicht)
 - intensiteitverschillen licht/donker
2. Kegeltjes:
 - bij helder licht (zicht overdag)
 - kleurenzicht

*Kegeltjes en staafjes:

- Vuren GEEN actiepotentialen
- MAAR: reageren op licht met verandering in membraanpotentiaal

*Fotoreceptoren: 3 functionele delen

1. Buitenste segment:
 - Gespecialiseerd in **fototransductie**
 - Zijn gevuld met lichtabsorberend visueel pigment (*rhodopsine*)
 - 3 soorten kegeltjes verschillen qua gevoeligheid van hun visuele pigment



De 3 reageren op een ander gedeelte van het kleurenspectrum:

- a) S-kegeltjes → gevoelig voor korte golflengte → 420nm → blauw
- b) M-kegelstjes → “ “ middellange golflengte → 430nm → groen
- c) L-kegeltjes → “ “ lange golflengte → 560nm → rood

2. Binnenste segment: bevat cellichamen en biosynthetische elementen
3. synaptische uiteinden: maakt contact met targetcellen

Fototransductie

In het donker:

Fosfordiësterase weinig actief



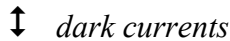
concentratie cGMP relatief hoog



cGMP-gated ionenkanaaltjes gaan open



wekken een depolariserende Na⁺-influx op



cGMP-onafhankelijke hyperpolariserende K⁺efflux

Deze tegenovergestelde stromen worden op peil gehouden door Na⁺/K⁺pomp en resulteren in een rustmembraanpotentiaal van

Lichtinval:

Inval van licht op de fotoreceptorcellen in retina



Visueel pigment *rhodopsine* wordt geactiveerd = activatie van pigmentmoleculen in de membraanschijven van buitenste fotocelsegment



Activatie een *G-proteïne (transducine)*



Transducine activeert het enzym *fosfordiësterase*



Fosfordiësterase breekt *cyclisch guanosine-monofosfaat* af (cGMP = second messenger)

Concentratie cGMP= bepaalt door 2 enzymen

1. Guanylaatcyclase → synthetiseert cGMP

Cytoplasmaconcentratie van cGMP zal dalen



cGMP-gated Na⁺ionenkanaaltjes sluiten + cGMP-onafhankelijke K⁺kanaaltjes open blijven



Na⁺-influx neemt af en cellen hyperpolariseren t.g.v. K⁺efflux tot ongeveer **-70mV**



Verminderde glutamaatvrijstelling



Relatief trage aanpassing (=adaptatie) aan fel licht

1. pupilgrootte neemt af → minder licht op de retina en fotoreceptoren
2. trage terugkeer naar rustmembraanpotentiaal
3. afnemende gevoeligheid (=desensitisatie) van de kegeltjes

DUS Fototransductie: 3 stappen:

- Pigment-activatie (rhodopsine): membraanschijfjes van buitenste segment
- Daling cytoplasmatische concentratie van cyclisch guanosinemonofosfaat (cGMP)
- Sluiten van cGMP-gated ionenkanalen

Bipolaire en ganglioncellen van de retina

Verticale transmissie elektrische signaal: Fotoreceptoren → Bipolaire cellen → Ganglioncellen
voeren het signaal naar de hersenen

+ Laterale beïnvloeding en modulatie door *horizontale* en *amacriene* cellen van retina

1) fotoreceptoren (staafjes en kegeltjes)

In het donker:

Fotoreceptoren zijn gedepolariseerd



Spanningsgevoelige Ca²⁺-kanalen gaan open



Ca²⁺-influx



Calciumafhankelijke vrijstelling van neurotransmitter *Glutamaat*

Na lichtinval:

Hyperpolarisatie fotoreceptoren



Spanningsgevoelige Ca²⁺-kanalen sluiten



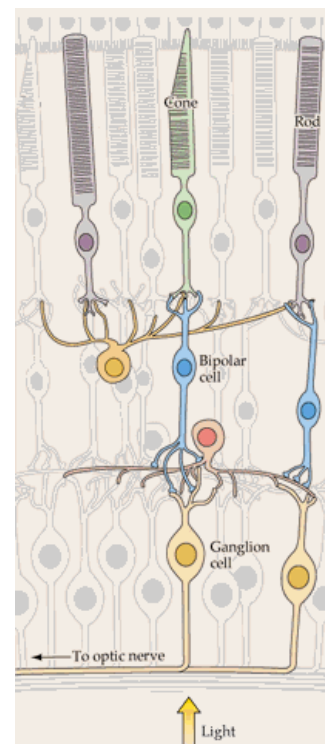
Ca²⁺-influx daalt



Vrijstelling Glutamaat neemt af



Er wordt een gradueel hyperpolariserend signaal doorgegeven aan de bipolaire cellen onder de vorm van een daling in de glutamatvrijstelling door de fotoreceptoren



2) **bipolaire cellen**; in bipolaire cellen wordt nog niet gesproken over actiepotentialen !!!

2 soorten bipolaire cellen:

1. off-center-cellen

Glutamaatafhankelijke Na⁺kanalen sluiten (daling Glutamaat)



Inhibatie door lichtinval

2. on-center-cellen

excitatie na lichtinval, maar op verschillende manieren:

- Sommige on-center-cellen

Afname glutamaatvrijstelling



Sluiting glutamaatafhankelijke K⁺kanalen



Kalium stroomt niet meer naar buiten



Cel depolariseert

- Andere on-center-cellen

Afname glutamaatvrijstelling



Deactivatie van cGMP-fosfodiësterase



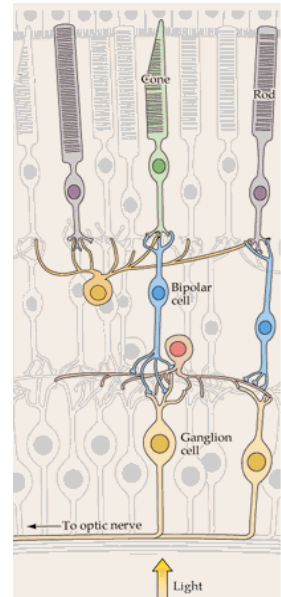
Second-messenger cGMP



cGMP-afhankelijke Na⁺kanalen openen



Cel depolariseert



Signalen van de bipolaire cellen worden doorgegeven aan de ganglioncellen

3) **ganglioncellen**

CODERING: graduele receptorpotentialen worden omgezet in **actiepotentialen**

- On-center-bipolaire cellen (depolariseren wnn licht op hun perceptieveld valt)

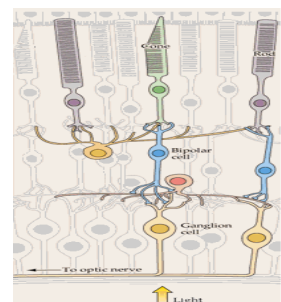


Depolariseren on-center-ganglionaire cellen tot actiepotentialen

- Off-center-bipolaire cellen (hyperpolariseren bij lichtinval)



Hyperpolariseren off-center-ganglionaire cellen



Dus: informatie-overdracht zicht

1. Fotoreceptorcellen
2. Bipolaire cellen
3. Ganglioncellen
4. **Nervus opticus** = optische zenuw
5. **Chiasma opticum** = waar de banen elkaar kruisen
6. **Thalamus**
7. **Primaire visuele cortex** = hersenschors (V1)

Horen

Geluidswaarneming

Cochlea



nervus cochlearis



hersenen

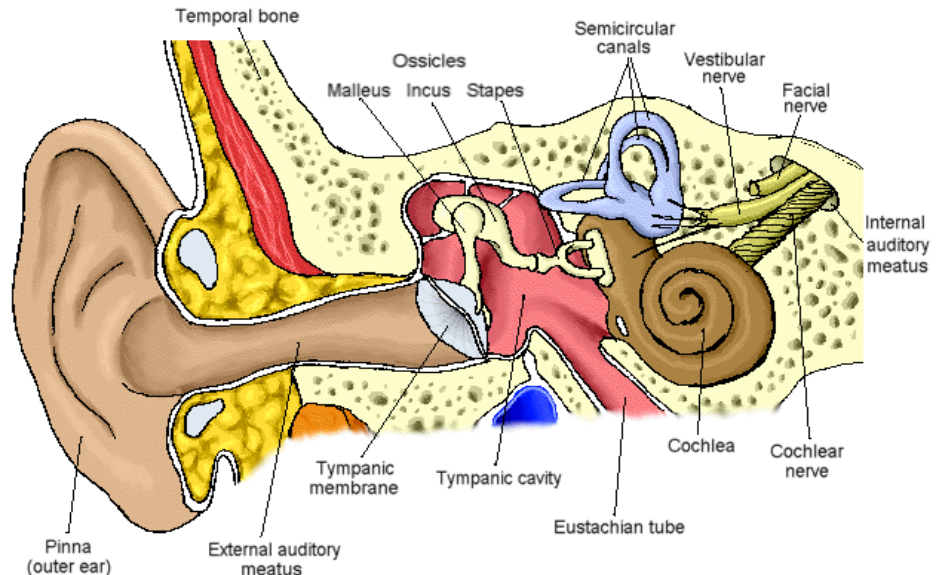
Geluid = luchtmoleculen

die bewegen door vibratie

van een object (stemvork, stem,...)

= hoorbaren geluidstrillingen of -golven: - Snelheid 300m/s

- Frequentie(=trillingen/seconden) 16-20 000Hz



Oor = zintuigorgaan dat instaat voor de sensorische transductie van geluidsenergie naar een elektrofysiologisch signaal dat in de hersenen verwerkt kan worden

– Buitenoor

- o Pinna (oorschelp): vangt geluid op & helpt geluiden lokaliseren
- o Meatus auditorius externa (uitwendige gehoorgang)
- o Tympana (trommelvlies): scheidt buitenoor en middenoor

– Middenoor

- o Met lucht gevulde holte
- o Buis van eustachius: luchttrillingen worden versterkt
- o Gehoorbeentjes: geven geluidstrilling door van trommelvlies naar ovale venster
 - Malleus (hamer): komt aan trommelvlies
 - Incus (aambeeld)
 - Stapes (stijgbeugel): past tegen ovale venster

– Binnenoor (in het os petrosum (rotsbeen) van de schedel)

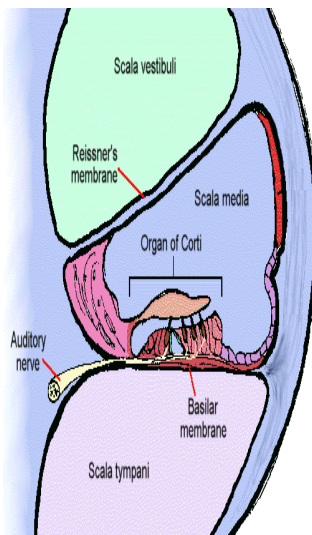
- o Ovale venster: klein membraan dat middenoor en binnenoor scheidt
- o Cochlea (slakkenhuis): geluidstrilling → vloeistoftrilling → zenuwimpuls
- o nervus cochlearis (gehoorzenuw)
- o Vestibulair apparaat: halfcirkelvormige kanalen van het evenwichtsorgaan

Cochlea

Cochlea = slakkenhuis

- vloeistoftrillingen → zenuwimpulsen
- bestaat uit 3 met vocht gevulde overlangse kanalen

1. scala vestibuli
 - o bovenste kanaal
 - o begint aan ovale venster
 2. scala tympani
 - o onderste kanaal
 - o eindigt aan het ronde venster
 3. scala media
 - o tussenin
 - o bevat het eigenlijke gehoorzintuig: *orgaan van corti*
 - o gevuld met *endolymfe*
- lopen via de *helicotrema*, ter hoogte van de *cochleaire apex* (uiteinden) in elkaar over
- zijn gevuld met *perilymfe*



Scala vestibuli

Membraan van Reissener = ionenbarrière tss perilymfe-vloeistof met hoge concentratie en endolymfe-

Scala media

ionenconcentratie

Basilaire membraan

Scala tympani

→ Doordat scala vestibuli en scala tympani verbonden zijn aan de top van de cochlea, zullen beide scala samen trillen. De trilling in de scala tympani zal het basilaire membraan doen trillen

Spectrale analyse van het geluid

Trillingen van stijgbeugel door ovale venster



Perilymfe-vloeistof in scala tympani wordt in beweging gezet



Vervorming van basilaire membraan

→ spectrale analyse van geluid, waarbij basilaire membraan een complex geluid opdeelt in zijn samenstellende frequenties

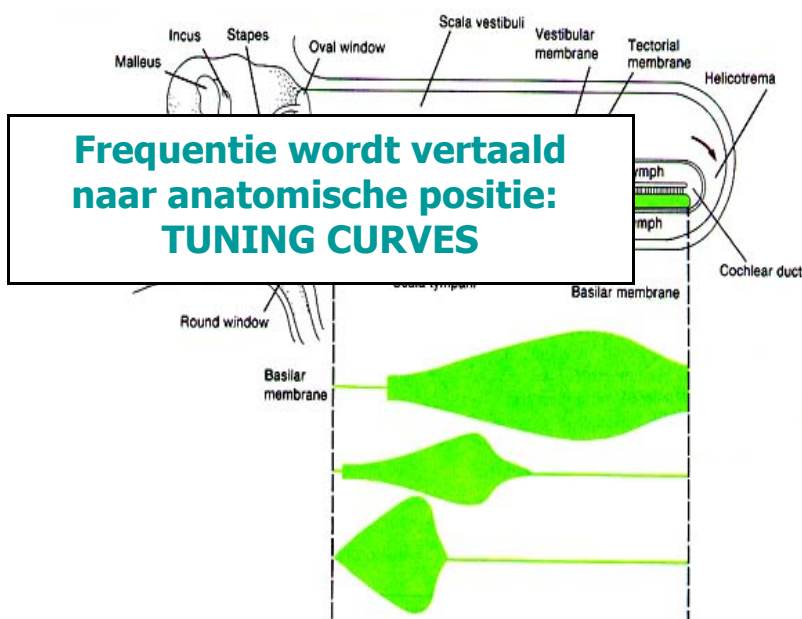
→ Zowel breedte als strakheid draagt bij tot maximale meetrilling van specifieke delen van basilaire membraan

- Basis v.d. cochlea, bij ovale venster: basilaire membraan is strak en gespannen
- reageert op hoge frequenties

- Top van de cochlea (=apex): basilaire membraan is breder en lossen
→ reageert op lage frequentie

Langs hele lengte van basilaire membraan: receptorcellen

- Verschillende frequenties van geluid worden door verschillende receptorcellen opgevangen
- De *tuningscurves* (frequentie-responscurve) van afzonderlijke receptorcellen langs basilaire membraan zijn V-vormig met een maximale gevoeligheid voor een specifieke frequentie. Deze frequentie = *karakteristieke frequentie* van een receptorcel



Orgaan van Corti

Orgaan van Corti:

- eigenlijke receptororgaan in

binnenoor

- ligt als een epitheellaag over de hele lengte van het basilaire membraan
- bevat ongeveer 16 000 *haarcellen* (=mechanoreceptoren)



leiden naar meer dan 30 000 afferente zenuwvezels



voeren info via de 8^{ste} hersenzenuw (=Nervus vestibulocochlearis) naar hersenen

- Parallel aan verschillende posities op basilaire membraan hebben haarvaten en zenuwvezels een optimale gevoeligheid voor welbepaalde frequenties: haarcellen zullen vooral receptorpotentialen genereren bij hun karakteristieke frequentie
- Orgaan van corti: staat in voor **signaaltransductie**

- o Tectoriële membraan = relatief onbeweeglijk dekvlies bovenop haarcellen
- o Top van elke haarcel: 500-1000 *stereocilia* die het tectoriële membraan raken
 - wnn tectoriële membraan beweegt t.o.v. basilaire membraan
 - cilia worden omgebogen
 - een receptorpotentiaal wordt opgewekt
 - Opwaartse beweging basilaire membraan: depolarisatie
 - Neerwaartse beweging: hyperpolarisatie
- o Haarcellen:
 - Binnenste haarcellen: een enkele rij van +- 3 500 cellen
 - Buitenste haarcellen: drie lagen van +- 12 000 cellen
- o Basilaire membraan

Vestibulair apparaat

*Evenwichtsorgaan → belangrijk voor:

1. lichaamsbeweging
2. lichaamshouding
3. perceptie van beweging/versnelling van hoofd en lichaam

Disfunctie evenwichtsorgaan → misselijkheid en duizeligheid

*Vestibulair apparaat bestaat uit

- 1) 3 booggangen of *halfcirkelvormige kanalen* die:
 - elke eindigen op een verdikking (ampulla) met crista ampullaris (gelei-achtige richel)
 - gevuld zijn met endolymfe
 - loodrecht op elkaar staan
- 2) 2 holtes:
 - a) utriculus
 - b) succulus

*Receptoren van vestibulair systeem liggen in benige labrynt van *os petrosum*.

Mechanoreceptoren in het vestibulair apparaat

*In de ampulla van de **booggangen** → de eigenlijke receptorcellen van het evenwichtsorgaan = vestibulaire haarcellen

- Mechanoreceptoren
 - Bedekt met gelatineuze substantie= *capula*
 - In capula: stereocilia van de haarcellen
- Wnn we ons hoofd bewegen



Endolymfe-vloeistof uit minstens 1 booggang zal tegen de capula aangestuwd worden



Stereocilia worden afgebogen

*De **sacculus** en de **utricleus** → bevatten ook haarcellen

→ Bevat met bewegelijke *stereocilia* en stijvere *kinocilium*

→ Deze zijn bedekt met gelatineuze massa

→ Op deze massa calciumcarbonaatkristallen (*otolieten*)

Wnn positieverandering van het hoofd

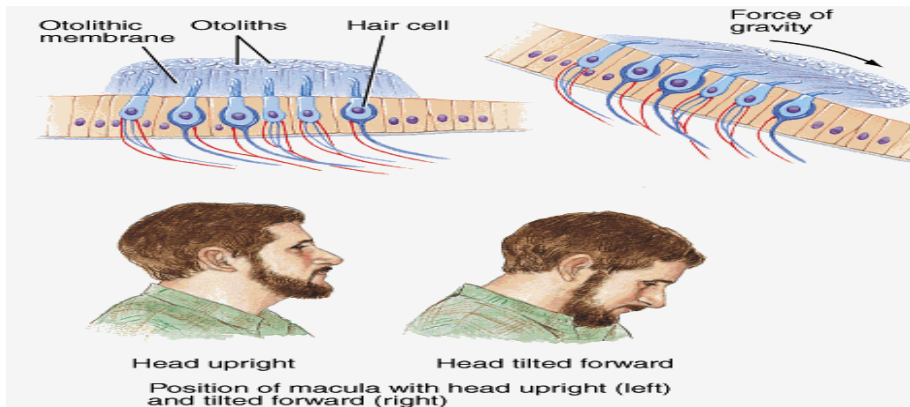


Otolieten doen stereocilia afbuigen onder invloed van de zwaartekracht



Graduele verandering in membraanpotentiaal = receptorpotentiaal

- Stereocilia naar kinocilium toe: depolarisatie haarcel
- Stereocilia van kinocilium weg: hyperpolarisatie haarcel



Mechano-elektrische signaaltransdu

ctie

Transductie van **geluid** en **evenwicht** → zelfde systeem

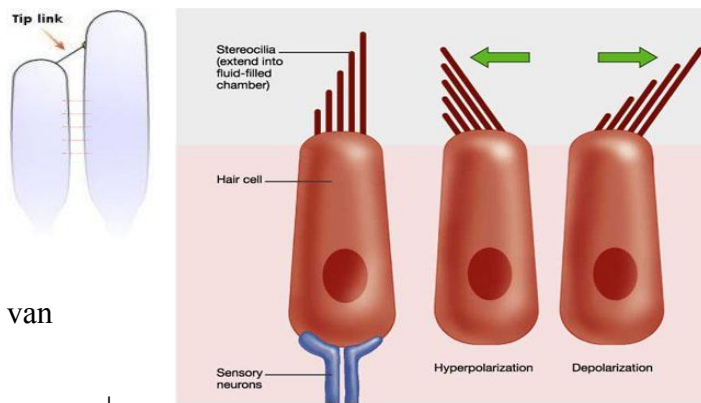
*Mechanische stimulus



d.m.v. trek- of drukgevoelige ionenkanalen (=stretch- or pressure-gated ion channels)



Receptorpotentiaal (in haarcel of andere mechanoeceptor)



**Tip links* = elastische verbindingen tussen 2 stereocilia (bovenaan de stereocilia)

Zorgen voor de mechanische opening kationenkanalen

van



In rust: ongeveer 15% van de ionenkanalen open & rustmembraanpotentialiaal -60mV

Opwaartse beweging van het basilaire membraan in de cochlea



Tip links worden uitgerekt: bijkomende opening van ionenkanalen



Opgevende vloeistof is rijk aan kationen: positief geladen ionen (K^+ en Ca^{2+}) stromen binnen in haarcellen



Depolarisering haarcellen

Neerwaartse beweging van het basilaire membraan in de cochlea (negatieve stimulus)



R Tip links worden verkort: sluiten de ionenkanalen die in rust openstaan

ui
ke
n



hyperpolarisatie

*Respons van haarcellen: gradueel: afhankelijk van

- Richting van stimulus
- Grootte van stimulus
 - wnn stimulusamplitude toeneemt
 - zal ook de receptorpotentialiaal toenemen
 - en worden er exciterende en inhiberende signalen naar de zenuwvezels gestuurd

Dus: informatie-overdracht geluid:

- Haarcellen
- Ganglion spirale
- Gehoorszenuw
- Primaire auditieve cortex

Ruiken

Geurwaarneming

Geur en smaak = chemische zintuigen

Geur

- = in de lucht opgenomen chemische stoffen
- Wordt waargenomen doordat geurreceptorcellen in het neusslijmvlies neuronale signalen naar de hersenen sturen

Reukepitheel

- Gelegen in het dorsale, posterieure gedeelte van de neurosholte
- bevat reukcellen en steuncellen
 - o reukcellen
 - bipolaire zenuwcellen met vrije zenuwuiteinden of dendrieten
 - In membraan van deze vrije uiteinden zitten *geurreceptormoleculen*, die door de signaaltransductie zorgen
 - Via lange axonen (=samen: *olfactorische zenuw*) projecteren de reukcellen op de *bulbus olfactorius* onderaan de hersenen
 - Van daaruit worden de signalen verder naar de hersenschors geleid

Signaaltransductie in het reukepitheel

Neusslijmvlies → reukcellen → dendrieten



Lopen naar de oppervlakte van het reukepitheel waar ze verbreden tot reukblaasjes

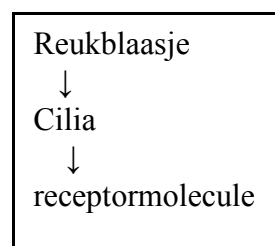


Reukblaasje dragen bundels van dunne, draadvormige cilia, die met behulp van geurreceptormoleculen reageren op geurstoffen



= chemoreceptoren

= eiwitten die zich in het membraan van de cilia bevinden



Geurstoffen dringen het neusslijmvlies binnen



In neusslijmvlies binden ze met de geurreceptormoleculen



Na binding van een geurstof ontstaat er een interactie tss de receptormolecule en een G-proteïne



Er komt een subunit van het G-proteïne vrij



G-proteïne activeert het enzym *adenylaatcyclase*



Dit enzym produceert cAMP (=een second messenger)



Zorgt ervoor dat cAMP-gevoelige kationenkanalen opengaan



Ca²⁺ en Na⁺ stromen naar binnen



Receptor depolariseert



Opgewekte receptorpotentiaal kan actiepotentialen opwekken in het axon van de reukcellen



Deze actiepotentialen worden doorgestuurd naar de *bulbus olfactorius*



Daarna naar de reukgebieden van de cerebrale

Basissmaken

Binnenkomende Ca²⁺ zal *calmoduline* activeren



Dit activeert fosfordiësterase



Dit zal de concentratie van cAMP terug laten dalen



Pr

oe

ve

n

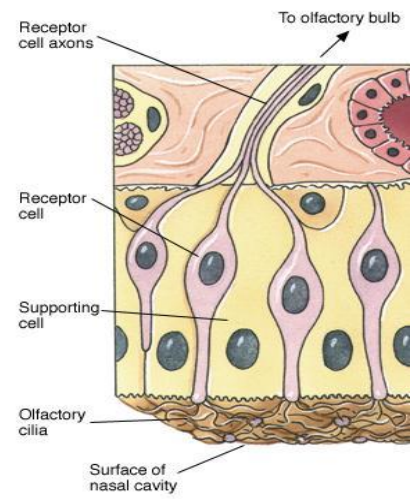
Dus zorgt Ca²⁺ ook voor de afbraak van de geurrespons



REUKCELLEN REAGEREN VOORAL OP EEN VERANDERING IN DE

Dus: informatie-overdracht reuk:

- Reukcellen
- Bulbus olfactorius
- Reukgebieden in cerebrale cortex



Proeven

Smaakwaarneming

Smaak = chemische waarneming waarbij in het speeksel opgeloste moleculen in de mondholte in contact komen met de smaakreceptoren op de tong



Smaakreceptoren/smaakcellen: - zitten in smaakknopjes in de wanden van de papillen (=uitstulpingen) op het tongepitheel of elders in de mond
- dragen microvilli op hun apicale uiteinden om hun contactoppervlakte te vergroten

Een smaakknop: bestaat uit steuncellen & receptorcellen / heeft aan het oppervlakte een opening

Papil → smaakknop → smaakcel

Chemische stimuli raken via de porie van de smaakknop bij de smaakreceptorcellen



Smaakreceptorcellen raken geprikkeld en depolariseren (receptorpotentiaal)



Deze depolarisatie kan leiden tot actiepotentialen



Actiepotentialen zorgen voor vrijstelling van neurotransmitters bij de synaps tss de basis van de smaakcel en de smaakvezels (axonbundels)



Smaakvezels komen samen in verschillende hersenzenuwen



Hersenzenuwen transporteren signalen naar *de nucleus solitarius* in de hersenstam

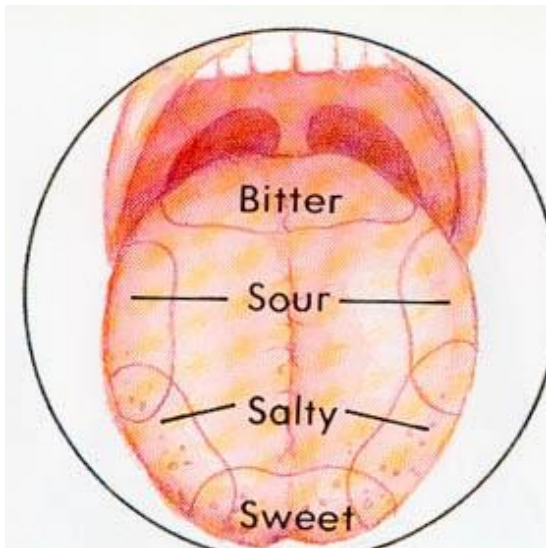


Van daaruit worden signalen verder geleid naar de thalamus en de smaakcortex

Basissmaken

4 basissmaken (+ recente nieuwe) : - corresponderen met verschillende chemische substantie
- hebben gevoelige smaakknoppen op versch. plaatsen op tong

1. zout → receptoren aan zijkanten van tong
 2. zuur → receptoren op hele zijkanten van tong
 3. zoet → receptoren op punt tong
 4. bitter → midden achteraan de tong
 5. umami = smaak van Glutamaat, vooral in eiwitrijk voedsel
- Bij hoge concentratie: smaken overal op de tong te proeven



Basissmaken gebaseerd op versch. smaakreceptoren in het membraan van de smaakcellen



Interactie smaaksuubstantie & receptoren beïnvloeden membraanpotentiaal en introduceren een receptorpotentiaal



Deze kan leiden tot het opwekken van neuronale signalen (actiepotentialen)

Signaaltransductie

Mechanismen van signaaltransductie: verschillende typen smaakreceptoren

1. zoute smaken → worden gemedieerd door Na^+ influx door specifieke ionenkanaaltjes gevoelig voor zoute smaken
2. zure smaken → door rechtstreekse, depolariserende influx van H^+ ionen of hun interactie met K^+ kanalen
3. bitter, zoet en umami → binden aan receptoren die gekoppeld zijn aan G-proteïnes en second-messenger-systemen

Dus informatie-overdracht smaak:

- Smaakcellen
- Smaakvezels
- Hersenzenuwen
- Nucleus solitarius (hersenstam)
- Thalamus
- smaakcortex

