

## 6. Ligevægtssans

### Funktion

### Labyrinthus

### Hårcellerne

### Canales semicirkulares

### Sacculus og utriculus

### Centraler baner

### Den Vestibulookulære refleks

### Klinik

### Funktion

- Registrer lineære accelerationer
- Registrer tyngdekraft
- Påvirker muskeltonus → balance
- Stabiliserer synsindtryk på fovea centralis
- Virker sammen med synet og proprioception → hjernen kan lære at substituere efter læsion på en af disse.

### Labyrinthus

- Det ydre øre: øremuslingen og ydre øregang.
- Trommehinden
- Mellemøret med knoglerne og øretrompeten
- Indre øre: Ossøse (buegangene, vestibulum, cochlea) med perilymph, hindede (hindede buegangene, sacculus, utriculus, ductus cochlearis → endolymph). Ligger i fjeldbenet i det retning, cochlea anteromedialt. Ductus endolymphaticus til saccus endolymphaticus – forbindelse epiduralrummet. *For videre anatomi: se Eksamensspørgsmål 5: høresansen.*

### Hårcellerne

- Receptorer som registrerer acceleration
- Cellekrop med stereocilier (aktin) i rækker med forskellige højde (vi vinkel med endolymphens bevægelsesretning) og et langt kinocilie (mikrotubuli).
- Opadtil er hårcellerne forbundne med "tight junctions" (zonula occludentes) hvorved to væskerum afgrænses: Rum med endolymph – omkring cellelegemerne (ligner ECV) samt rum med endolymph – hvori cilierne findes (ligner ICV, høj  $K^+$  lav  $Na^+$ ). Bøjning af cilierne mod kinociliet → depolarisation som i cochlea vha. tiplinks → øget fyringsfrekvens til CNS. Bøjning væk fra kinociliet → hyperpolarisation mindsket fyringsfrekvens til CNS. NB. der er hele tiden en konstant firing.

### Canales semicirkulares

Buegangene – rotatorisk acceleration

(Huskereglerne virker hvis man vrider fjeldbenet fremad sådan så at det ligger i sagittalplanet).

- 3 stk. per øre: Ant: stående vinkelret på fjeldbenet. (også kaldt Sup. som i at suge pik: dvs. som en mund).  
Lat: Liggende vinkelret på fjeldbenet (som lort, dvs. som rectum)  
Post: Stående i fjeldbenets plan (som pik dvs. pegende fremad)

*Huskeregul opfundet af Anders "AndY" Nordholm (ja, med stort y)*

- Placeret i hvert sit plan → bevægelser i alle plan kan registreres.
- Den ene ende af hver gang har en Ampulla, en udbuling som indeholder
  - Crista ampullaris: ophøjning med hårceller med stereociler
  - Cupula ampullaris: gelatinøs substans hvori cilierne strækker sig ud.
- Den anteriore og posteriore løber i den anden ende sammen (altså **ikke** der hvor de har hver sin ampulla).
- Ved hovedrotation → den ossøse del og endolyphen sættes i bevægelse. Endolyphens træghed vil gøre at den ved accelerationen vil bevæge sig modsat retning i forhold til den ossøse (som når du sidder i en accelererende bil og presse tilbage mod sædet). Dette vil bøje stereocilierne og der vil ske en signalering til CNS. Det omvendte vil ske ved deceleration. Registerer rotatorisk acceleration.
- I Ampullen er cilierne ordnede i fine rækker og vil derfor kun reagere på rotation i et plan → alle inhiberes eller exciteres.
- Da buegangene i de to øre er spejlvendte mod hinanden, vil en rotation give en hyperpolarisering i den ene side og depol. i den anden → større præcision.
- I tiden mellem acc. og dec. vil endolyphen ha samme bevægelse som de ossøse dele. Uden andre input (syn og proprioception) vil hjernen tro at hovedet ikke længere roteres. Ved deceleration vil hjernen så tro at der sker en rotation i modsat retning og prøve at kompensere ved at f.eks. læne kroppen bagud samt ved nystagmus (husk øvelsen). Nystagmus ses også hos vise PT'er med skader i det vestibulære apparat.

## Sacculus og Utriculus

Lineær acceleration og tyngdekraft – i Vestibulum

- Findes anteromedialt for buegangene orienterede i to plan: **Sacculus** vertikalt/stående med horisontelle celler og måler **vertikal acceleration** f.eks. hvis man står i en elevator. **Utriculus** horisontalt/liggende med vertikale celler og måler **horizontal acceleration** f.eks. siddende i en accelererende bil.
- Områderne hvor hårcellerne er samlede hedder hhv. macula sacculi og macula utriculi.
- Har precis som i buegangen stereocilier (plus et langt kinocilie) som strækker sig ud i statokoniemembranen – gelatinøs endolymphe.
- Ovenpå statokoniemembranen ses otolitter – Calciumcarbonat krystaller (og ikke calciumfosfat!). Disse tynger ned/øger massens densitet hvorved statokoniemembranens træghed øges yderligere. Vigtigt ved bevægelser.
- Depol og hyperpol præcis som i buegangene.
- Men i de to maculae er stereocilierne organiserede i alle mulige retninger. Herved kan lineære accelerationer i alle retninger registreres.
- At de derudover er parrede (højre og venstre øre) giver en ekstra præcision.

## Centrale baner

Fra ligevægstorganet skal der føres information til dele af CNS, sådan så at der f.eks. kan indstilles en ny hovedposition. Fra receptorcellerne føres afferente tråde via n.vestibularis (del af n.VIII) til de 4 (parrede dvs. totalt 8) vestibularis kerner. De ligger dorsalt i pons (inferiort) og medulla oblongata (superiort) – nuclei vestibulares superior, inferior, lateralis et medialis.

Herfra sendes signalerne videre til andre dele af CNS:

1. **Tractus vestibulospinalis** → rygmærve →  $\alpha$ - og  $\gamma$ -motorneuroner i ventralhornet → postural muskulatur (primært extensorer).
2. **Tractus vestibulonuclearis** → hjernenervkerner III, IV, og VI → den vestibulo okkulære refleks.

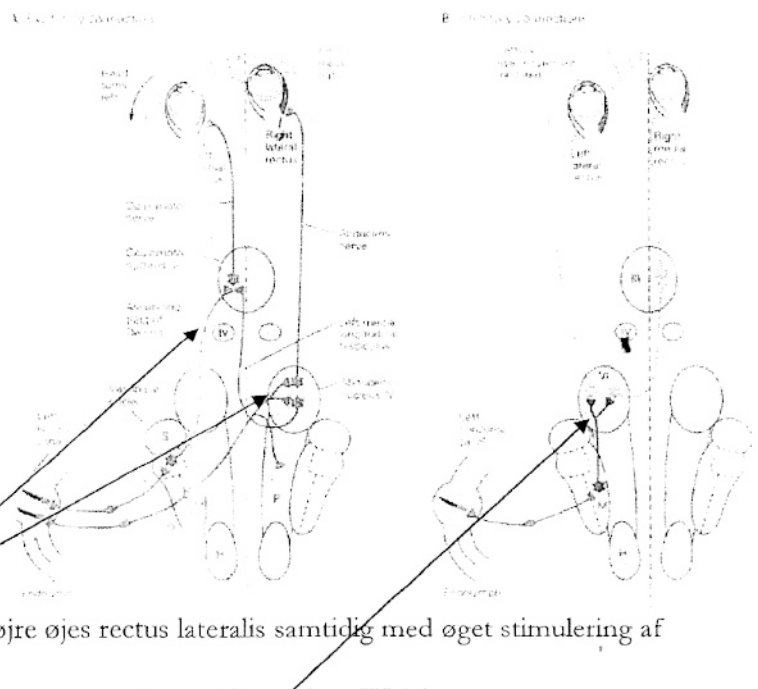
3. **Tractus vestibulocerebellaris** → Til kerner i cerebellum (primært nuclei fastigii) → koordination af postural motorik.
4. **Tractus vestibuloreticularis** → formatio reticularis og videre til motorneuroner i rygmarven. I formatio reticularis sker en vigtig proces: Informationen som skal ud til muskulaturen sammenlignes med tidligere udførte bevægelser. Hvis de ikke passer sendes korrigerende signaler ud til muskler. Hvis den sensoriske inputen ikke passer, med ældre lagrede, kan man føle sig rundtosset, eller hvis forskellige input (syn og ligevægt) fortæller hjernen uensartede ting (som på en båd med kraftige bølger). Hvis indtrykkene forandres hurtigt kan også autonome reflekser, som kvalme, opstå.
5. **Tractus vestibulocorticalis:** via thalamus til cortex. Man bliver bevidst om informationen. Kontralaterale temporallap.

## Den Vestibulookulære refleks

Idéen med denne refleks: Hvis hovedet roteres, af en eller anden årsag, og øjnene samtidigt skal fokusere på et stillestående objekt (f.eks. en bog) vil det uden denne refleks være svært at holde fokus på bogen. Da ev. input fra øjnene via n. opticus til andre hjernenervkerner og ud til øjnenes muskler vil være alt for langsom, bruges i stedet den vestibulookulære refleks.

- Hovedet roteres horisontalt til venstre.
- Receptorceller i venstre øres buegang (lateralis) sender impulser via n. VIII til nuclei vestibulares.
- Herfra sendes signaler i to baner:
  1. Til ncl. n. III → kontraktion af venstre øjes m. rectus medialis
  2. Den anden krydser til højre side til ncl. n. IV → kontraktion af højre øjes rectus lateralis samtidig med øget stimulering af venstre øjes rect. med.
- Samtidigt vil samme ligevægtsorgan sende impulser til samsidige ncl. n. IV (via vestibulærkernerne). Disse signaler vil inhibere venstre sides rect. lat. og højre side rect. med.
- Summen bliver: når hovedet roteres til venstre vil øjnene bevæges til højre og der vil kunne holdes en fokusering af bogen på fovea centralis i retina.

Prøv selv at ryste papiret mens du læser og siden at ryste hovedet mens du læser, ved hvilken handling var det nemmest at læse?



## Klinik

En infektion på vestibulær nerven kan få kraftige konsekvenser. Tab af en stor del af balancesystemet vil delvis kunne kompenseres ved brug af de resterende to dele, syn og proprioception. Men der vil være et stort tab alligevel. Eks. på symptomer ville kunne være kvalme, med opkastninger samt synsforstyrrelser, pga. manglende vestibulookulær refleks (på begge eller en side).

# Ligevægt

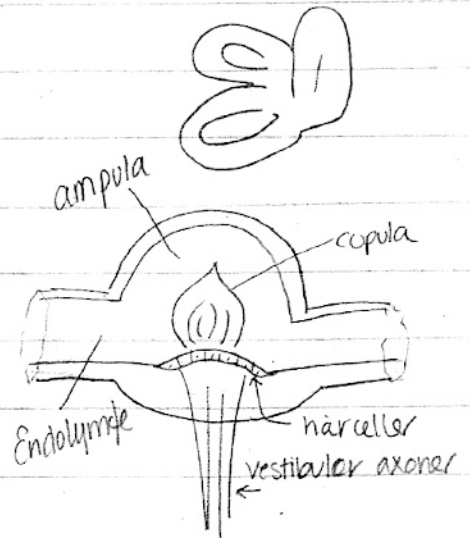
- Fkt: integrerer indkom. ligevægtsimp. m. propriocept., visuelle & cerebellare input  $\Rightarrow$




- postural kontrol (sam. m. syn & propriocept.)  $\rightarrow$  tract. <sup>vest. spinalis</sup>
- Kontrol af øjnernes stilling i orbita & af hovedets stilling
  - øjenbevægelser  $\rightarrow$  FLM
  - blikstabilisering (vestibulær kompensation for hoved/kropsbevægelser)

- Vestibulærapparatet:

- ① - Semicirkulære kanaler  $\rightarrow$  dynamisk ligevægt
- ② - Otolitorganer (utricleus + sacculus)  $\rightarrow$  statisk ligevægt

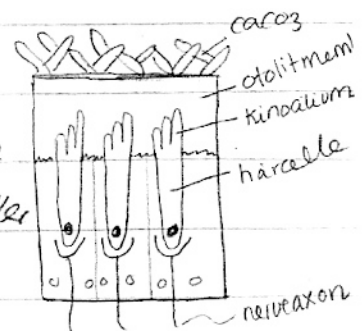
- ① - opfanger rot. bevæg.
  - lat. buegang  $\rightarrow$  horisontalplan
  - for. buegang  $\rightarrow$  vertikalplan
  - bag. buegang  $\rightarrow$  frontalplan
  - Kinocilium i sam. retn.  $\rightarrow$  dvs. hårceller exciteres el. inhiberes
  - Endolymphe
  - Rotation



  $\rightarrow$  ROTATION   $\rightarrow$  LIDT SENERE   $\rightarrow$  STOP ROTATION  $\Rightarrow$  PERSON OPLEV. MODSATTE RETN.

- ② - Sacculus  $\rightarrow$  <sup>maculla  $\rightarrow$</sup>  vertikal (elevator)
- utricleus  $\rightarrow$  <sup>maculla  $\rightarrow$</sup>  horisontal (bil)

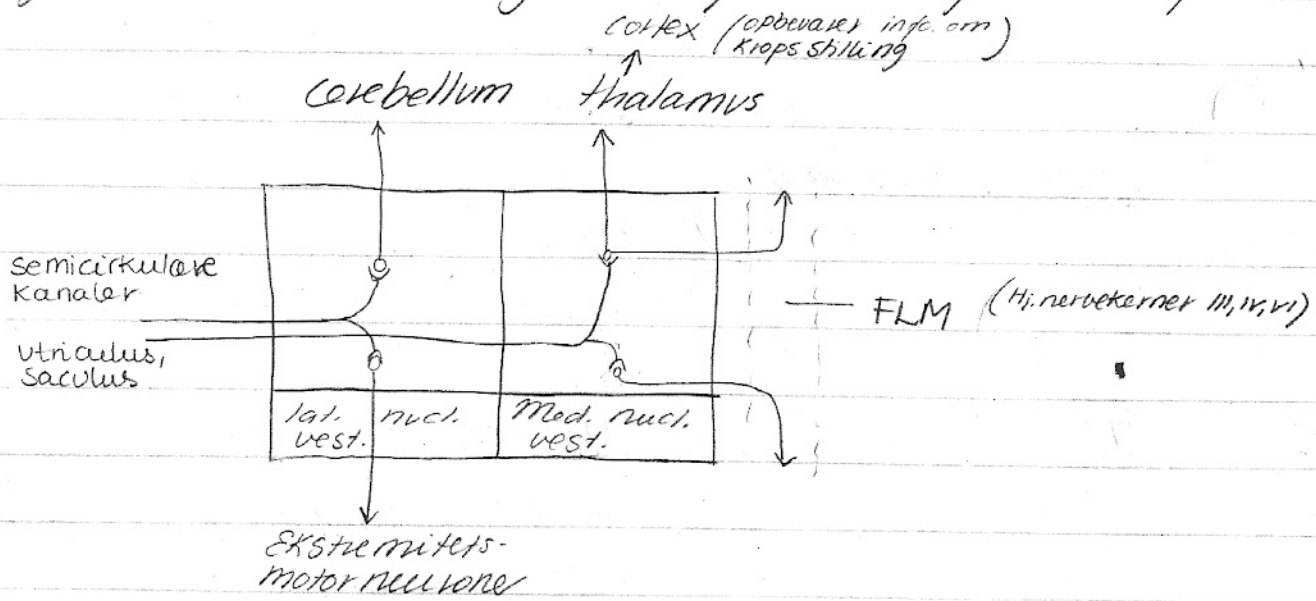
- bevæg. / bøj af cilier + hårceller  $\Rightarrow$  nerveimp.
- hoved vinkles  $\rightarrow$  tyngdekraft trækker i krystaller  $\rightarrow$  inkl. gelatinøs subst.  $\Rightarrow$  hårceller bøjes



- gennemede AP overføres til nerveender af n. VIII
  - meatus acusticus int. ⇒ 99% vestibulare
  - cerebellopont. vinkel  $\begin{cases} \nearrow \text{nucl. vest.} \\ \searrow \text{vest. cerebellum} \end{cases}$

## - Centrale ligevægtsbaner

- udgøres af nucl. vest. + forb. → her sker integration af ligevægtsimp., proprioceptive imp., synsimp., imp. fra cerebellum ⇒ øjenbevæg. & mot. gkt. → tilpasses.



## - VOR - vestibulo-oculære refleks:

- holde øjnene stille til trods for krop i bevæg.

### - FLM

- opfatter rot. af hovedet → reg. muskler → drejer modsat retn.

- virker også i mørke = refleks

## - KLINIK

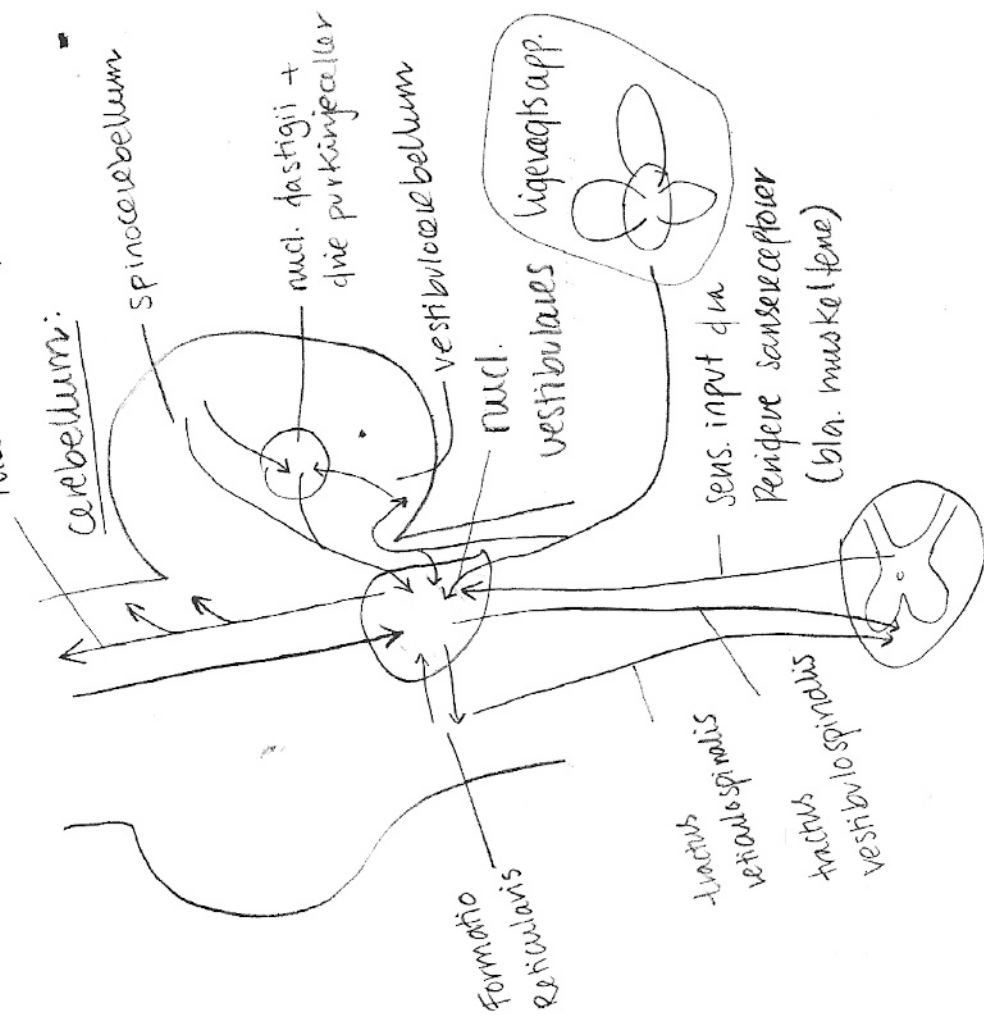
- Rombergsprøve
- $\neq$  VOR ⇒ kvalme
- læsion i ledn. baner

ROT. TIL VENSTRE → IMP. TIL VENSTRE NUCL. VEST. → HØJRE ABDUCENSKERNE → HØJRE M. RECT. MED. INV. SIGN. TIL VENSTRE ABDUCENS ⇒ INV. M. RECT. LAT (VENSTRE) SAMT HØJRE M. RECT. MED.

ØVELSEN

Som. sens. cortex

Fasciculus long. med. (FLM)



Se K911 s. 383 + 382 NF!

## Forsøg: Labyrinthreflekts

- VOR-reflekts

- Nystagnus = røtm. gjenbevegelse som forekommer, fordi det vestibulære stimulus vedværet, men gjenbevegelser må bringes til opphav, og blikretm tilbake til udgangsstillings i hurtigtøke.

Nystagnus retm. = hurtige fase (på hodet og at det er den langsomme bevegelse, som er den vestibulært udløste kompensert. segh.)

- Formål: undersøge postrotatoriske reflekser etter rotation i forsk. planer → undersøge kompensator. gjenbevegelser + subj. følelse.

- Rotation 1: til høje, hovedet er lige (horisontal buegang) lateral.

→ nystagnus: venstre, subj.: venstre

- Rotation 2: til høje, hovedet drejet (Sup. lant. buegang)

→ nystagnus → nedadgående, subj.: korbatter

- Rotation 3: Høje, hovedet gerove (quantal/post. buegang)

→ nystagnus: zigzag, mest mod venstre

subj.: vejrvallet mod venstre

- Forsøgsplan får +20 briller på ⇒ 1. fase

- Post-rot. nystagnus ⇒ hurtige gjenbevegelser

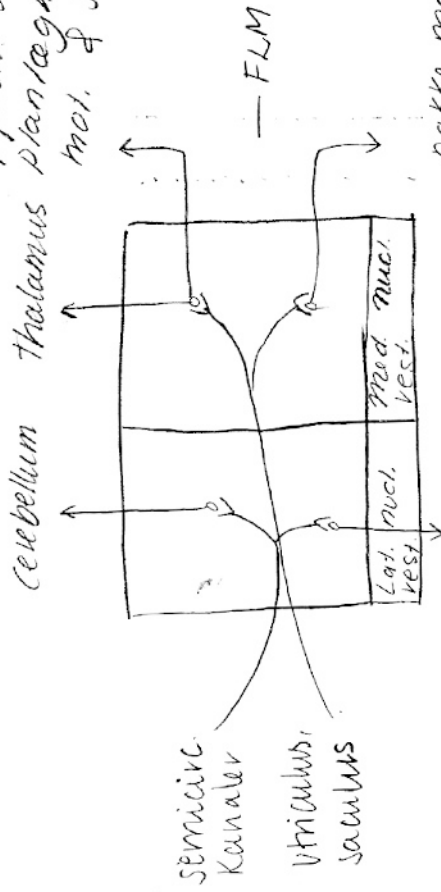
modsat ret. retning (blikreflekts for å sette i retning)

Ret. 4 → pege m. lukkede øyne etter rotation

→ kompensasjon → pege den vej man drejeda...

# Centrale ligevægtsbaner.

Cortex opbevarer info om kroppens stilling - nødvendig for opptætn. af ligevægt & cerebellum thalamus planlægge mot. & sens. cortex



nakke mot. neuroner (hovedets position)

Ekstremitetes- motorneuroner (kontrol. musk. der sørger for vores oprejste stilling)

## Generelt kan siges:

- Valgøres af nucl. Vest. + forb.
- I Vest. kerner sker en integration af ligevægts imp., proprioceptive impulser, syns imp., imp. fra cerebellum => øjenbevæg. & mot. gkt. er tilpasset vores position i rummet.

## Forb.:

- > Vest. cerebellum
- > tract. Vest. & reticulospin.
- > øjenmusk. kerner (III, IV, VI) via FLM
- > HS - formatio reticularis
- > som. sens. cortex

## VOR - refleks:

FKT: gør at selvom vores krop bevæger sig kan vi holde øjnene fikserede stille på vores omgivelser.

## Fungerer v.:

- vores hovedet roteres til venstre
- imp. sendes til venstre nucl. Vest.
- kerpia sendes imp. til højre abducens kerne
- kerpia sendes imp. til højre m. rectus med.
- sendes desuden også inhibi. signala til venstre nucl. abducens -> inhibi. af venstre rect. lat. og højre m. rect. med.

=> vores øjne drejes til højre for at modvirke hovedets rot. til venstre.

Ligevægtsans

- Det vestibulære systems funktion er at integrere de indkommende ligevægtsimpulser med proprioceptive, visuelle og cerebellære input således at det kan regulere:
  - Posturale muskulatur så vi ikke mister balancen.
  - Øjenbevægelser så det passer til vores kropsposeition
  - Blikstabilisering: så at øjnene holdes fokuserede selvom hovedet bevæges.
- Når vestibulærsystemet virker som det skal bemærkes det ikke, men hvis dets funktion er ødelagt kan det resultere i køresyge, kvalme, ubalance og ukontrollable øjenbevægelser.

Vestibulærapparatet:

- Omfatter de semicirkulære kanaler (buegangene) samt otolitorganerne (utricleus og sacculus), inde i det indre øre. *Ugøve i forbindelse med temporoale*
- **Semicirkulære kanaler** → følsom overfor rotation af hovedet → dynamisk ligevægt → *ihmuleles kun v. bevægelse*
- **Otolitorganerne** → følsom overfor tyngdekraft og hovedets position - statisk ligevægt → *skruetallet også når hovedet er stille*

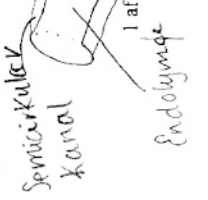
• Begge organer indeholder ligesom det auditoriske organ hårceller, der transmitterer bevægelse om til en nerveimpuls.

Otolitorganerne:

- Holder øje med hovedets placering og lineære accelerationer
- Udgøres af to sække kaldet utricleus og sacculus, der ligger i den hindede labyrint.
- Hvert otolitorgan indeholder et sensoriske epithel der kaldes macula.
- **Sacculus** → macula er **vertikalt orienteret** (køre i elevator)
- **Utricleus** → macula er **horisontalt orienteret** (accelererer i en bil) for **otolitimembranen**.
- → ved bevægelse bøjes cilierne og hårcelle genererer da en nerveimpuls. *CaCO<sub>3</sub>*
- Ovenpå otolitimembranen ligger der **små krystaller af calciumcarbonat**. Disse krystaller har en større densitet end endolympfen der ligger omkring dem.
- Når hovedets vinkel ændres som fx ved acceleration i bilen vil tyngdekraften trække i krystallerne, hvorved otolitimembranen trækkes med → herved vil hårcellernes cilier bøjes.
- Hver hårcelle har en særlig stor cilie kaldet kinocilium.
- Hvis cilierne bøjes mod kinocilium → depolarisering.
- Hvis cilierne bøjes væk fra kinocilium → hyperpolarisering.
- Ciliet skal blot bøjes 0,5 µm for at der udløses et respons.

ved vinkles  
↓  
næskraft  
↓  
køve i krystaller  
↓  
trækker  
lambdas  
bst. m. sig  
↓  
valler bøjes

Ligevægtsans



De semicirkulære kanaler:

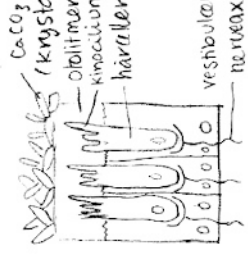
- Opfanger rotationsbevægelser i hovedet.
- Er 3 rørførmede strukturer der danner ca. 2/3 af en cirkel, der ligger bug otolitorganerne.
- De 3 semicirkulære kanaler står alle vinkelret på hinanden:
  - Laterale buegang → horisontalplanet.
  - Forreste buegang → vertikaltplanet *U. m. bet. person*
  - Bagerst buegang → *for tilbage i parallel plan person*
- I en af enderne findes en udvidet del kaldes **ampullen**. Her findes **crista ampullaris**, der er en **klynge af celler der indeholder sensorisk sanseepithel, hvori hårcellerne sidder**.
- Hårcellernes cilier stikker op i en gelatinøs substans kaldet cupula.
- Alle hårcellerne har deres kinocilium placeret i samme retning, således at alle hårcellerne enten exciteres eller inhiberes.
- De semicirkulære kanaler er fyldt med endolympfe.

Tegning af fig. 11.34 i Expl. s. 390:

Endolympfe strømning  
begrænses af syst. i  
int. funktion og vikarieret  
+ cupulas elasticitet  
int → let  
vint → pos  
pos → ant

macula ≈ crista ampullaris

otolitimembran & cupula



Buegange: partene med makula er cir

genererede AP overføres til nerveender via N. vestibularis → maculae acusticae i utricleus ⇒ gyl vest → carabelloperatore

Utricleus som VIII. Startdel af gylve → (HS → Mg, P, S) el. direkte til vestibulære celler

→ 3. m. i utricleus

- Ved rotation af hovedet drejes de ossøse buegang. → accelereres endolympfen i de semicirkulære kanaler. → herved bøjes cupula → herved bøjes cilierne → hårcellerne enten inhiberes eller exciteres.
- Hvis rotationen af hovedet fortsætter med samme hastighed:
  - Vil endolympfen få samme hastighed som den omgivende ossøse buegang → cupula vil ikke bøjes
  - ingen stimulation af hårcelleme → fyringsfrekvensen vil falde = adaptation.
- Når rotationen stoppes:
  - Vil endolympfen og dermed også hårcellerne fortsætte kortvarigt i samme retning selv om kanalen ikke længere er i bevægelse (bilens bremsler op og man ryger alligevel lidt frem i sædet).
  - Herved vil hårcellerne generere et respons der er det modsatte af da man startede.
  - Personen vil opleve at man roterer i den modsatte retning.
- De semicirkulære kanaler sidder på hver side af hovedet og kan tilsammen opfatte alle hovedets rotationer.
  - mens en hovedrotation exciterer hårceller i en kanal vil hårcellerne i den kontralaterale buegang inhiberes.
  - De vestibulære axoner fyres med høj frekvens under hvile, aktiviteten går så op eller ned alt efter rotationens retning.

3. m. i utricleus

Ligevægtsans



