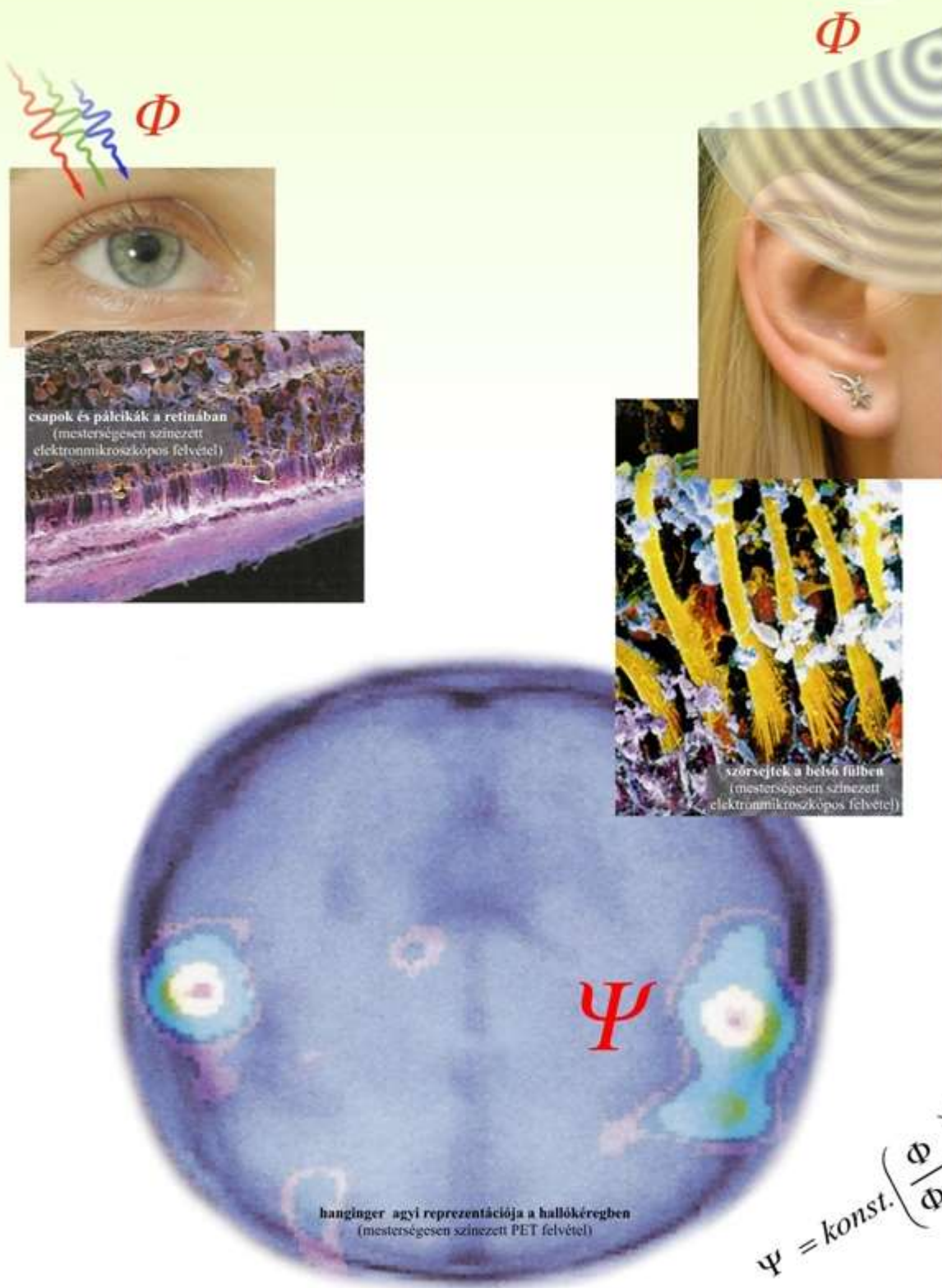


SZENZOR

A SZENZOROS MŰKÖDÉS (A FÉNYÉRZÉKELEÉS) MODELLEZÉSE, A STEVENS TÖRVÉNY ELLENŐRZÉSE



ALAPFOGALMAK

INGER: Az élő szervezetet érő, annak valamilyen válaszát keltő hatás.

ÉRZET: A központi idegrendszer által felfogott és felismert ingerre adott válasz.

SZENZOROS MŰKÖDÉS: Az ingert érzékelése és az agyba szállítása, ahol az érzet kialakul. Pl. inger = hang, érzet = hangosság.

RECEPTORSEJT: Specifikusan érzékeny, az ingert érzékelő sejt, amely a beérkező hatást elektromos receptorpotenciállá alakítja.

RECEPTORPOTENCIÁL: A receptorsejt membránpotenciáljának lokális (nem tovaterjedő) megváltozása. Amplitúdója az inger erősségétől függ.

DINAMIKA KOMPRESSZIÓ: Gyenge inger esetén a receptorpotenciál viszonylag jobban megváltozik, mint erős inger esetén.

DINAMIKA EXPANZIÓ: Gyenge inger esetén a receptorpotenciál viszonylag kevésbé változik meg, mint erős inger esetén.

ÉRZŐIDEG: A receptorsejtet az agyi érzőközponttal összekötő idegrost(köteg), amely a küszöb feletti receptorpotenciál hatására akciós potenciál sorozatot hoz létre, és azt az agyba továbbítja.

AKCIÓS POTENCIÁL: Az idegrost mentén gyorsan tovaterjedő rövid elektromos feszültségimpulzusokból álló jelsorozat, amelynek amplitúdója a terjedés során változatlan marad, az információt az ismétlődési frekvenciája kódolja.

AMPLITÚDÓ KÓDOLÁS: A jelben rejlő információt a jel nagysága – amplitúdója – kódolja.

FREKVENCIA KÓDOLÁS: A jelben rejlő információt a jelsorozat frekvenciája kódolja.

WEBER-FECHNER TÖRVÉNY: A relatív inger (ϕ/ϕ_0) és az érzet (Ψ) erőssége közötti logaritmikus összefüggés: $\Psi = k \cdot \lg(\phi/\phi_0)$, ahol k az érzékelés fajtájára jellemző szám.

STEVENS TÖRVÉNY: A relatív inger (ϕ/ϕ_0) és az érzet (Ψ) erőssége közötti hatványfüggvény: $\Psi = l \cdot (\phi/\phi_0)^n$, ahol az l és n az érzékelés fajtájára jellemző szám. Pl. hangosság érzékelése esetén $n = 0,3$, fényérzékelés esetén $n = 0,5$.

A **mérés célja** a fizikai ingerintenzitás és az érzeterősség összefüggését leíró pszichofizikai alaptörvények tanulmányozása, szemléltetése, ill. a szenzoros működés jelátalakító funkcióinak megismerése. A gyakorlat első felében a szem fényérzékelő rendszerének leegyszerűsített elektromos modelljét mutatjuk be a receptorpotenciál és az akciós potenciál szintjén (ezen a szinten az „élő” vizsgálat nehezen megoldható). A mérés második felében immár „élőben” vizsgáljuk a kapcsolatot a hangosságérzet és az azt kiváltó szinuszos hang intenzitása között, valamint a súlyérzet és a valódi tömeg között.

Kapcsolódó részek:
Damjanovich-Fidy-Szöllösi:
IV.1., IV.2., IV.3.

ELMÉLETI ÖSSZEFOGLALÁS I.

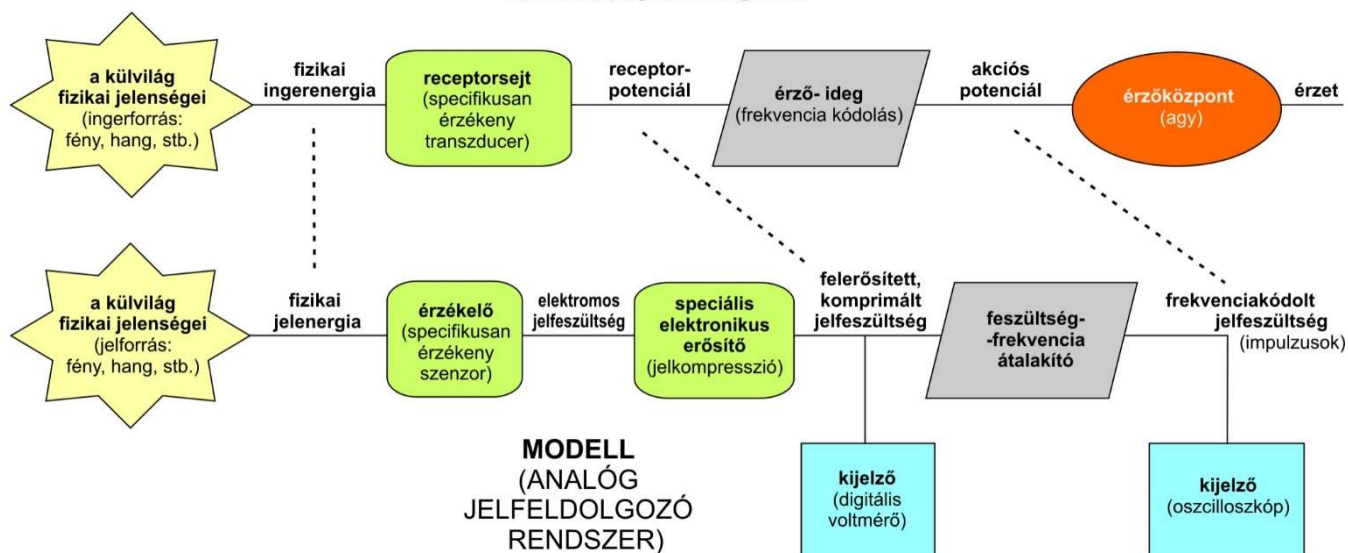
A SZENZOROS MŰKÖDÉS MODELLEZÉSE: RECEPTOR- és AKCIÓSPOTENCIÁLOK, FÉNYÉRZÉKELÉS

Az élő szervezetekre jellemző érzékelő rendszer egyszerűsített tömbvázlata látható az 1. ábra felső felében. Az érzékszerv **receptorsejtjei specifikusan érzékenyek** valamilyen külső fizikai, vagy kémiai ingerre. Ennek hatására a receptorsejt nyugalmi potenciálja megváltozik, amit már **receptorpotenciálnak** hívnak. Az inger nagyságának változására a receptorpotenciál nagysága – amplitúdója – fog változni. Így a jel továbbítása során az információ **amplitúdó kódolással** történik – ez a leggyakoribb jelkódolási forma. Gyenge ingerek esetén a receptorpotenciál relatíve jobban megváltozik, mint erős inger esetén. Így válik lehetővé sok energia-nagyságrendet átfogó ingerek egyetlen érzékszervvel való érzékelése. Az érzékenység ilyen változását **dinamika kompresszió**nak (jelkompresszió) hívják. Abban az esetben, ha a receptorpotenciál relatíve kevésbé változik, mint az inger változása, **dinamika expanszió**ról beszélünk. A receptorsejthez csatlakozó érző-idegsejt a küszöb feletti receptorpotenciálból uniformizált – azonos amplitúdójú – elektromos impulzusokat, ún. **akciós potenciálokat** hoz létre. Ebben az esetben tehát az információt nem az akciós potenciálok nagysága, hanem a frekvenciája kódolja – ezt nevezzük **frekvencia kódolás**nak. Az akciós potenciál eljut az agy **érzőközpontjába**, ahol bonyolult folyamatok során az **érzet** kialakul. Objektív és szubjektív mérések összevetése során bebizonyosodott, hogy az **érzet erőssége egyenes arányban van az akciós potenciál frekvenciájával**.

inger
stimulus
Reiz

érzet
sensation
Empfindung

ÉRZÉKELŐ RENDSZER



1. ábra. Az érzékelőrendszer általános felépítése és egy lehetséges (a mérés során használt) elektromos modellje.

Az 1. ábra alsó felében az érzékelő rendszer általános elektronikus modelljének tömbvázlata látható, melynek részletes működését a fény szenzor modell leírásánál ismertetjük.

A FÉNY SZENZOR MODELL és BEMUTATÓ MÉRÉS

A retina receptorsejtjei a csapok és pálcikák. Az ismertetendő modell fotoérzékelője a nappali látásért felelős csapokat modellezi.

HOGYAN MŰKÖDIK?

A fény szenzor modell fényérzékelője egy szilícium fotodióda, mely a belépőnyílás (az írisz közepe) alatt, a doboz belsejében helyezkedik el (2. ábra).

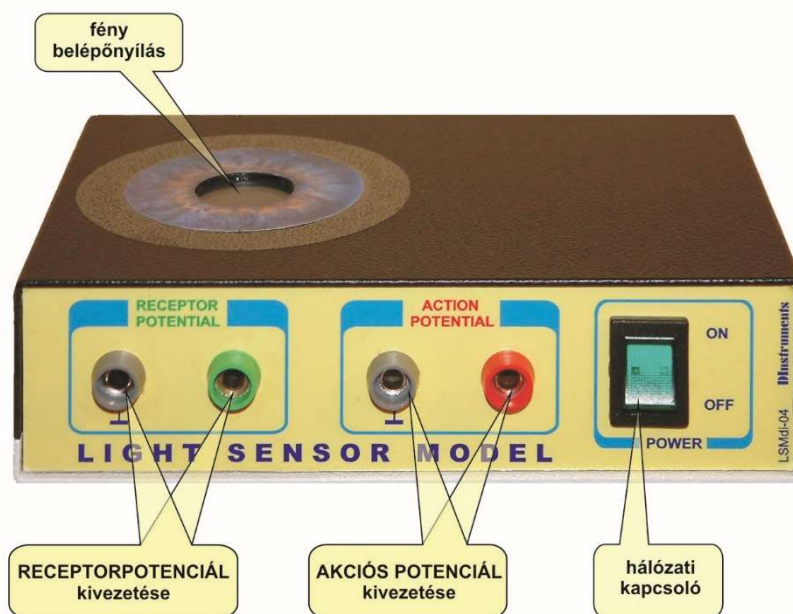
A jelfeldolgozás első fázisában a fotodióda elektromos jelét egy speciális erősítő erősíti fel, majd **komprimálja** (analóg szorzó áramkör, négyzetgyökvonó kapcsolásban, ami tulajdonképpen egy $n = 0,5$ kitevőjű hatványfüggvényt valósít meg). A **RECEPTORPOTENCIÁL** egyenfeszültsége itt mérhető.

A jelfeldolgozás második fázisában a receptorpotenciált egy ún. **feszültség-frekvencia átalakító** négyzetög-impulzusok sorozatává alakítja. Az impulzus-frekvencia arányos a mindenkori receptorpotenciállal.

Végül egy alakformáló áramkör az **AKCIÓS POTENCIÁL**-hoz hasonló jelformát hoz létre, amit oszcilloszkópon tanulmányozhatunk.

Az egyszerűség kedvéért a fény szenzor modell nem modellezi az érzékelő rendszerekre egyébként jellemző küszöb-inger és a fájdalomküszöb jelenségét.

Mérésünkben a fizikai jelenergiát a fény képviseli, hiszen a készülék a szem retinájának működését modellezi (1. alsó ábra). A **fotoérzékelőt** követő speciális elektronikus erősítő felerősíti és kompresszálja, mintegy „összenyomja” a fényjel elektromos megfelelőjét. A **receptorpotenciálnak** megfelelő jel ennek kimenetén mérhető. Az ezt követő **feszültség-frekvencia átalakító** pedig az **akciós potenciálhoz** hasonlító jelsorozatot állít elő. Így digitális oszcilloszkópon megmutathatjuk a fényinger változására a modellezett receptor- és akcióspotenciálban bekövetkező változásokat.



2. ábra. A fény szenzor modell.

A mérés során változtatjuk az inger erősségét – a fény intenzitását – és megfigyeljük ennek hatását a modellezett receptorpotenciálra, illetve akcióspotenciálra. Célunk bemutatni és értelmezni az amplitúdó és frekvencia kódolásokat.

ELMÉLETI ÖSSZEFOGLALÁS II.

A SZENZOROS MŰKÖDÉS: INGER és ÉRZET KAPCSOLATA

Az inger és az érzet közötti összefüggést az ún. pszichofizikai törvények írják le. A következőkben két elméletet ismertetünk vázlatosan.

1. Weber-Fechner-törvény: az összefüggés alapgondolata, hogy az *inger relatív megváltozása* arányos az *érzeterősség megváltozásával*, így az **érzeterősség (Ψ)** a **relatív ingernagyság (ϕ/ϕ_0)** **logaritmusával** arányos, azaz:

$$\Psi = k \cdot \lg \left(\frac{\phi}{\phi_0} \right), \quad (1)$$

ahol k az adott érzékelésmódra – **modalitásra** – jellemző paraméter.

2. Stevens-törvény: az összefüggés alapgondolata, hogy az *inger relatív megváltozása* arányos az *érzeterősség relatív megváltozásával*, így az **érzeterősség (Ψ)** a **relatív ingernagyság (ϕ/ϕ_0)** **adott hatványával** arányos, azaz:

$$\Psi = l \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_0} \right)^n, \quad (2)$$

ahol l és n az adott modalitásra jellemző értékek.

A következő mérések során az a célunk, hogy megvizsgáljuk a kétféle pszichofizikai törvény érvényességét, illetve megbecsüljük azok paramétereit két modalitás esetében.

1. HANGOSSÁGMÉRÉS

A mérés feladata a fizikai hanginger-intenzitás és a szubjektív pszichofizikai hangosság összefüggésének vizsgálata.

A méréshez felhasznált eszközök:

- függvénygenerátor (szinusz)
- fejhallgató

A mérésben ketten vesznek részt, a kezelő és a kísérleti személy.

AZ 1. MÉRÉS MENETE

1. A generátort 1000 Hz frekvenciájú (**FREQUENCY, 1k**) szinuszfüggvényre (**SIN**) állítjuk, a fejhallgatót pedig csatlakoztatjuk a műszerhez. A kezelő személy a generátor **COARSE** fokozatkapcsolóját 10^{-2} -re, a **FINE** gombját pedig 1-re állítja. Az ebből kapott fizikai intenzitás idézi elő a fejhallgatóban az önkényesen „egységnyi”-nek nevezett **referencia-hangosságot**. Ezt a hangosságértéket kell a kísérleti személynek jól megjegyeznie úgy, hogy a későbbiek során jól emlékezzen erre a kezdeti referencia-hangosságra. Ezért a fenti intenzitású jelet hosszabb ideig, kb. 15 másodpercig hallgattatjuk a kísérleti személlyel. A referencia hangosságú jel a mérés során a kísérleti személy kérésére megismételhető.

2. Ezután a kezelő személy a kapott táblázat szerint megváltoztatja a jel amplitúdóját úgy, hogy azt a kísérleti személy ne lássa (**COARSE, FINE** gombok). Az így előállt **hang hangosságát** a kísérleti személy egy **pozitív számmal, becsléssel** jellemzi. Ha a hallott hangot pl. 10-szer olyan hangosnak hallja, mint az először adott referencia hangosságú hangot, akkor 10-et jelez, amennyiben pl. fele hangosságot észlel, akkor 0,5-ös relatív értéket közöl.

Mivel egyszerre több mérés zajlik a teremben, célszerűen a becsült hangot nem szóban közöljük, hanem a kísérleti személy a mérés sorszáma mellé leírja. Így minimalizálhatjuk a labor zajszintjét.

Összesen 20 mérést kell elvégezni a hallásküszöbtől a lehangosabb beállítható hangerőig, a megadott amplitúdó-beállításokat követve. A megadott táblázat szerinti sorrendben haladva, az előírt amplitúdójú hangok véletlenszerűen hol hangosabban, hol halkabban szólnak. Ezzel elkerülhetjük a megszokás következtében fellépő hibás becsléseket.



2. SÚLYÉRZET MÉRÉSE

Sebészetben igen gyakori, hogy például hasiüri műtétek közben szubjektív skála alapján értelmezik az adhézió mértékét egy 3 vagy 5 fokozatú skálán. Itt a csepleszt vagy összenőtt szerveket kézzel/csipesszel választják szét, amely hasonló erő kifejtési folyamat, mint a mérés során elvégzett „súlyemelés”.

A mérés feladata a fizikai tömeg és a szubjektív pszichofizikai súlyérzet (könnyebb, nehezebb) összefüggésének vizsgálata. A mérés megmutatja, hogy a tárgyak tömegének, vagy a tárgyak elmozdításához szükséges erőnek a becslése nem is olyan egyszerű feladat és sokszor igen félrevezető eredményt ad.

A méréshez felhasznált eszközök:

- a hallgatók páronként sorszámozott gyógyszerári műanyag tégelyeket kapnak, amelyek külsőre teljesen megegyeznek.

A mérés során mindenki egyénileg mér és jegyzetel. Fontos, hogy a párok ne nézzék, hogy a másik milyen becslést tesz, hiszen az befolyásolhatja a mérés végeredményét.



3. ábra. Súlyérzet mérése. A tégely helyes fogása.

A 2. MÉRÉS MENETE

1. Fogjuk meg a tömeg sorozatból az „R” (*Referencia*) feliratú tégelyt és emeljük fel valamelyik kézzel. Figyeljünk arra, hogy a tégelyt oldalról fogjuk meg (ne a tenyerünkre tegyük, és ne felülről fogjuk – lásd 3. ábra).
2. A kapott táblázatnak megfelelően a másik kezünkkel emeljük fel egy sorszámozott tégelyt és becsüljük meg – a hangosság-méréshez hasonlóan –, hogy hányszor könnyebb vagy nehezebb, mint a *referencia* tégely. Ahol a táblázatban két szám szerepel, ott a számmal jelölt két tégelyt egymásra kell tenni, és az alsót megfogva felemelni.

MÉRÉSEK (1. és 2.) KIÉRTÉKELÉSE

A hangosság-érzet vizsgálatakor először az ingernagyság amplitúdójának kiszámításához a *coarse* és *fine* beállítási értékeket összeszorozzuk ($U_{\text{rel.egys.}} = U_{\text{coarse [rel.egys.]}} \cdot U_{\text{fine [rel.egys.]}}$), majd négyzetét vesszük, ugyanis a hanginger intenzitásának nagysága az amplitúdó négyzetével arányos.

A súlyérzet vizsgálatakor az ingernagyság számításához a számozott tégelyek tömegét a gyakorlatvezető adja meg.

A kiértékelés mindkét esetben hasonlóan zajlik:

1. Számítsuk ki a relatív ingererősséget.
2. Ábrázoljuk a becsült érzet erősségét a relatív ingererősség függvényében.
3. Illesszünk logaritmikus és hatvány függvényeket a mérési pontokra és vizsgáljuk meg a kapott korrelációs együtthatók alapján, melyik törvény ad jobb korrelációt.
4. Határozzuk meg a függvények paramétereit.