

\*\*\*\*\*

Tämän materiaalin lähteinä on käytetty kirjaa: *Webster, John G. Medical Instrumentation, Application and Design, Third Edition*, sekä suomen- ja englanninkielistä Wikipediaa. Lisäksi yksittäisiä lähteitä on mainittu tekstissä.

Tämä on oppimateriaalin ensimmäinen versio, jossa on paljon puutteita. Osa materiaalista on edelleen englanniksi, eikä opettaja ole oppinut käyttämään uutta Word-versiota (kappaleiden numerointi on perseellään ja sivunumeroita ei ole ollenkaan). Myöskin sisällön loogisuudessa on puutteita. Teksti ja kuvat eivät aina vastaa toisiaan.

Materiaalista on jätetty pois antureita ja mittaustekniikkaa koskevat asiat, koska niitä varten on erillinen Anturitekniikan kurssi.

<b>1. BIOPOTENTIALIT JA NIIDEN MITTAUS</b> .....	<b>2</b>
1. SOLU.....	2
2. NEURONI .....	3
3. SÄHKÖINEN TOIMINTA SOLUTASOLLA .....	5
4. TOIMINTAPOTENTIALIN VAIHEET .....	6
1. <i>Lepotila</i> .....	7
2. <i>Aktiivinen tila</i> .....	9
5. TILAVUUSJOHTAVUUS (VOLUME CONDUCTION) .....	11
<b>2. SYDÄNSÄHKÖKÄYRÄ (EKG)</b> .....	<b>12</b>
6. SYDÄMEN RAKENNE JA TOIMINTA.....	12
3. <i>Sydämen toimintakierto</i> .....	13
4. <i>Impulssijärjestelmä</i> .....	14
7. EKG .....	15
5. <i>EKG:n patofysiologisia indikaatioita</i> .....	19
6. <i>EKG:n sähköinen akseli</i> .....	19
7. <i>Sähköisen akselin suunnan määrittäminen</i> .....	21
8. <i>Normal appearances in precordial leads</i> .....	23
9. <i>Normal appearances in limb leads</i> .....	24
10. <i>The normal rhythm of the heart</i> .....	25
<b>3. AIVOSÄHKÖKÄYRÄ (EEG)</b> .....	<b>25</b>
8. AIVOJEN SÄHKÖISEN TOIMINNAN PERUSTEITA.....	25
9. ELEKTROENKEFALOGRAFIA (EEG) .....	28
10. EEG:N AALтомуODOT.....	29
11. HERÄTEPOTENTIALIT .....	33
12. UNITILA.....	33
13. UNEN LUOKITUS EEG:LLÄ .....	34
14. UNEN TUTKIMINEN .....	35
<b>4. MUITA BIOPOTENTIALIEN MITTAUSMENETELMIÄ</b> .....	<b>36</b>
15. HERMOSTON JOHTUMISNOPEUSMITTAUKSET .....	36

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

## 1. Biopotentiaalit ja niiden mittaus

Tässä materiaalissa perehdytään erilaisten biosähköisten signaalien syntyyn. Biosignaaleja ovat mm. EEG, EKG, EOG, ENG, EMG ja ERG. Biosähköisten signaalien mittauksia tehdään rutiininomaisesti sairaaloissa ja terveyskeskuksissa. Varsinkin sydänsähkökäyrän (EKG) mittaus tehdään käytännössä aina sydänvaivojen vuoksi vastaanotolle tulijalle. Aivosähkökäyrää (EEG) mitataan aivotoiminnan häiriöissä sekä esimerkiksi epilepsiaa sairastavilta. Lihassähkökäyriä (EMG) mitataan paljon urheilijoilta ja kuntoilijoilta ja sen avulla voidaan arvioida, onko tutkittavana oleva liike suoritettu oikein ja miten lihas väsyi pitkäkestoisen rasituksen aikana.

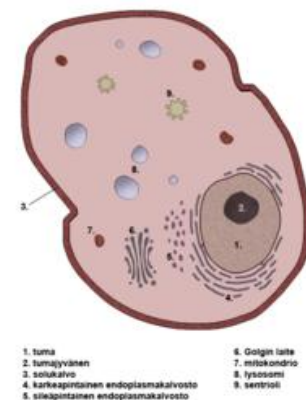
### 1. Solu

**Solu** on kaikkien elävien organismien rakenteellinen ja toiminnallinen perusyksikkö. Solut jaetaan [prokaryooteihin](#) eli esitumallisiin ja [eukaryooteihin](#) eli aitotumallisiin. Esitumallisiin kuuluvat lähinnä [bakteerit](#) ja aitotumallisiin [eläin-](#), [sieni-](#) ja [kasvisolut](#). Eläinten solut voidaan jakaa edelleen [somaattisiin soluihin](#) ja [sukusoluihin](#) eli [ituradan](#) soluihin. Solun löysi ensimmäisenä [Robert Hooke](#) vuonna [1665](#).

Yksi solu voi muodostaa kokonaisen [eliön](#) tai ne voivat muodostaa monisoluisia eliöitä tai näiden [elimiä](#). Solut voivat lisääntyä eli jakautua joko [mitoottisesti](#) tai [meioottisesti](#). Solut voivat olla hyvin erikokoisia. Yleensä niiden läpimitta vaihtelee 0,01–0,1 millimetrin välillä, mutta esimerkiksi jotkin hermosolut voivat olla yli metrin pituisia. Ihmisen suurimpia soluja ovat [munasolut](#), [hermosolut](#) ja [lihassolut](#) ja pienimpiä [siittiösolut](#) ja [punasolut](#). Ihosolun koko on noin 11–12 µm. Ihmisen solut elävät yleensä kuukausia tai vuosia, mutta suolen sisäpinnan solut ja jotkut [valkosolut](#) elävät vain vuorokausia. Hermo- ja lihassolut sen sijaan ovat hyvinkin pitkäikäisiä ja [aivosolut](#) saattavat elää yli sata vuotta.

Solun erottaa ympäristöstään solukalvo sekä kasveilla, monilla protisteilla ja useimmilla sienillä ja prokaryooteilla soluseinä. Solukalvon sisäpuolelle jää solulima (sytoplasma). Suurin osa solun aineenvaihdunnasta tapahtuu solulimassa, jossa aitotumallisilla on myös useita soluelimiä (soluorganelli) ja tuma. Soluelinten kalvot rajaavat solun sisällön useaan eri alaosaan, jolloin eri osastoissa tapahtuvat kemialliset reaktiot pysyvät erillään toisistaan, ja toisaalta kasvattavat kalvopinta-alaa. Monet solun toiminnalle keskeiset tapahtumasarjat tarvitsevat tapahtuakseen kahden eri tilan välisen kalvopinnan.

Solua rajaa **solukalvo**: rasvahappokaksoiskalvo, jossa rasvahappojen hydrofiiliset (vesihakuiset) osat ovat kalvon pinoilla ja hydrofobiset (vesipakoiset) osat kalvon keskellä (ks. hydrofobinen vuorovaikutus). Solukalvo ympäröi solulimaa, joka käsittää kaiken solukalvon ja tuman väliin jäävän perusaineen sekä soluelimet eli organellit. Solukalvossa on runsaasti proteiineja, joista osa läpäisee solukalvon molemmilta puolilta, osa vain toiselta puolelta. Kalvoproteiineissa on myös kiinni hiilihydraattiosia. Esimerkkejä kalvoproteiineista ovat mm. ionikanavat, ionipumput, reseptorit ja rakenneproteiinit.



\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

\*\*\*\*\*

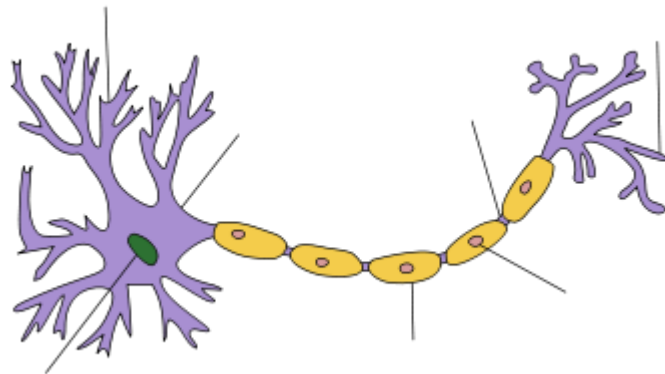
**Tuma** sijaitsee solulimassa ja sitä ympäröi tumakalvo eli tumakotelo. Tumakalvo on solukalvon tavoin rasvahappokaksoiskalvo. Toisin kuin solukalvo, tumakalvo ei ole tiivis. Siinä on paljon tumahuokosia, joiden läpi mRNA ja muut molekyylit pääsevät solulimaan. Geenit sijaitsevat tuman kromosomeissa koodattuina DNA:han.

**Solulimassa** sijaitsee useita soluorganelleja (soluelimiä). Solulimassa on myös runsaasti proteiineja ja RNA:ta. Proteiinisynteesi tapahtuu solulimassa. Soluliman ionipitoisuus poikkeaa huomattavasti solua ympäröivästä. Solukalvon natriumkaliumpumput kuljettavat jatkuvasti natriumia pois solusta ja kaliumia sisään. Tähän kuljetukseen tarvitaan ATP:n energiaa. Na-K-pumpun toiminnan seurauksena solulima on negatiivisesti varautunut solunulkopuoliseen matriisiin (Extracellular matrix, ECM) verrattuna. Varaus on edellytys hermo- ja muiden solujen toiminnalle, ja sen häviäminen johtaa solun kuolemaan.

**Solun tukirankana** solulimassa on mikrotubuluksia, mikrofilamentteja ja välikokoisia säikeitä. Mikrotubulukset toimivat solun sisäisessä kuljetuksessa tuman ja solun reunaosien välillä: dyneiini ja kinesiini moottoriproteiinit liikkuvat mikrotubuluksia pitkin ja vievät mukanaan proteiineja tms. solun muihin osiin. Mikrofilamentteihin kuuluu mm. lihassolun aktiini. Lihassolun supistuessa limittäin järjestyneet myosiinimolekyylit tarttuvat aktiinimolekyyliin ja vetävät aktiineja hieman lähemmäs. Seurauksena on lihassolun lyheneminen. Vastaavaa aktiinin ja myosiinin interaktiota tapahtuu muissakin soluissa, mutta vähemmän dramaattisin seurauksin. Välikokoiset säikeet vaihtelevat solutyypin mukaan. Solun tukirangan komponentit toimivat yhdessä pitäen yllä solun muotoa. Lisäksi solun tukirangan osat toimivat solujen välisten liitosten rakenneosina.

## 2. Neuronit

Neuronit eli hermosolut ovat hermokudoksen soluja, jotka välittävät hermoimpulsseja.[1] Muita hermosolukudoksessa esiintyviä soluja ovat muun muassa gliasolut. Vaikka neuroneita kutsutaan usein hermosoluiksi, kaikki neuronit eivät osallistu hermojen muodostamiseen. Selkärangaisilla neuroneja on aivoissa, selkäytimessä sekä ääreishermoston hermoissa ja ganglioissa eli neuroniryppäissä. Neuronien päätehtävänä on käsitellä ja välittää hermoimpulssien muodossa viestejä



keskushermostoon ja sieltä kohde-eliimiin kuten luustolihasiin. Hermosoluja on kaikilla vähänkin monimutkaisemmilla monisoluisilla eliöillä.

Yksi neuronin erikoisominaisuuksista on sen ärsykeherkkä solukalvo, joka mahdollistaa aktiopotentiaalien eli sähköisten impulssien syntymisen ja niiden avulla tapahtuvan informaationkulun. Neuronit ovat epäsymmetrisiä ja ne koostuvat kolmesta osasta: soomasta eli solukeskuksesta, dendriiteistä ja aksonista.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

\*\*\*\*\*

**Sooma** on hermosolun runko-osa, risteymäkohta neuronin haarakkeiden eli dendriittien (tuojahaarake) ja aksonin (viejähaarake) välillä. Solun tuma sijaitsee soomassa ja siellä tapahtuu suurin osa solun toiminnoista, kuten proteiinisynteesi.

**Tuojahaarakkeet eli dendriitit** ovat haarautuneita, soomasta lähteviä ristikkosolun haarakkeita. Rakennetta kutsutaan usein dendriittipuuksi, ja dendriitin nimi onkin tästä peräisin. Neuronilla on yleensä useita dendriittejä, ihmisen hermostossa keskimäärin 10 000 kappaletta neuronin kohden. Dendriittipuuta on perinteisesti pidetty neuronin pääasiallisena tiedonkeräämisvälineenä, mutta myös informaation ylivuotoa esimerkiksi dendriiteistä toisiin neuroneihin tiedetään tapahtuvan.

**Viejähaarake eli aksoni** on kaapelimainen väylä, jonka pituus voi olla jopa kymmentuhatkertainen soomaosan halkaisijaan nähden. Esimerkiksi ihmisessä on peräti yli metrin mittaisia aksoneja. Aksoni kuljettaa neuronin tulleen hermoimpulssin eteenpäin synapsin välityksellä joko toiseen neuronin tai kohde-elimeen. Useimmiten neuronissa on vain yksi aksoni, jonka tyviosa liittyy soomaan aksonikeon kohdalla. Aksonin pää on runsaasti haaroittunut mahdollistaen näin viestinviennin useille muille neuroneille tai kohdesoluille. Ihmisellä ääreishermostossa neuronin aksonia peittää usein Schwannin soluista rakentuva myeliinituppi, joka toimii eristeenä. Myelinisoituneessa aksonissa hermoimpulssi kulkee nopeammin (100 m/s) kuin myelinisoitumattomassa. Keskushermostossa myeliinituppi muodostavat Schwannin solujen sijasta oligodendrosyytit. Aksoneita, jotka kuljettavat hermoimpulsseja kohti keskushermostoa, kutsutaan afferenteiksi ja keskushermostosta pois päin hermoimpulsseja kuljettavia aksoneita kutsutaan puolestaan efferenteiksi. Esimerkiksi hypotalamuksen sisäisiä aksoneita sanotaan intrinsisiksi. (Kaikilla intrinsisillä neuroneilla eli interneuroneilla ei edes ole aksonia, tai se on suhteessa hyvin lyhyt.)

Kahden neuronin välillä olevaa yhteyttä kutsutaan synapsiksi. Jos neuronin liittyy lihassoluun, kutsutaan niiden yhtymäkohtaa hermo-lihasliitokseksi. Yhden neuronin yhteydet kasvavat ihmisellä aivoissa vastasyntyneen noin 2500 yhteydestä per neuronin 20-vuotiaana noin 15 000 yhteyteen per neuronin.

Neuronilla on yksi aksoni, jota pitkin se lähettää hermoimpulsseja. Aksoni haarautuu moneen otteeseen ja päättyy synapseihin, jotka kytkeytyvät muiden neuronien dendriitteihin, soomaan, toiseen aksoniin tai kohdesoluun. Hermoimpulssin voimakkuus ei voi koskaan vaihdella – se on aina samansuuruinen ja lähettää signaalin jokaiseen aksonin haaraan. Hermoimpulssien taajuus sen sijaan voi vaihdella. Lepotilassa neuronin lähettää impulssin suuruusluokkaa 10 kertaa sekunnissa. Nopeimmillaan neuronin pystyy noin 100 impulssin sekuntivauhtiin ja hitaimmillaan impulssit voivat lakata kokonaan.

Neuronin toimintaan vaikuttavat siihen tulevien ärsykkeiden voimakkuus ja laatu. Osa ärsykkeistä on eksitoivia eli neuronin toimintaa kiihdyttäviä, toiset taas inhiboivia eli toimintaa ehkäiseviä. Muualta tulevat impulssit välittyvät synapsiraon läpi dendriittiin, joka vaikuttaa neuronissa vallitsevaan potentiaaliin eli jännite-eroon – eksitoivat dendriitit kasvattavat potentiaalia, inhiboivat taas vähentävät sitä.

Neuronin solukalvolla on ionipumppuja ja muita soluelimiä, jotka pumppaavat toisia ioneja ulos solusta ja toisia soluun sisään. Näiden pumppujen toiminta kasvattaa jännite-eroa solukalvon eri puolilla siten, että potentiaali kasvaa ennen pitkää riittävän suureksi ja aiheuttaa sen

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

\*\*\*\*\*

purkautumisen hermoimpulssina, joka kulkee soomasta kohti aksonin kärkiä. Dendriittien toiminta edesauttaa tai hidastaa tätä potentiaalin kasvua ja siten neuronin syketahtia.

Neuronin toiminta muuttuu ajan kuluessa tilanteisiin reagoiden. Pitkään kiihdytetty solu alkaa väsyä jo energian puutteesta eikä jaksa enää sykkiä normaalilla nopeudella. Samoin synapsissa olevat välittäjäaineet kuluvat jatkuvassa käytössä nopeammin kuin niitä ehditään tuottaa ja palauttaa, jolloin synapsin kautta tulevan signaalin vahvuus alkaa heikentyä.

### 3. Sähköinen toiminta solutasolla

**Toimintapotentiaali** eli **toimintajännite** eli **aktiopotentiaali** on solun – usein hermosolun – kalvoa pitkin kulkeva sähköisen latauksen aalto. Aktiopotentiaalit kuljettavat nopeita kudostenvälisiä viestejä ja ne ovat tärkeä osa elollista organismia. Niitä syntyy monentyppisissä soluissa, mutta laajimmin ne ovat hermoston viestejä hermosolujen välillä ja niiden kautta muille kehon solukoille kuten lihaksille ja rauhasille. Hermosoluja pitkin kulkevat toimintapotentiaalit ovat hermoimpulsseja. Hermosolujen lisäksi myös mm. lihassoluissa etenee aktiopotentiaaleja.

Solun sisä- ja ulkopinnan välillä vallitsee aina sähköinen jännite-ero eli potentiaali. Lepotilassa eli lepopotentiaalissa olevan solun sisällä vallitseva varaus on tasaisen negatiivinen (noin -70 mV) suhteessa solun ympäristöön eikä juuri vaihtele. Solu pitää yllä aktiivisesti lepopotentiaalia **Na-K-pumpun** avulla käyttäen ATP:hen varastoitunutta kemiallista energiaa. Kun aktivoitavissa oleva solu **depolarisoituu eli sen sähkölataus nousee lepotasolta yli tietyn kynnyksen** (engl. threshold), solussa laukeaa aktiopotentiaali. Hermosolun aktiopotentiaali on solun polaarisuuden nopea, muutaman millisekunnin kestoinen heilahdus negatiivisesta positiiviseen ja takaisin. Lihassolussa aktiopotentiaali voi kestää satoja millisekunteja.

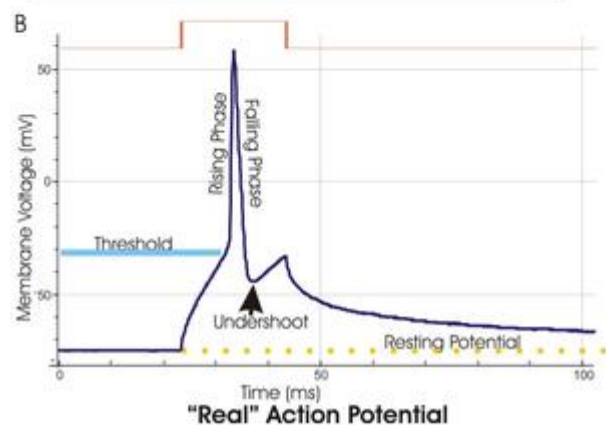
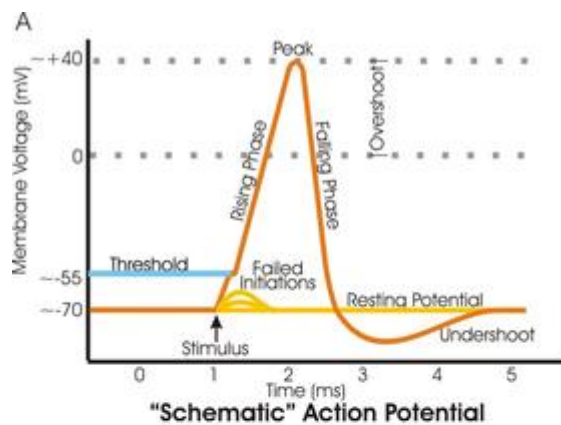
**Aktiivinen kuljetus** on komponenttien kuljetusta solukalvon läpi konsentraatio- tai sähkökemiallista gradienttia vastaan eli kuljetus vaatii energiaa. Energia saadaan joko ATP:n (adenosiinitrifosfaatti) hydrolysoituessa ADP:ksi (adenosiinidifosfaatti) (primaarinen aktiivinen kuljetus) tai toisen komponentin sähkökemiallisen gradientin purkautumisesta (sekundaarinen aktiivinen kuljetus).

**Primaarinen aktiivinen kuljetus** tapahtuu solukalvon ionipumppujen avulla. Hermosolujen yleisin ionipumpputyyppe on natrium-kalium-pumppu. Hermosolun ulkopuolella on enemmän natriumioneja kuin sen sisäpuolella, ja vastaavasti sen sisäpuolella on enemmän kaliumioneja kuin

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

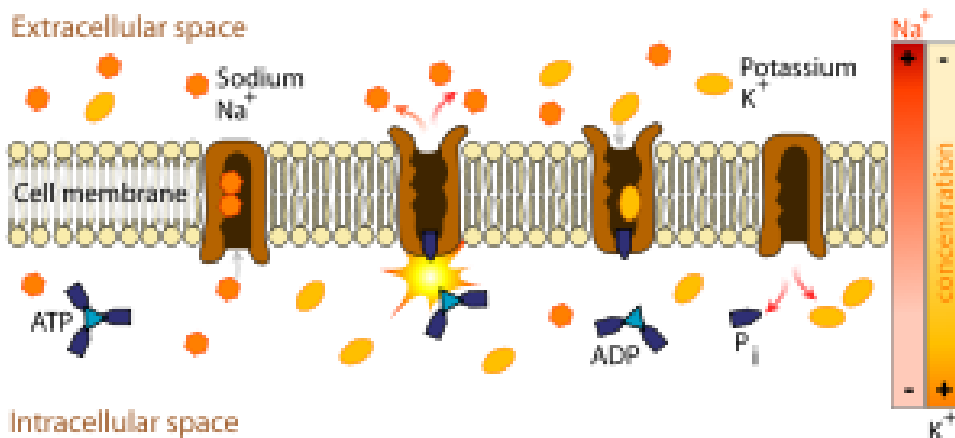


\*\*\*\*\*

sen ulkopuolella. Silti ionipumput pumppaavat lisää natriumia ulos ja kaliumia sisään. Ionien pumppauksella saavutettu kalvojännite on välttämätön hermosolujen toiminnalle.

**Sekundaarinen aktiivinen kuljetus** tapahtuu solukalvon kantajaproteiinien avulla. Kantajaproteiinit kuljettavat soluun tai siitä ulos polaarisia molekyyliä kuten sokereita ja aminohappoja, sekä ioneja. Molekyyli kiinnittyy kantajaproteiiniin kalvon toisella puolella. Kiinnittyminen saa kantajaproteiinin muodon muuttumaan siten, että molekyyli vapautuu kalvon toiselle puolelle.

Aktiivisen kuljetuksen lisäksi aineet voivat kulkeutua soluun tai solusta pois myös passiivisesti diffuusion tai fasiloituneen kuljetuksen keinoilla.



#### 4. Toimintapotentiaalinvaiheet

**Lepopotentiaali eli lepojännite:** Solun täytyy pitää yllä aktiivisesti sille ominaista tasapainotilaa, homeostaasia, pystyäkseen toimimaan oikein ja reagoimaan muutoksiin. Lepopotentiaalissa solukalvon yli kulkee jännite-ero, joka aiheuttaa solun sisäpuolelle negatiivisen varauksen verrattuna solun ulkopuoleen. Lepopotentiaali syntyy monesta osatekijästä, kuten solun sisällä olevista, solukalvoa läpäisemättömistä varauksellisista makromolekyyleistä (esimerkiksi proteiineista), sekä solukalvon pinnalla olevien passiivisten Na<sup>-</sup>, Ca- ja Cl- ionien vuotokanavien ominaisuuksista. Tärkeässä osassa lepojännitteen ylläpidossa on aktiivinen Na-K-ATPaasi, joka pumpkaa samalla kolme natriumionia solusta ulos ja kaksi kaliumionia solun sisään käyttäen ATP:n hydrolyysissä vapautuvaa energiaa.

**Toimintapotentiaalinvaihe:** Hermosolu voi depolarisoitua esimerkiksi hermovälittäjäaineen vaikutuksesta. Hermovälittäjäainetta sitoutuu solukalvon pinnalla oleviin ionikanaviin saaden ne aukeamaan. Ioneja virtaa soluun ja rikkoo lepojännitteen. Jännitteen muuttuminen aiheuttaa joidenkin Na-kanavien aukeamisen, jolloin natriumioneja virtaa soluun.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

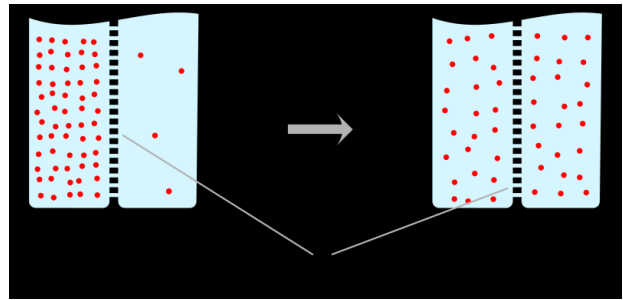
**Toimintapotentialin eteneminen:** Joidenkin Na-kanavien aukeaminen aiheuttaa myös viereisten Na-kanavien aukeamisen. Natriumionit ovat varaukseltaan positiivisia, joten Na-ionien virtaus muuttaa solukalvon sisäpinnan varauksen positiiviseksi.

**Huippu:** Kun kalvojännite on noin +30 mV, Na-kanavat sulkeutuvat ja pysyvät hetken toimimattomina pystymättä heti osallistumaan mahdollisiin uusiin signaaleihin. Na-kanavien sulkeutuessa kaliumkanavat aukeavat.

**Loppu:** Kaliumionit ovat natriumioneiden tavoin positiivisia ja kaliumkanavien avauduttua kaliumionit siirtyvät ulos positiivisesti varautuneelta solukalvon sisäpinnalta. Näin kalvojännite palautuu negatiiviseksi, mitä kutsutaan repolarisaatioksi. Lopuksi Na-K-ATPaasi palauttaa ionikonsentraatiot ennalleen pumppaamalla kaliumioneja solun sisään ja natriumioneja ulos, minkä jälkeen solu on valmis uuteen depolarisaatioon.

## 1. Lepotila

Solukalvo on hyvin ohut (paksuus 7 - 15 nm) lipoproteiini-kompleksi. Lepotilassa ionit pääsevät kulkemaan solukalvon läpi kahdella tavalla. Positiiviset K<sup>+</sup>-ionit liikkuvat **diffuusiolla** solun sisältä ulos. Tämä aiheuttaa solun ulkopuolelle positiivisen sähkövarauksen ja sisälle negatiivisen (positiivista varausta poistetaan). Positiivinen varaus houkuttelee negatiivisia Cl<sup>-</sup> ioneja puoleensa, jotka kulkevat **sähkökentän** vaikutuksesta solun ulkopuolelta sisälle. Jonkin ajan kuluttua saavutetaan tasapainotilanne, jossa ioneja virtaa yhtä paljon ulkoa sisälle kuin sisältä ulos. Tasapainotilanteessa vaikuttavaa potentiaalia sanotaan **tasapainopotentiaaliksi** (yksikkö voltti) ja se voidaan laskea ns. **Nernstin yhtälöstä**:



$$E_k = \frac{RT}{nF} \ln \frac{K_o^-}{K_i^-} = 0.0615 \log \frac{K_o^-}{K_i^-},$$

37° lämpötilassa.

R = Universaali kaasuvakio = 8.314 J/(K·mol)

T = Lämpötila kelvineinä

F = Faradayn vakio = 96,485 J/(V·mol)

n = ionin varausaste

[K<sub>o</sub>] = Solunulkoinen kalium-konsentraatio (mol/l)

[K<sub>i</sub>] = Solunsisäinen kalium-konsentraatio (mol/l)

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

**Esimerkki:** Kaliumin tasapainopotentiaali voidaan laskea, kun tiedetään, että solunsisäisen kaliumin konsentraatio on 140 mmol/l ja ulkoinen 5mmol/l. Siten

$$E_K = 0,0615 \log \frac{5}{140} = -89mV$$

Vastaavasti Na<sup>+</sup> -ionien konsentraatiot ovat 2mmol/l solunsisäiselle ja 120mmol/l solunulkoiselle natriumille, jolloin

$$E_K = 0,0615 \log \frac{120}{2} = 109mV$$

Nernstin yhtälöä tarkempi esitys saadaan ottamalla yhtäaikaaisesti huomioon kaikki ionienvaihtoon osallistuvat ionit sekä niiden *permeabiliteetti* P, joka kuvaa sitä, miten hyvin kyseinen ioni läpäisee solukalvon. Tämä ns. **Goldmanin yhtälö** voidaan esittää muodossa:

$$E = \frac{RT}{F} \ln \left\{ \frac{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o} \right\}$$

Huomaa, että koska kloori on negatiivisesti varattu ioni (eli anioni), solunsisäinen ja solunulkoisen konsentraatiotermi ovat toisin päin nimittäjässä ja osoittajassa kuin kaliumilla ja natriumilla.

**Tehtävä:** Sarmakon luurankolihasen tyypilliset arvot eri ioneille on esitetty taulukossa. Laske solukalvon tasapainopotentiaali 20° lämpötilassa.

Ioni	Konsentraatio		Permeabiliteetti cm/s
	Solusisäinen mmol/l	Solunulkoinen mmol/l	
Na <sup>+</sup>	12	145	2x10 <sup>-8</sup>
K <sup>+</sup>	155	4	2x10 <sup>-6</sup>
Cl <sup>-</sup>	4	120	4x10 <sup>-6</sup>

Tasapainotilan eli sähkökentän ylläpitäminen lepotilassa edellyttää, että ioneja siirtyy koko ajan sähkökenttää vastaan, eli kenttä joka pyrkii estämään niiden liikettä. Tämä tapahtuu solukalvossa olevien Na-K-pumppujen avulla. Pumppu siirtää solusta ulos 3 K<sup>+</sup>-ionia jokaista sisään menevää 2 Na<sup>+</sup>-ionia kohti. Energia pumpun toimintaan saadaan ATP:stä.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia



\*\*\*\*\*

## 2. Aktiivinen tila

Sopivasti stimuloitaessa hermo- ja lihassolut pystyvät siirtämään toimintapotentiaalin solusta toiseen vaimenematta. Näin isokin luurankolihas (vaikkapa reisilihas) pystytään aktivoimaan nopeasti aivojen välittämien hermoimpulssien ohjauksella.

Edellä todettiin, että lepotilassa solun sisä- ja ulkopuolella vaikuttaa positiivinen ja negatiivinen varaus, joka hakeutuu tasapainopotentiaaliin. Sanotaan, että solu on *polarisoitunut*. Jotta solu aktivoituu, siihen täytyy kohdistaa riittävän suuri jännite, joka ylittää solun aktivoimiseksi vaadittavan kynnysjännitteen (n -50 mV). Tämä jännite *pienentää* solun sisä- ja ulkopuolen välistä potentiaaliero, jolloin sanotaan, että solu on *depolarisoitunut*. Aktivoituessaan solu toimii kuten on-off-kytkin; se joko depolarisoituu tai sitten ei, mikäli kynnysjännite ei ylity. Depolarisaation seurauksena syntyvää ajan mukana muuttuvaa potentiaalia sanotaan toiminta- eli aktiopotentiaaliksi, josta on esitetty kuva tämän materiaalin alussa.

Aktiopotentiaali syntyy, kun Na-ioneja alkaa virrata soluun sisälle. Koska solun sisus oli negatiivisesti varautunut, **solukalvon sisä- ja ulkopuolen välinen jännite pienenee**, kun sisään virtaa positiivisia ioneja. Solun varaus muuttuu hetkeksi n. +30mV:iin.

Natriumkanavan aukeaminen vaikuttaa myös viereiseen hermosoluun, joka myös depolarisoituu. Näin hermoimpulssi lähtee etenemään aksonissa. Aktivoituessaan solu toimii kuten on-off-kytkin; se joko depolarisoituu tai sitten ei, mikäli kynnysjännite ei ylity. Depolarisaation seurauksena syntyvää ajan mukana muuttuvaa potentiaalia sanotaan toiminta- eli aktiopotentiaaliksi, josta on esitetty kuva tämän materiaalin alussa. Kun hermoimpulssi etenee, uudistaa aksoni sen voimakkuuden jokaisessa kohdassa. Siten impulssi pystyy etenemään vaimenematta.

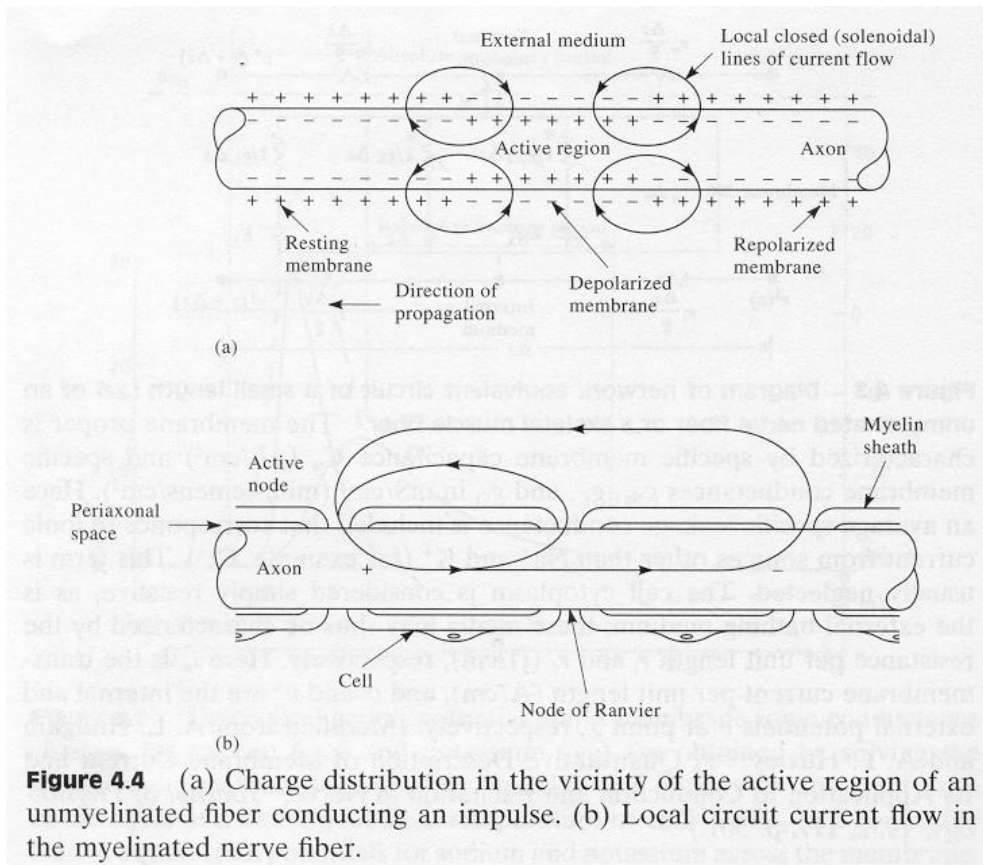
Ohuessa aksonissa impulssi kulkee nopeudella 1 m/s, paksussa aksonissa nopeudella 10 m/s. Myeliinitupellisissa aksonissa hermoimpulssi on nopeinta ja voi edetä jopa 120 m/s, sillä niissä impulssi hyppii Ranvierin kuroumasta toiseen. Aktiopotentiaalin jälkeen solu on refraktorisuusvaiheessa ja estää uuden aktiopotentiaalin syntymistä. Natriumkanavat sulkeutuvat ja kaliumkanavat avautuvat. NaK-pumput palauttavat solun sisä- ja ulkopuolen ionien pitoisuudet ennalleen. Uusi impulsseja ei voi syntyä aivan heti, koska ionikanavien sulkeutuminen vie aikaa.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*



\*\*\*\*\*

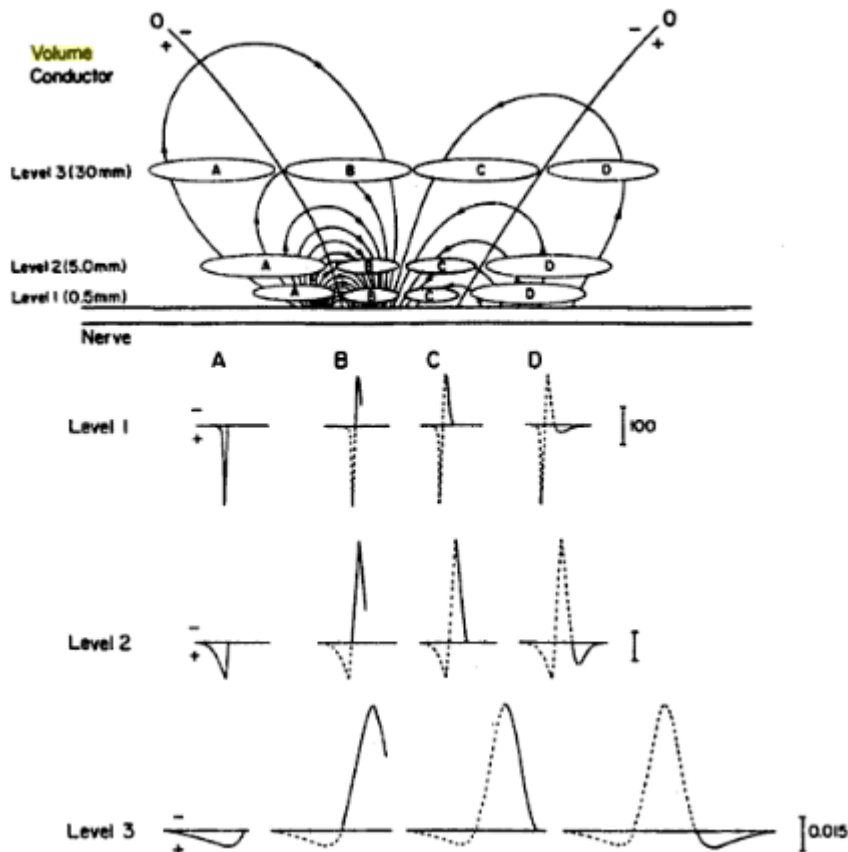
\*\*\*\*\*

## 5. Tilavuusjohtavuus (Volume conduction)

Elektrofysiologiassa mitataan solun sähköistä aktiivisuutta. Mittauselektrodi on aina enemmän tai vähemmän eri paikassa kuin virtalähde (eli solu). Toisin sanoen lähde ja elektrodi eivät ole suorassa kontaktissa keskenään. Siksi mitattu jännite on erilainen riippuen elektrodin paikasta suhteessa lähteeseen. Jos elektrodi ja lähde ovat suhteellisen lähellä toisiaan, puhutaan lähikenttäpotentiaaleista (near-field potentials). Yleensä lähikenttäpotentiaalit pyritään eliminoimaan ns. bipolaarisella mittausjärjestelyllä (tarkemmin myöhemmin). Esimerkkinä lähikenttäpotentiaalimittauksesta mainittakoon neula-EMG ja standardi EEG.

Jos lähde ja elektrodi ovat kaukana toisistaan, kyseessä on kaukokenttäpotentiaali (far-field potential). Esimerkiksi somatosensorisia herätepotentiaaleja (somatosensory evoked potentials, SSEP) mitattaessa kallon pinnalta mitattavan signaalin lähde sijaitsee aivorungossa.

Tilavuusjohtavuuden käsitettä voidaan havainnollistaa tarkastelemalla myeliinisoitumatonta neuronaa, joka on ympäröity johtavalla materiaalilla. Neuronissa kulkeva hermoimpulssi eri kohdista mitattuna eri ajanhetkillä on oheisen kuvan kaltainen:



\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

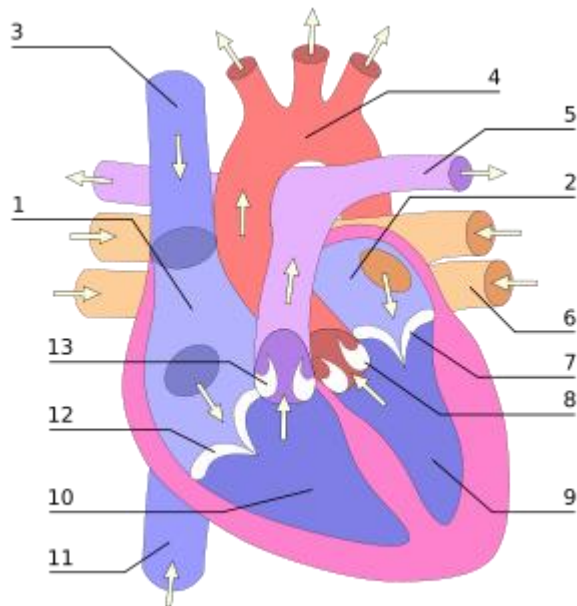
\*\*\*\*\*

**Fig. 1.** A model of the effects of **volume conduction** on a recorded neuron or muscle potential. For discussion purposes, it is simpler to imagine the depolarization frozen in time and the electrode slowly being moved through positions A to D. Levels 1, 2, and 3 simply represent what would be seen depending on the proximity of the recording electrode to the nerve. Focusing on a single level (e.g., level 2) is simplest. By convention, if current lines are traveling opposite the direction of electrode movement, this will produce a downward deflection on the oscilloscope; if traveling in the same direction, it will produce an upward deflection. In A, the lines of current fanning out beyond the electrode source are initially traveling opposite the electrode movement, producing a downward (positive) deflection, but then gradually start to travel in the same direction as the electrode, returning the deflection back to baseline, as the electrode "arrives at" the "zero" or equipotential line. In B, the current continues to travel in the same direction as the electrode movement and the oscilloscope traces an upward (negative) potential. As the electrode crosses the current sink (where the actually depolarization of the neuron is occurring), the lines of current abruptly change direction and the oscilloscope potential begins to move downward in C. This downward movement continues past the equipotential line and into D. However, within D, the fanning out of current lines gradually begins to move in the same direction as the electrode, producing an upward deflection on the oscilloscope and returning the tracing to baseline. Note that the potential is asymmetric, reflecting the fact that neuronal repolarization is a slower process with less dense current lines.

## 2. Sydänsähkökäyrä (EKG)

### 6. Sydämen rakenne ja toiminta

1. Oikea eteinen
2. Vasen eteinen
3. [Yläonttolaskimo](#)
4. [Aortta](#)
5. [Keuhkovaltimo](#) (keuhkovaltimorunko haarautuu oikeaksi ja vasemmaksi keuhkovaltimoksi)
6. [Keuhkolaskimo](#) (molemmista keuhkoista tulee kaksi laskimoa)
7. Hiippa- eli mitraaliläppä
8. Aorttaläppä
9. Vasen kammio
10. Oikea kammio
11. [Alaonttolaskimo](#)
12. Kolmipurje- eli trikuspidaaliläppä
13. Keuhkovaltimon läppä



\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

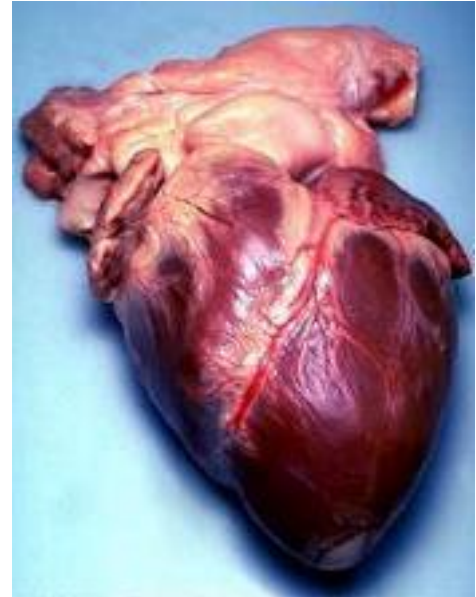
OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

Sydän on jakautunut neljään onteloon; oikeaan ja vasempaan eteiseen sekä oikeaan ja vasempaan kammioon. Sydämeen tullessaan veri saapuu aina ensin eteiseen, josta se kulkeutuu läppien ohi saman puolen kammioon ja sieltä edelleen takaisin verenkiertoon. Veri tulee sydämeen aina laskimoita eli veenoja pitkin ja lähtee valtimoita eli arterioita pitkin. Eteisen vaikutus pumppaustyöskentelyssä on melko pieni, sillä normaalioloissa veri valuu suoraan suonista kammioon pysähtymättä juurikaan eteisessä. Vain rasituksessa eteisten pumppaustoiminnalla on merkitystä.

Vähähappinen veri saapuu kudoksista oikealle puolelle sydäntä, josta sydän pumppaa sen [keuhkoihin](#). Runsashappinen veri palaa keuhkoista vasemmalle puolelle, josta se puolestaan pumppautuu ympäri kehoa.

Sydämen seinämät koostuvat sydän[lihassoluista](#), joilla on kuitenkin suora yhteys toisiinsa solujen päissä olevien yhdyslevyjen kautta. Näissä levyissä olevien [aukkoliitosten](#) kautta ionit pääsevät suoraan solusta toiseen kuten myös depolarisaatio, joten sähköimpulssit kulkevat nopeammin koko sydänlihakseen. Kammioden ja eteisten välillä oleva sideskudoslevy estää kuitenkin impulssien kulkua. Sidekudoslevyn läpi sähköimpulssit pääsevät vain erityistä impulssinjohtojärjestelmää pitkin.



Vähähappinen veri saapuu kudoksista oikealle puolelle sydäntä, josta sydän pumppaa sen [keuhkoihin](#). Runsashappinen veri palaa keuhkoista vasemmalle puolelle, josta se puolestaan pumppautuu ympäri kehoa.

Sydämen seinämät koostuvat sydän[lihassoluista](#), joilla on kuitenkin suora yhteys toisiinsa solujen päissä olevien yhdyslevyjen kautta. Näissä levyissä olevien [aukkoliitosten](#) kautta ionit pääsevät suoraan solusta toiseen kuten myös depolarisaatio, joten sähköimpulssit kulkevat nopeammin koko sydänlihakseen. Kammioden ja eteisten välillä oleva sideskudoslevy estää kuitenkin impulssien kulkua. Sidekudoslevyn läpi sähköimpulssit pääsevät vain erityistä impulssinjohtojärjestelmää pitkin.

### 3. Sydämen toimintakierto

Sydämen toimintakierto perustuu paine-eroihin, jotka johtuvat kammioden supistumisesta ja laajenemisesta, sekä läppiin, jotka estävät veren kulkeutumisen väärään suuntaan. Eteisten ja niihin laskevien laskimoiden välillä ei kuitenkaan ole läppiä. Niitä ei tarvita, koska paine eteisissä on aina melko pieni ja eteisten supistuminen pienentää hieman laskimoiden tuloaukkoja. Näin verta pääsee virtaamaan vain vähän takaisin laskimoihin. Kun veri saapuu eteiseen, eteis-kammio läppä ei aukea ennen kuin kammion lihakset rentoutuvat ja kammio laajenee. Tällöin myös siellä oleva paine alenee ja laskee eteisten painetta pienemmäksi, ja veri virtaa eteisestä kammioon kunnes siellä on eteistä vastaava paine. Tässä vaiheessa alkaa yleensä kammioden supistus, joka nostaa kammion paineen eteisen painetta suuremmaksi. Tällöin eteis-kammio läpät painuvat kiinni eteisiin pyrkivän veren painaessa ne kiinni. Kammion paine nousee kammion seinämien lihasten supistuessa kunnes kammion paine tulee suuremmaksi kuin aortan tai

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

\*\*\*\*\*

keuhkovaltimorungon, jolloin kammio-valtimoläppä avautuu. Kun kammio on tyhjä, sen paine on pienempi kuin valtimon paine, jolloin takaisin kammioon pyrkivä veri työntää kammio-valtimoläppän kiinni.

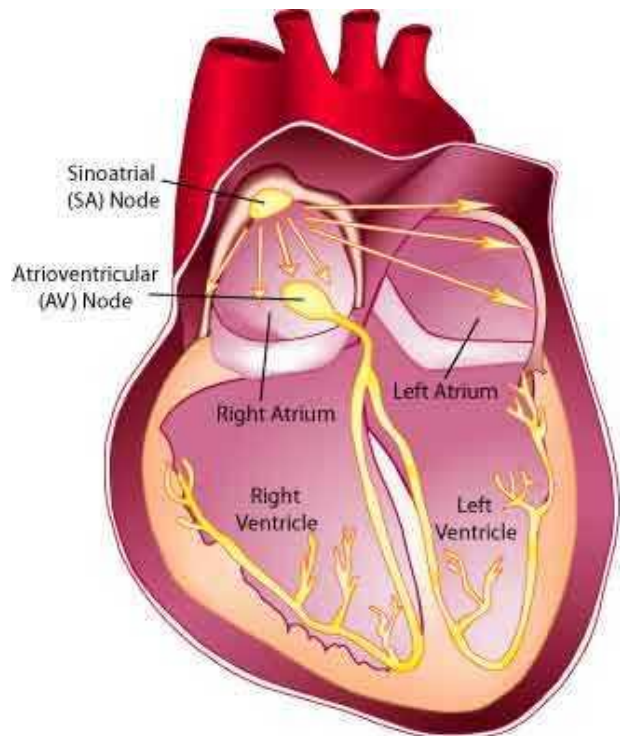
Veren virratessa eteisestä kammioon sydänlihaksen rentoutuvat hetkellisesti sekunnin muutaman kymmenesosan ajan. Vaikka se ei tunnu paljolta, sydän ehtii levätä vuorokauden aikana noin neljä tuntia. Liiallinen stressi lisää sydämen lyöntitiheyttä, jolloin lepäämiseen jää vähemmän aikaa ja sydän altistuu vaurioille.

#### 4. Impulssijärjestelmä

Sydän pystyy sykkimään ilman ulkopuolelta tulevia ärsykeitä vaikka sitä hermottaakin [autonominen hermosto](#). Sydämen sykkeen aiheuttavat solmukesolut (sinus- ja eteis-kammiosolmukkeiden solut), jotka depolaroituvat (aktivoituvat) itsestään ja aiheuttavat näin [aktiopotentiaaleja](#). Nopeimmin depolaroituminen tapahtuu yleensä sinussolmukkeessa, joka sijaitsee sydämen oikeassa eteisessä lähellä yläonttolaskimoa. Solmukesolujen lepojännite on normaalia pienempi (normaalisti noin -80 mV, solmukesoluissa jopa vain -55 mV). Solujen solukalvo lisäksi läpäisee muita sydänlihassoluja paremmin [natriumia](#), jolloin solun sisään vuotava natrium saa solun muutenkin pienen jännitteen helposti nostettua kynnysarvoon, josta seuraa kalsiumin vapautuminen sytoplasmassa sarkoplasmaattisesta kalvostosta ja solun supistuminen.

Ulkopuolinen [hermosto](#) ja [hormonit](#) joko nopeuttavat tai hidastavat impulssien tahtia ja samalla sydämen lyöntitiheyttä. Jos sinussolmuke ei jostain syystä laukaise aktiopotentiaalia, sitä voi korvata jokin impulssijärjestelmässä myöhemmin olevista kohdista (eteis-kammiosolmuke tai kammioiden väliseinässä kulkevat Purkinjen säikeet). Sydämen syke on kuitenkin sitä hitaampaa, mitä kauempana sinussolmukkeesta impulssit kehittyvät.

Sinussolmukkeesta aktiopotentiaalit etenevät erikoistuneita lihassoluja pitkin eteiskammiosolmukkeeseen, josta ne jatkavat yhtenäisessä kimpussa (Hisin kimpussa) eteisten ja kammioiden välillä olevan sidekudosseinän läpi eteenpäin, lopulta päätyen kammioiden seinämiin. Aktiopotentiaali hidastuu eteis-kammiovälissä olevassa sidekudoslevyssä, jotta eteiset ehtivät supistua ennen kammioita. Signaalin tulee puolestaan ehtiä joka puolelle kammioita lähes samanaikaisesti, jotta kammiot tyhjenisivät tehokkaasti. Tästä huolehtivat erityisen nopeasti impulsseja kuljettavat Purkinjen säikeet, jotka haarautuvat Hisin kimpusta ja päättyvät lopulta lihassolujen pintaan. Tätä järjestelmää kutsutaan impulssinjohtajajärjestelmäksi. Se kuljettaa aktiopotentiaalit eteisiin ja kammioihin



\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

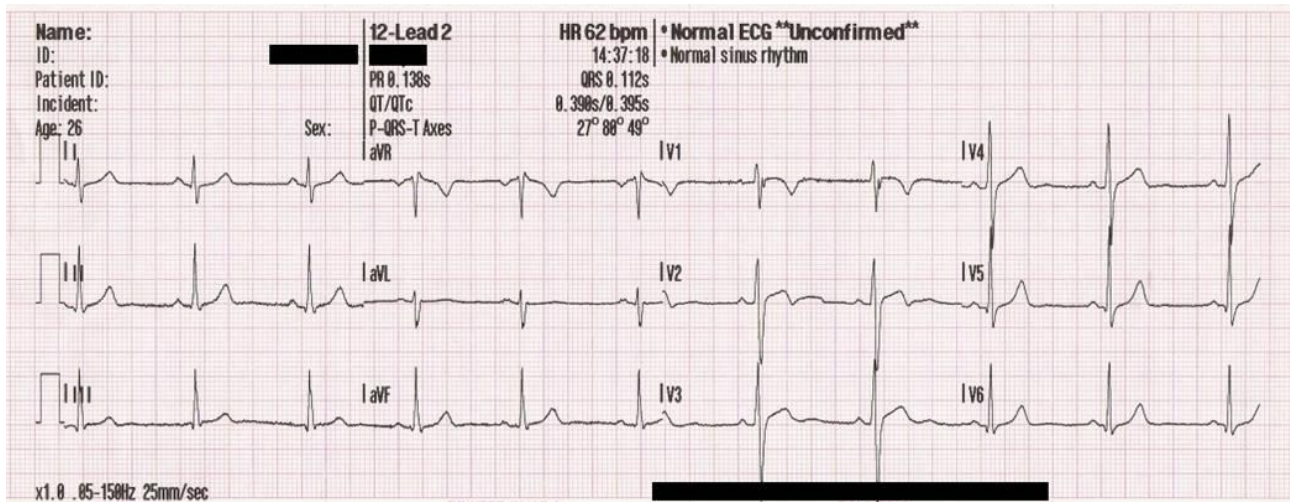
OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

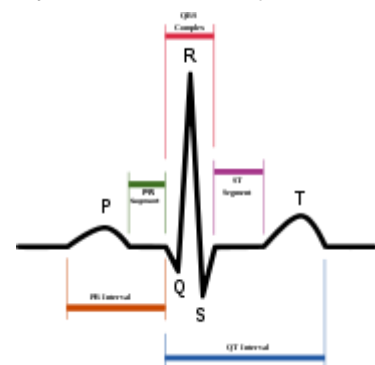
huomattavasti tavallista lihaskudosta nopeammin ja saa kammiolihaksen supistumaan lähes yhtäaikaisesti. Sydämen kärki supistuu kuitenkin hieman aiemmin, jotta veri virtaisi tehokkaammin kammioista valtimoihin.

## 7. EKG

**Sydänsähkökäyrä** eli **elektrokardiogrammi** (lyh. **EKG**) on [sydämen](#) toimintaan liittyviä sähköimpulsseja ja sitä kautta sydämen toimintaa kuvaava käyrä. Myös nimitystä *sydänfilmi* käytetään arkikielessä. Menetelmä on nimeltään elektrokardiografia. Se on ei-invasiivinen, edullinen ja erittäin yleinen tutkimus lääketieteellisessä diagnostiikassa.



EKG-käyrästä voidaan nimetä aaltoja ja komplekseja, jotka kuvaavat sydämen eteisten ja kammioiden toiminnan eri vaiheita. Normaalisissa EKG:ssä ensimmäinen heilahdus on **P-aalto**, joka kuvaa eteisten aktivoitumista. P-aallon ensimmäinen puolikas kuvaa oikean eteisen aktivaatiota, jälkimmäinen puolikas vasemman eteisen aktivaatiota. Tämän aallon jälkeen seuraa pieni tasainen väli, **PQ-väli**, jonka aikana supistumisimpulssi kulkee eteis-kammiokimppua kammioihin. PQ-välin aikana mikään sydämen osa ei supistu tai relaksoidu, joten EKG-käyrä näyttää suoraa viivaa. Kammioiden supistusta kuvaa **QRS-kompleksi**, joka koostuu kolmesta eri jännitepiikistä (piikit Q, R ja S). QRS-kompleksin jälkeen seuraa taas hetken tasainen väli, **ST-väli**, jolloin kammiot pysyvät supistuneina. Viimeinen heilahdus EKG:ssä on **T-aalto**, joka kuvaa kammioiden palautumista lepotilaan. Eteisten palautumista



\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

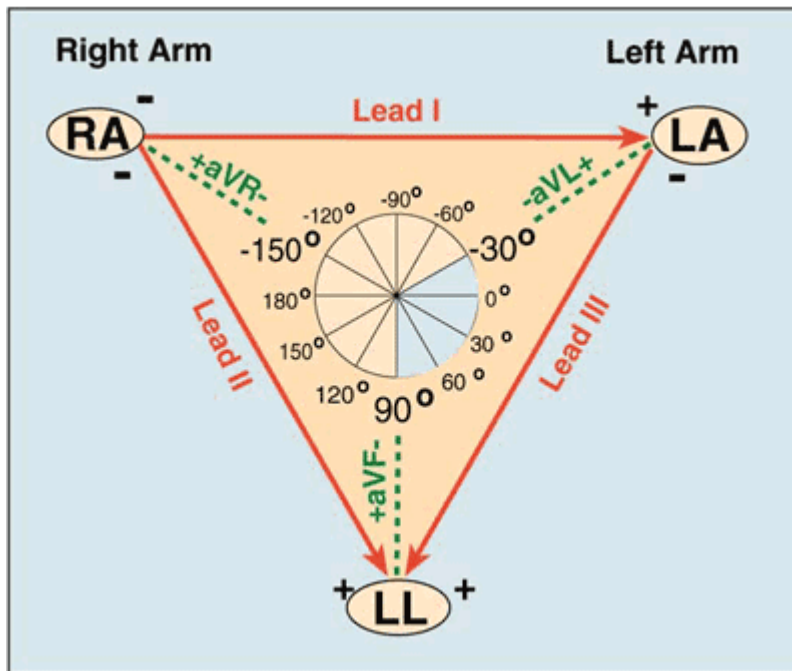
\*\*\*\*\*

lepotilaan ei yleensä näe EKG:sta, sillä se tapahtuu kammioiden aktivaation aikaan, ja jää sen "alle".

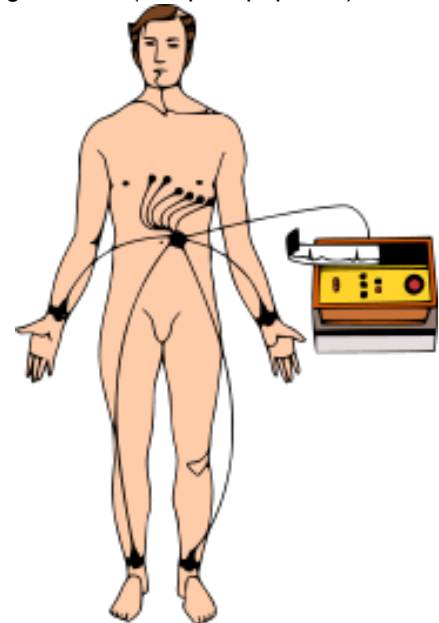
EKG-käyrä muodostuu (yleensä) 12 eri kytkennän piirtämistä sydämen sähköisen toiminnan merkeistä. Kun sydänlihassolu supistuu tai rentoutuu, sen solukalvon yli vallitseva jännite muuttuu. Sydämessä eri alueiden sydänlihassoluryhmät aktivoituvat normaalisti järjestyksessä (oikean eteisen sinussolmuke-oikea eteinen-vasen eteinen-kammioiden väliseinä-kammioiden seinämät), ja näiden aktivaatiojännitteiden kulkusuunnista voidaan muodostaa sydämen aktivaation sähköinen vektori (se suunta, jossa suurin solumäärä aktivoituu tietyllä ajan hetkellä). Kytkennät piirtävät ylös- tai alaspäin suuntautuvaa viivaa riippuen siitä, tuleeko sydämen sähköinen vektori tietyllä hetkellä niitä kohti vai suuntautuuko se niistä poispäin. Jos missään sydämen kohdassa ei tapahdu supistusta tai relaksaatiota, EKG-käyrä piirtää tasaista viivaa.

Normaalissa EKG:ssa sydäntä tutkitaan raajakytkentöjen avulla frontaalitasossa (edestäpäin) sekä rintakytkentöjen avulla horisontaalitasossa (vaakatasossa).

Raajakytkentöjä (molemmista käsistä ja vasemmasta jalasta jännitettä mittaavia kytkentöjä) on kuusi: I, II, III, aVL, aVR ja aVF. I-kytkennässä positiivisena napana on vasen käsi ja negatiivisena oikea käsi, eli vasenta kättä lähestyvät impulssit piirtyvät positiivisina (ylöspäin paperilla) ja oikeaa kättä lähestyvät impulssit



negatiivisina (alaspäin paperilla). II-



kytkennässä positiivisena napana on

vasen jalka, negatiivisena oikea käsi, ja III-kytkennässä positiivisena on vasen jalka, negatiivisena vasen käsi. aVR-kytkennässä oikea käsi on positiivinen, vasen käsi ja jalka yhdessä toimivat negatiivisena napana. aVL-kytkennässä positiivisen navan muodostaa vasemman käden kytkentä, negatiivisena napana toimivat oikean käden ja vasemman jalan kytkennät, ja aVF-kytkennässä vasen jalka on positiivinen, molemmat kädet yhdessä negatiiviset. Näin saadaan kuusi kytkentää, jotka katsovat sydäntä eri suunnista: aVR

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen



\*\*\*\*\*

katselee sydäntä oikealta olkapäältä, aVL vasemmalta olkapäältä, I suoraan vasemmalta, II viistosti alavasemmalta, aVF suoraan alhaalta ja III viistosti alaoikealta. Matemaattisesti seuraavat yhtälöt ovat voimassa :

$$I+III=II$$

$$aVR = -(I + II)/2$$

$$aVL = I - II/2$$

$$aVF = II - I/2$$

Rintakytkentöjä on myös kuusi: V1, V2, V3, V4, V5 ja V6. Ne mittaavat jännitettä rintakehän päältä. V1-kytkentä katsoo sydäntä oikealta päin aivan rintalastan vierestä neljännessä kylkivälissä. V2-kytkentä tarkastelee sydäntä rintalastan vasemmalta puolelta neljännessä kylkivälissä. V3 on tarkalleen V2:n ja V4:n välissä. V4-kytkentä laitetaan keskisolisviivaan viidenteen kylkiväliin, eli suunnilleen samaan linjaan nännin kanssa. V5 tulee V4:n ja V6:n väliin, ja V6 tulee keskiaksillaarilinjaan eli kainalon keskiosan linjaan ja samalle linjalle horisontaalitasossa kuin V4. Ne siis katsovat sydäntä eri kulmista rintakehältä. Kaikki rintakytkennät ovat unipolaarisia kytkentöjä, eli ne vertaavat mittaamaansa jännitettä nollaan, eivät toiseen kytkentään.

Rintakytkentöjä voidaan tarvittaessa laittaa koko rintakehän ympäri. Tällöin selkärangan viereen tuleva kytkentä on vasemmalla puolella V9, ja oikealle puolelle tulevat vasemman puolen peilikuvana kytkennät V3R-V9R. (V1:sta ja V2:sta ei ole oikean puolen R- eli peilikuvakytkentöjä, koska V1 on V2:n peilikuva). Lisäksi voidaan käyttää ruokatorvielektrodia, jos halutaan tutkia sydämen takaseinämän tapahtumia mahdollisimman tarkasti. [Rasitus-EKG](#) antaa tietoa sydämen suorituskyvystä, ja siinä tutkitaan kaikkien 16:n rintakytkennän käyrät. Lapsilta EKG:ta otettaessa tutkitaan usein V4R-kytkentä.

EKG antaa tietoa sydämen tilasta. Se kertoo sydämen sykkeen, kuvaa sydämen sähköistä johtumista sekä rajoitetussa määrin sydänlihaksen arpia, [sydäninfarktia](#), sen vaihetta ja sijaintia, sekä jossain määrin [nestetasapainon](#) häiriöitä ja myrkytystiloja. Myös erilaiset sydämen tulehdustilat kuten sydänlihastulehdus (myokardiitti) ja sydänpussintulehdus (perikardiitti) näkyvät EKG:n muutoksina.

Jokaisella ihmisellä on aivan omanlaisensa EKG-käyrä, ja EKG-käyrän ulkonäkö voi vaihdella eri mittauskertojen välillä huomattavasti.

Oheisessa taulukossa on esitetty EKG:n eri aaltomuotojen tulkinta.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

## T291004 Lääketieteelliset mittauslaitteet: Biopotentialit ja niiden mittaus

\*\*\*\*\*

<a href="#">P wave (electrocardiography)</a>	During normal atrial depolarization, the main electrical vector is directed from the SA node towards the AV node, and spreads from the right <a href="#">atrium</a> to the left <a href="#">atrium</a> . This turns into the P wave on the ECG.	
<a href="#">QRS complex</a>	The QRS complex is a recording of a single heartbeat on the ECG that corresponds to the depolarization of the right and left ventricles.	
<a href="#">PR interval</a>	The PR interval is measured from the beginning of the P wave to the beginning of the QRS complex.	It is usually 120 to 200 ms long.
<a href="#">ST segment</a>	The ST segment connects the QRS complex and the T wave.	It has a duration of 0.08 to 0.12 sec (80 to 120 ms).
<a href="#">T wave</a>	The T wave represents the repolarization (or recovery) of the ventricles. The interval from the beginning of the QRS complex to the apex of the T wave is referred to as the <b>absolute refractory period</b> . The last half of the T wave is referred to as the <b>relative refractory period</b> (or vulnerable period).	
<a href="#">QT interval</a>	The <a href="#">QT interval</a> is measured from the beginning of the QRS complex to the end of the T wave.	Normal values for the QT interval are between 0.30 and 0.44 seconds. <a href="#">[citation needed]</a>
<a href="#">U wave</a>	The U wave is not always seen. It is typically small, and, by definition, follows the T wave.	

Sydämen tilasta saadaan tietoa myös [ultraäänitutkimuksilla](#), [magneettikuvauksella](#), [varjoaine- ja isotooppikuvauksin](#) sekä monenlaisten [verikokeiden](#) avulla.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

## 5. EKG:n patofysiologisia indikaatioita

Taulukossa on esitetty EKG:ssa havaittavia patologisia muutoksia.

Shortened QT interval	Hypercalcemia.
Prolonged QT interval	Hypocalcemia.
Flattened or inverted T waves	Coronary ischemia.
Hyperacute T waves	Possibly the first manifestation of Acute myocardial infarction.
Prominent U waves	Hypokalemia.

## 6. EKG:n sähköinen akseli

The heart's **electrical axis** refers to the general direction of the heart's depolarization wavefront (or **mean electrical vector**) in the frontal plane. It is usually oriented in a right shoulder to left leg direction, which corresponds to the left inferior quadrant of the [hexaxial reference system](#), although  $-30^{\circ}$  to  $+90^{\circ}$  is considered to be normal.

	Normal Axis 0 to 90	Left Axis Physiological 0 to -30	Left Axis Pathological -30 to -90	Right Axis 90 to 180	Extreme Axis -90 to -180	Indeterminate Axis ?
Lead I						
Lead II						
Lead III						

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

<b>Normal</b>	-30°to 90°	Normal	Normal
<u><a href="#">Left axis deviation</a></u>	-30°to -90°	May indicate left anterior fascicular block or Q waves from inferior <u><a href="#">MI</a></u> .	Left axis deviation is considered normal in pregnant women and those with <u><a href="#">emphysema</a></u> .
<u><a href="#">Right axis deviation</a></u>	+90°to +180°	May indicate left posterior fascicular block, Q waves from high lateral <u><a href="#">MI</a></u> , or a right ventricular strain pattern.	Right deviation is considered normal in children and is a standard effect of <u><a href="#">dextrocardia</a></u> .
<b>Extreme right axis deviation</b>	+180°to -90°	Is rare, and considered an 'electrical no-man's land'.	

In the setting of [right bundle branch block](#), right or left axis deviation may indicate [bifascicular block](#).

Seuraava teksti on otettu lähteestä Anaesthesia UK (6.10.2009) osoitteesta:

<http://www.frca.co.uk/article.aspx?articleid=100683>

### The standard limb leads/bipolar limb leads (leads I, II, III)

With the bipolar system, one limb is connected to the positive terminal of the recording galvanometer and another limb to its negative terminal. Three limbs (right arm-RA, left arm-LA and left leg/foot-LL) are used. The right leg was used as "earth", to minimise interference.

We have the following bipolar leads:

Lead I: RA (-) to LA (+)

Lead II: RA (-) to LL (+)

Lead III: LA (-) to LL (+)

### Augmented/unipolar limb leads (frontal plane)

Initially, unipolar limb leads were used, in which recordings were made from the RA (lead R), LA (lead L) and LL (lead F for "foot").

Any voltage measurement requires two electrodes: a "**reference electrode**", whose potential does not change during the cardiac cycle, and an "**exploring electrode**" attached to the limb in question. A voltage or "V" lead was used as an indifferent electrode by joining R, L and F together.

Nowadays, the limb connections are slightly modified, to "augment" the size of the deflections obtained from leads L, R and F. These are named as follows:

aVR: RA (+) to [LA & LL] (-)

aVL: LA (+) to [RA & LL] (-)

aVF: LL (+) to [RA & LA] (-)

### The precordial/chest leads (horizontal plane)

With each precordial lead, the positive (recording) terminal of the galvanometer is connected to an electrode at an agreed site on the chest wall, and the negative terminal is connected to an indifferent electrode, the "V"

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

\*\*\*\*\*

electrode (see above).

Hence, the chest leads are designated as V1, V2, V3, V4, V5 and V6.

The sites of the above electrodes are as follows:

**V1:** Right sternal margin at 4th intercostal space (ICS)

**V2:** Left sternal margin at 4th ICS

**V4:** Intersection of 5th ICS and left mid-clavicular line

**V3:** midway between V2 and V4

**V5:** Intersection of left anterior axillary line with a horizontal line through V4

**V6:** Intersection of left mid-axillary line with a horizontal line through V4 and V5

### **Einthoven's triangle hypothesis**

Published in 1913, this hypothesis attempts to explain the principles of electrocardiography on a scientific basis. It is based on four assumptions which are not completely true, but do provide some basis. The four assumptions are as follows:

1. The trunk is a homogeneous volume conductor.
2. The mean of all the electrical forces generated during the cardiac cycle can be considered as originating from a dipole situated at the heart's centre.
3. The limb leads pick up voltage changes in the frontal plane only.
4. The attachments of the three extremities used in making the limb leads (R, L and F) form the apices of an equilateral triangle with the dipole at its centre.

## **7. Sähköisen akselin suunnan määrittäminen**

The electrical axis of the heart can be derived from the six frontal plane, and leads to an accuracy of +/- 15°. The axis is measured by reference to the hexaxial reference system (see figure above).

Calculation of the axis requires determining the algebraic sum of the QRS deflections in each limb lead. This is done by adding the positive deflections and subtracting the negative deflections of the QRS complex in any given lead.

Follow these steps for calculating the QRS axis:

1. By inspection, find the frontal-plane lead in which the algebraic sum of the QRS complex deflections most closely approximates to zero (not necessarily the smallest QRS complex!).

**The axis will be approximately at right angles to this lead and must therefore lie in one of two approximate directions.**

For example, if the algebraic sum of the QRS complex deflections most closely approximates zero in lead I, then the axis must lie approximately at either -90° or +90°, which are the two directions perpendicular to lead I.

2. Now examine the QRS complex in that limb lead which occupies a position at right angles to the original lead (where the algebraic sum of the QRS deflections was close to zero) - i.e. in lead aVF.

If the QRS complex deflection in this lead is dominantly positive, then the QRS axis should be +90° (direction of aVF). But if predominantly negative, then the QRS axis will be -90°.

The above calculation gives accuracy to the nearest 30°. However, resolution to the nearest 15° can be obtained by further adjustments (not discussed here).

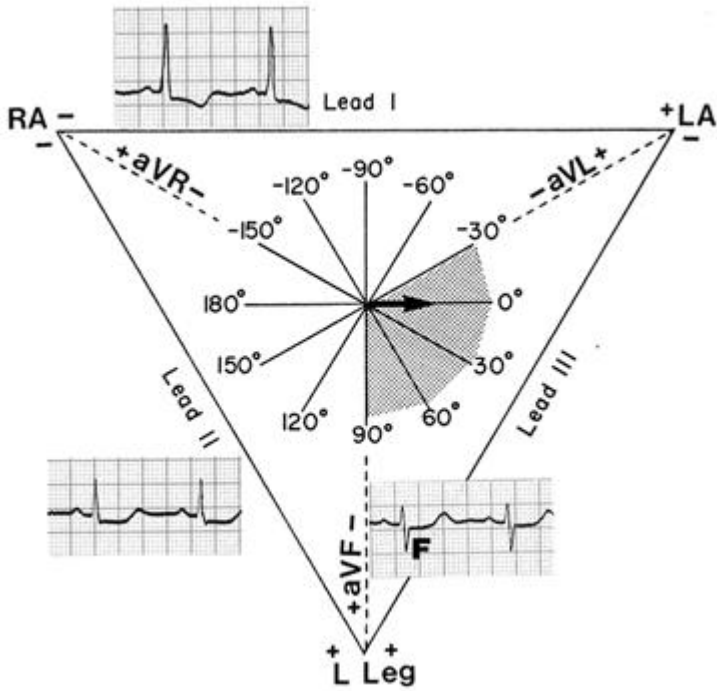
Examples are as follows:

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

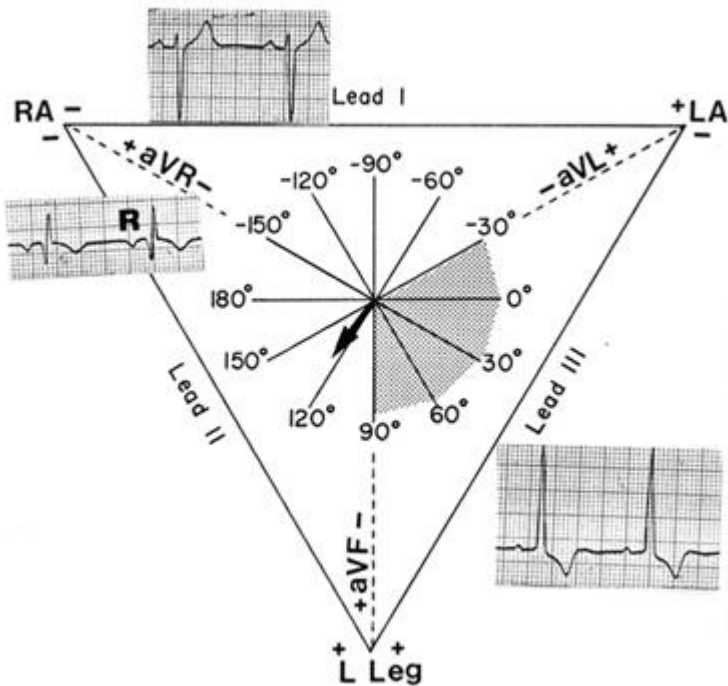
OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*



- Lead aVF is the isoelectric lead.
- The two perpendiculars to aVF are 0° and 180°.
- Lead I is positive (i.e. orientated to the left).
- Therefore, the axis has to be 0°.

2) Axis in the left axis deviation (LAD) range:

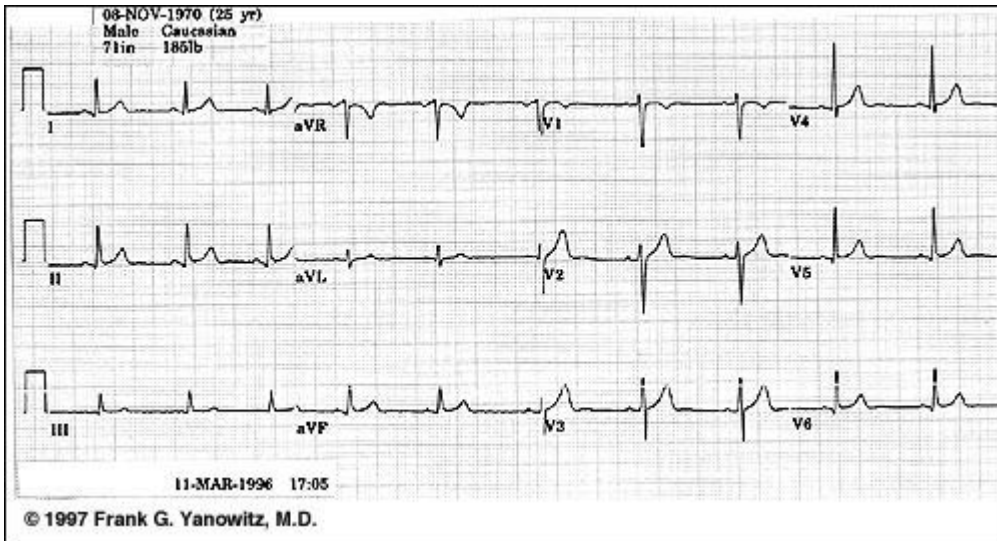


\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

- Lead aVR is closest to being isoelectric (slightly more positive than negative)
- The two perpendiculars are  $-60^\circ$  and  $+120^\circ$ .
- Lead I is mostly negative; lead III is mostly positive.
- Therefore, the axis is close to  $+120^\circ$ . Because aVR is slightly more positive, the axis is slightly beyond  $+120^\circ$  (i.e. closer to the positive right arm for aVR).

## 8. Normal appearances in precordial leads



**P waves:** Upright in V4-V6.  
Upright or biphasic in V1-V2 (negative component should be smaller if biphasic)

**QRS complexes:**  
(1) Morphology: V1 shows an rS pattern

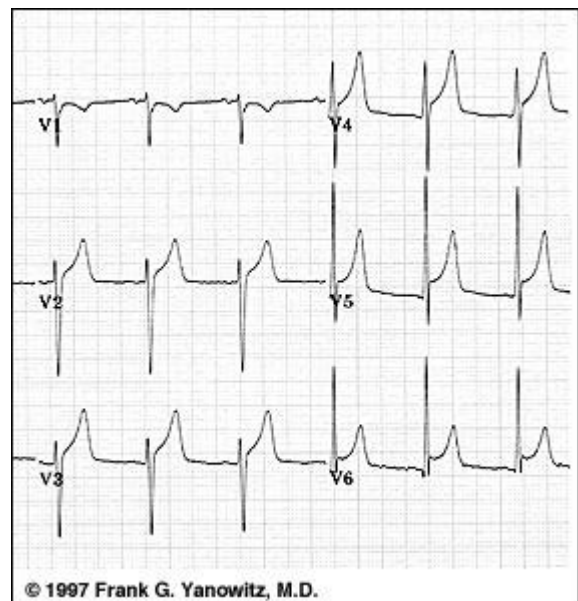
V6 shows a qR pattern  
The size of the r wave increases progressively from V1 to V6

**Transition zone:** the initial part of the QRS deflection is positive in the right precordial leads. The transition zone is the point between V1 and V6, where the initial deflection ceases to be positive and becomes negative.

To the left of this point of transition, the dominant deflection is positive, and to the right of this, it is negative. When this zone is between V3 and V4, the heart is intermediate in position (neither clockwise nor counter-clockwise rotated). However, when the transition zone is between V2 and V3/V1 and V2, there is counter-clockwise cardiac rotation and when the transition zone is between V4 and V5/V5 and V6, there is clockwise cardiac rotation.

(2) Dimensions:

- QRS duration  $< 0.12$  s
- At least one R wave in the precordial leads must exceed 8 mm
- The tallest R wave in the precordial leads must not exceed 27 mm



\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

- The deepest S wave in the precordial leads must not exceed 30 mm
- The sum of the tallest R wave in the left precordial leads and the deepest S wave in the right precordial leads must not exceed 40 mm
- Precordial q waves must not equal/exceed 0.04 s in duration
- Precordial q waves must never have a depth greater than one quarter of the height of the R wave which follows them.

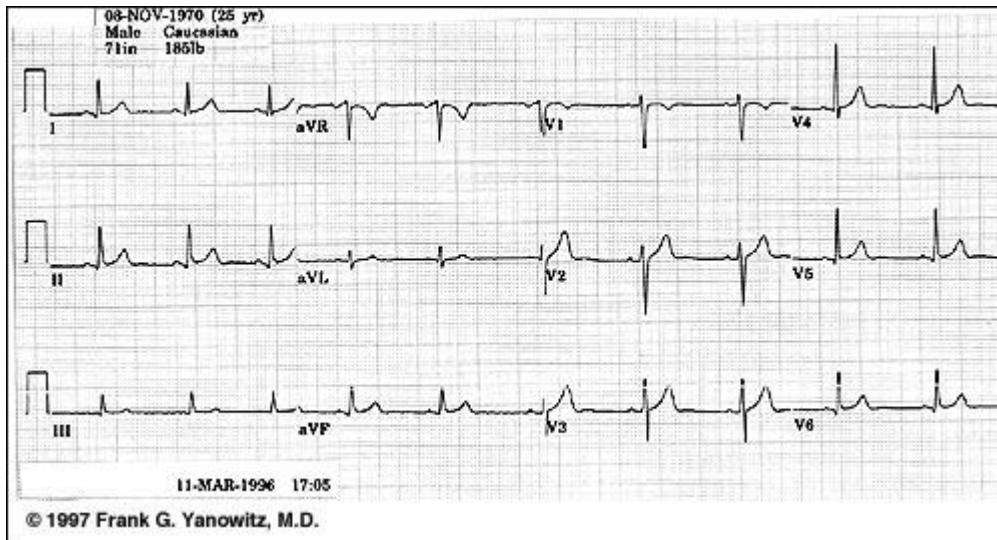
**ST segments:** Must not deviate above or below the isoelectric line by more than 1 mm. Normal ST segment elevation occurs in leads with large S waves (e.g. V1-3), and the normal configuration is **concave upward**.

**T waves:** Upright in V4-V6.

Often inverted in V1, may be inverted in V2 (provided already inverted in V1).

The T wave height should not be more than two-thirds and not less than one-eighth of the height of the preceding R wave in any of the leads V3-V6.

## 9. Normal appearances in limb leads



**P waves:** Best seen in lead II (Small rounded waves)

- P wave height = 2.5 mm
- P wave duration = 0.12 s

**QRS complexes:** Mean frontal plane QRS axis range is between  $+90^\circ$  and  $-30^\circ$ ; this implies that the QRS is mostly positive (upright) in leads I and II.

R wave in aVL must not exceed 13 mm and R wave in aVF must not exceed 20 mm.

Normal q waves reflect normal septal activation (beginning on the LV septum); they are narrow ( $<0.04$  s duration) and small ( $<25\%$  the amplitude of the following R wave). They are often seen in leads I and aVL when the QRS axis is to the left of  $+60^\circ$ , and in leads II, III, aVF when the QRS axis is to the right of  $+60^\circ$ . Septal q waves should not be confused with the pathological Q waves of myocardial infarction.

**ST segments:** Must not deviate above or below the isoelectric line by more than 1mm.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia



\*\*\*\*\*

**T waves:** In the normal ECG, the T wave is always upright in leads I, II, V3-6, and always inverted in lead aVR.

**The U wave:**

- U wave amplitude is usually < one-third T wave amplitude in same lead.
- U wave direction is the same as T wave direction in that lead.

U waves are more prominent at slow heart rates and usually best seen in the right precordial leads.

## 10. The normal rhythm of the heart

*The heart is said to be in sinus rhythm based on the following criteria:*

- P waves must be present and be regular.
- P wave frequency should be within the range of 60-100 per min.
- There must be one P wave for each QRS complex.
- The P wave must precede each QRS complex.
- The PR interval must be normal and constant.
- The morphology of the P waves and QRS complexes must be the usual form for that patient.

## 3. Aivosähkökäyrä (EEG)

Lähteenä on käytetty linkkiä <http://www.biomag.hus.fi/braincourse/L3.html>

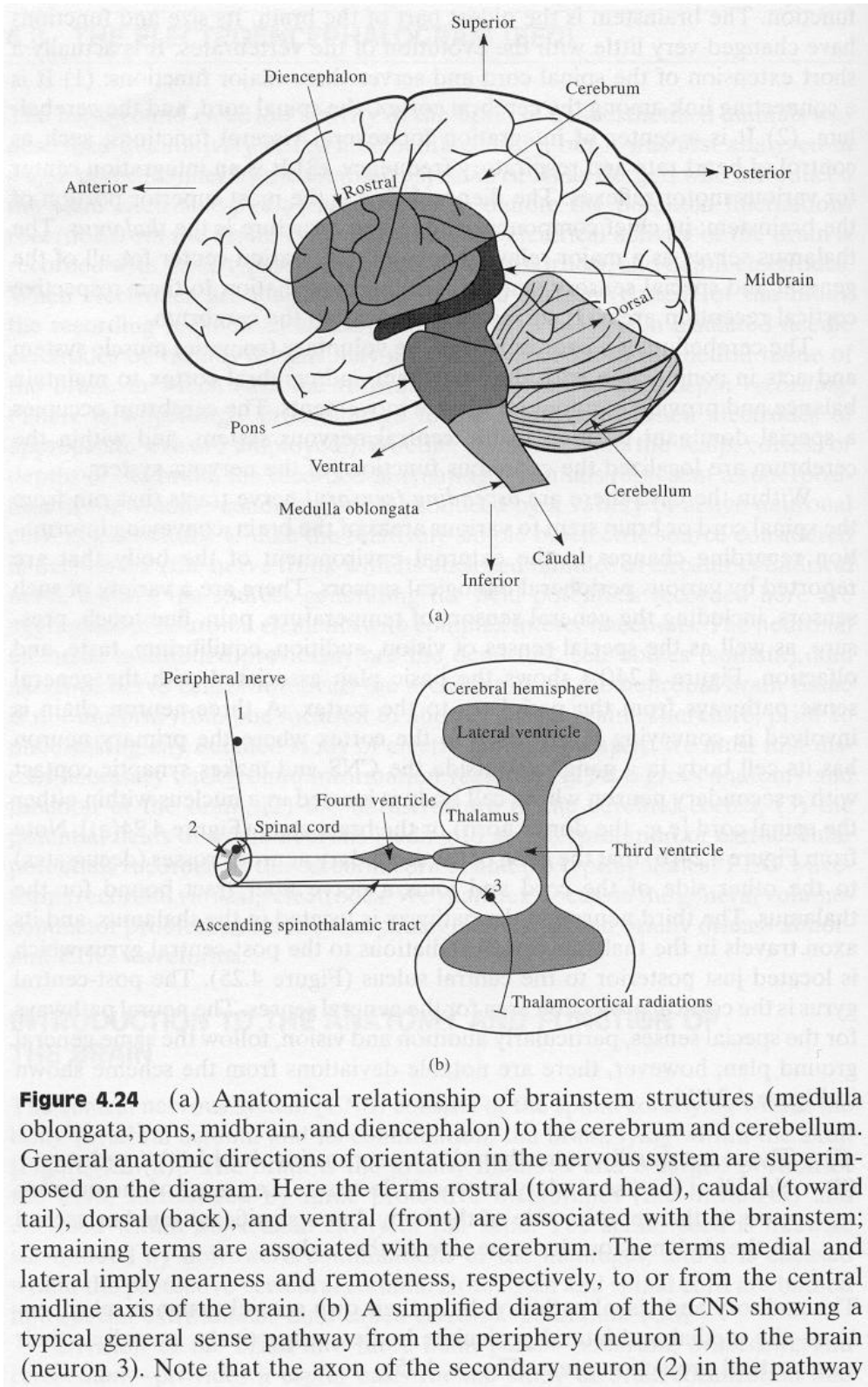
## 8. Aivojen sähköisen toiminnan perusteita

Seuraavaksi ryhdytään tarkastelemaan aivojen sähköistä toimintaa lähtien siitä, mitä tiedetään aivojen rakenteesta, ionien pitoisuuksista ja solukalvon ilmiöistä. Emme tässä yhteydessä pohdi, miten aivot ovat kehittyneet ja päätyneet tarkasteltavana olevaan tilaan. Yritämme vain ymmärtää, miten järjestelmä toimii aikaskaalalla millisekunnista aina sekuntiin saakka. Jätämme siis huomiotta useita erittäin tärkeitä ilmiöitä, joiden tyypilliset aikavakiot ovat kymmenistä sekunneista vuosiin. Tällaisia ovat mm. synapsien kytkentävahvuuksien modifioituminen "oppimisen" tai muistiin painamisen aikana, solun haarakkeiden kasvu ja uusien synapsien syntyminen, hormonaaliset ilmiöt, vuorokausirytmii ja vanheneminen.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

\*\*\*\*\*



**Figure 4.24** (a) Anatomical relationship of brainstem structures (medulla oblongata, pons, midbrain, and diencephalon) to the cerebrum and cerebellum. General anatomic directions of orientation in the nervous system are superimposed on the diagram. Here the terms rostral (toward head), caudal (toward tail), dorsal (back), and ventral (front) are associated with the brainstem; remaining terms are associated with the cerebrum. The terms medial and lateral imply nearness and remoteness, respectively, to or from the central midline axis of the brain. (b) A simplified diagram of the CNS showing a typical general sense pathway from the periphery (neuron 1) to the brain (neuron 3). Note that the axon of the secondary neuron (2) in the pathway

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

Millisekuntien aikaskaalalla vain neuronit näyttävät olevan tärkeitä informaation käsittelyn kannalta. Hormonien ja muiden molekyylien pitoisuudet soluvälinesteessä ja soluissa sekä gliasolut ja verenkierto muodostavat hermosolujen toiminnalle ympäristön, jonka merkitys on oleellinen mutta lähes muuttumaton tällä aikaskaalalla. Tarkastellaan siis vain neuronien muodostamaa verkkoa; joudumme yksinkertaistamaan asioita, mutta joitakin oleellisia piirteitä tulee esille.

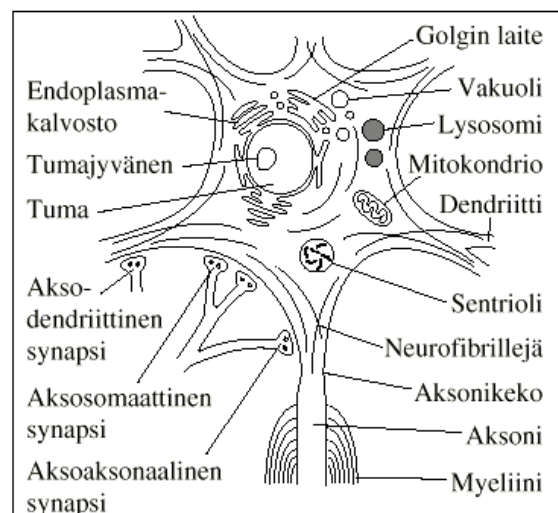
Hermosoluverkossa on kolmessa asemassa olevia soluja:

- sensoriset eli input-solut,
- välineuronit eli interneuronit,
- motoriset eli output-solut.

Sekä input- että output-solut ovat topologisesti verkon "pinnalla"; välineuronit ovat yhteydessä ulkomaailmaan vain välillisesti. Interneuronit voidaan luokitella sen mukaan, mikä niiden topologinen "syvyys" on, ts. kuinka kaukana ne ovat pinnalta eli kuinka monen synapsin kautta sensorisen signaalin on tultava saavuttaakseen solun tai kuinka monen synapsin kautta solun lähettämän signaalin on vähintään kuljettava saavuttaakseen motorisen solun. Periaatteessa 1011 solua, joista noin 106 on pinnalla ja joilla on 1000 synapsia kullakin, voisi järjestyä niin, että maksimisyyvyys olisi 2 synapsia. Miljoona pintasolua voi nimittäin synapsoida 109:n välineuronin kanssa, jotka voivat kytkeytyä kaikkiin muihin soluihin. Aivoissa rakenne on kuitenkin syvempi; organisaatiossa on järjestelmällistä modulaarisuutta eri mittakaavoissa. Kukin alue toimii erikoistuneena piirreanalysaattorina; esim. V4 on värialue ja MT liikealue.

Hermosoluverkon toiminta perustuu siihen, miten kukin solu laukoo aktiopotentiaaleja saamiensa synaptisten signaalien mukaan. Dendriitteihin kytkeytyvät synapsit ovat yleensä eksitatorisia, solun soomaosaan kytkeytyvät taas inhibitorisia (Kuva).

Solu toimii summauselementtinä: jos kiihdyttävän ja estävän vaikutuksen erotus on tarpeeksi suuri ja kalvojännite aksonikeossa ylittää kynnyksarvon, solu lähettää oman pulssinsa eteenpäin. On myös neuroneja, jotka laukovat varsin aktiivisesti myös ilman kiihdyttävää vaikutusta. On kuitenkin muistettava, että hermosolun toiminta ei ole pelkästään signaalien summaamista; tulevat signaalit voivat myös muuttaa synaptisten kytkentöjen vahvuuksia, solun kasvua ja aineenvaihduntaa.

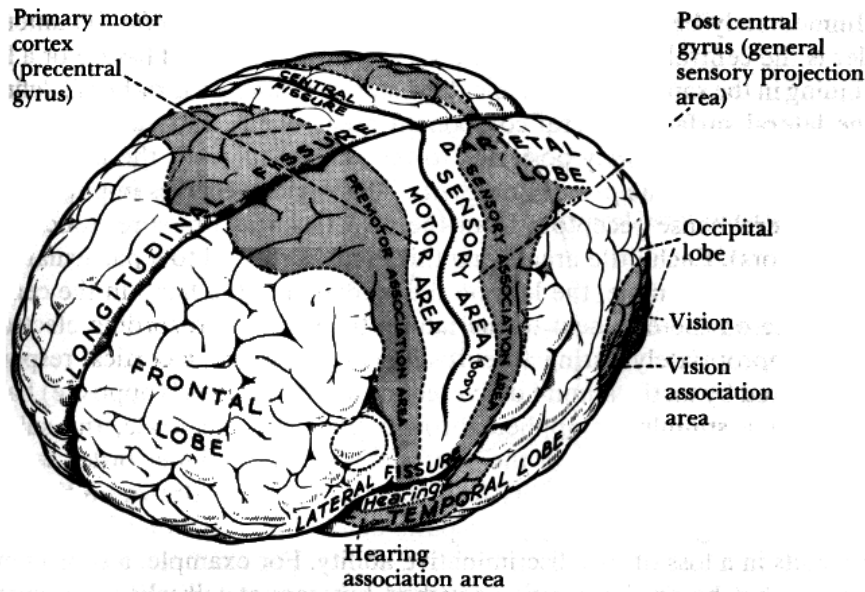


\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

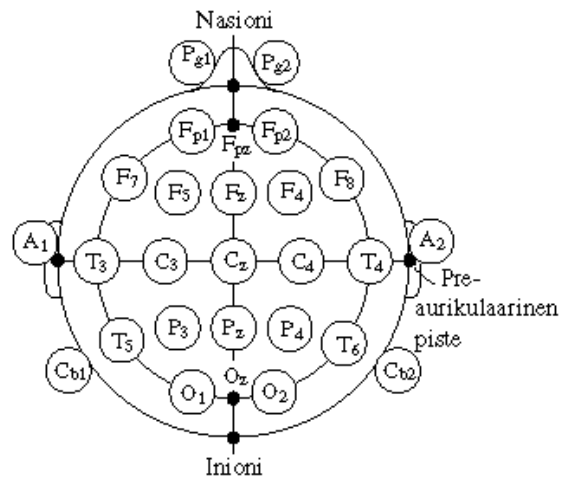
\*\*\*\*\*



**Figure 4.25** The cerebrum, showing the four lobes (frontal, parietal, temporal, and occipital), the lateral and longitudinal fissures, and the central sulcus. (From A. B. McNaught and R. Callander, *Illustrated Physiology*, 3rd ed., 1975. Edinburgh: Churchill Livingstone. Used with permission of Churchill Livingstone.)

## 9. Elektroenkefalografia (EEG)

Pään pinnalle asetettujen elektrodien välillä vaihtelevan jännitteen rekisteröintiä kutsutaan elektroenkefalografiaksi. Jänniteheilahdusten kesto ja amplitudi vaihtelevat pään eri osissa tajunnan ja muun aivotoiminnan mukaan. Mittaahan elektrodipari aivotoimintaa kuvaavan primäärivirtajakauman yhtä projektiota. Kuva esittää elektrodien paikkoja kansainvälisen **10-20-järjestelmän** mukaan. Parittomat numerot ovat vasemmalla, parilliset oikealla. Jos tavoitteena on kartoittaa potentiaali paikan funktiona, voidaan elektrodit asettaa mielivaltaisiin paikkoihin, kunhan antureita on riittävän tiheässä ja tiedetään missä mikin elektrodi on ollut.



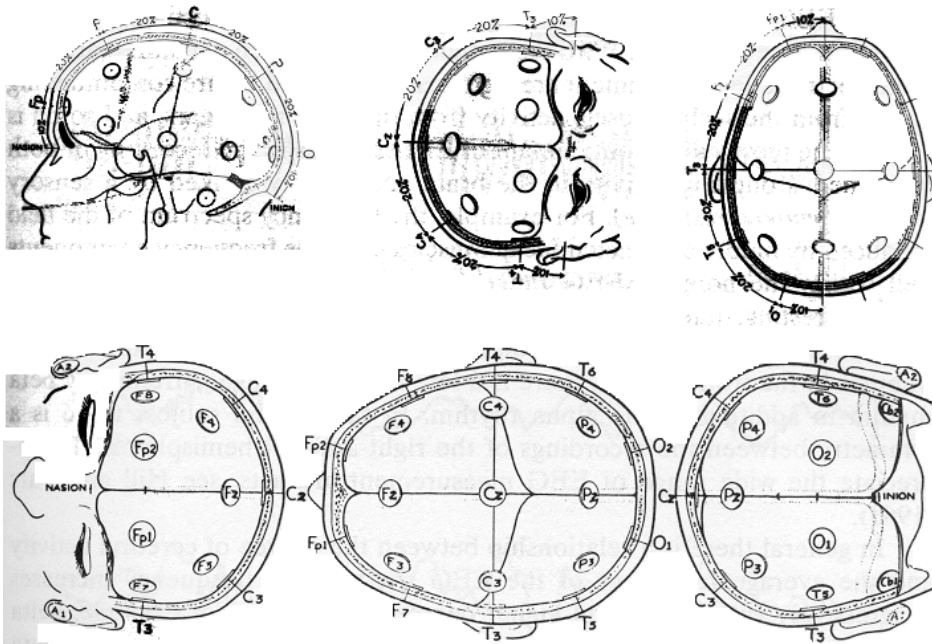
Elektrodien asettelu ns. 10-20 systeemin mukaan: nenäsivuelektrodit Pg1 ja Pg2, otsaelektrodit Fp1 ja Fp2, etulohkon elektrodit F7, F3, Fz, F4 ja F8, keskilohkon elektrodit C3, Cz ja C4, ohimolohkon elektrodit T3, T4, T5 ja T6, pääläenlohkon elektrodit P3, Pz ja P4, takaraivolohkon elektrodit O1 ja O2, korvalehden elektrodit A1 ja A2, sekä pikkuaivojen elektrodit Cb1 ja Cb2.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*



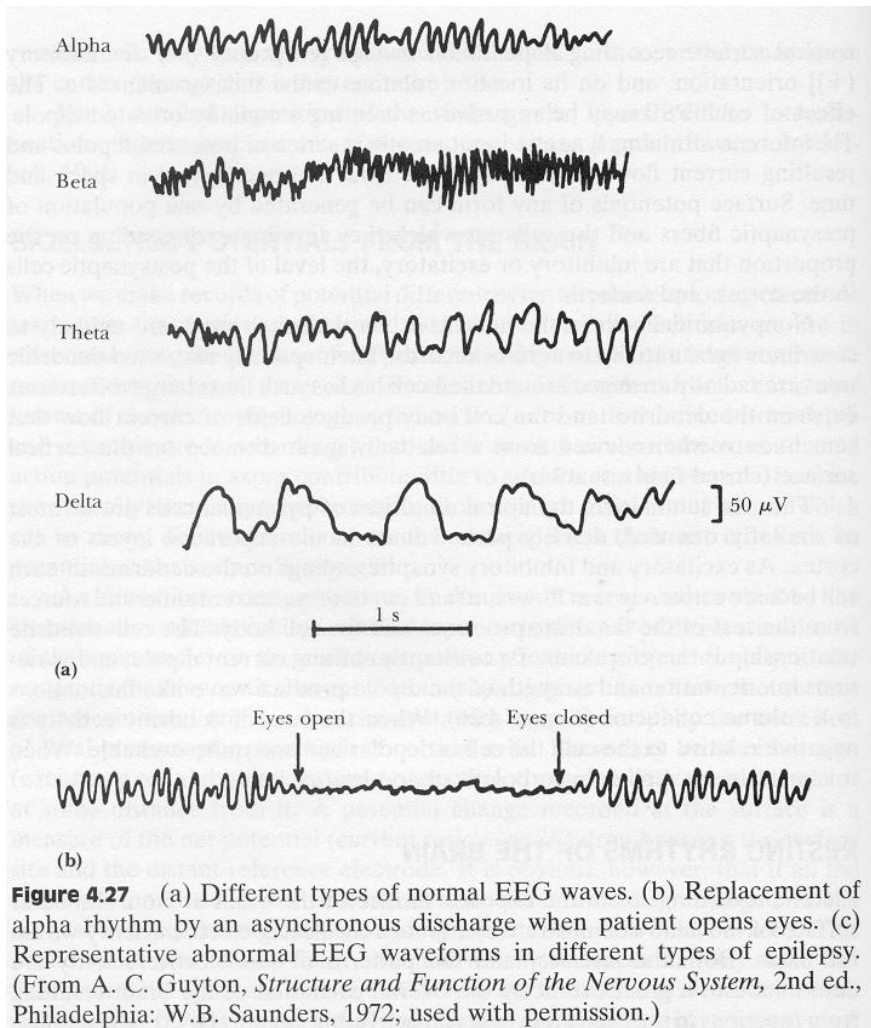
**Figure 4.28 The 10-20 electrode system** This system is recommended by the International Federation of EEG Societies. (From H. H. Jasper, "The Twenty Electrode System of the International Federation in Electroencephalography and Clinical Neurophysiology," *EEG Journal*, 1958, 10 (Appendix), 371-375.)

## 10. EEG:n aaltomuodot

EEG:n taajuusalue on noin 1-50 Hz; jänniteheilahdusten amplitudi on 5-300  $\mu\text{V}$ . Kun normaalihenkilö lepää hiljaisessa huoneessa valveilla, mutta silmät kiinni, havaitaan signaali, joka käsittää noin kymmenen heilahdusta sekunnissa. Tämän **alfarytmin** suurin amplitudi voidaan mitata päälaen- ja takaraivolohkoilla. Aistihavaintojen, etenkin näköärsykkeiden ja henkisten suoritusten yhteydessä alfarytmi häviää ja esiin tulee korkeampi taajuus, **beettarytmi** (13-25 Hz), jolloin EEG:n amplitudi selvästi pienenee (Kuva). Normaalihenkilöiden elektroenkefalogrammissa esiintyy harvoin hitaampia vaihteluja kuin alfa-aallot. Jos sellaisia näkyy valveilla olevilla henkilöillä (paitsi vastasyntyneillä), voi se olla merkki aivosairaudesta tai aivovauriosta. Hitaampia rytmejä kutsutaan nimillä **thetarytmi** (3-7 Hz) ja **deltarytmi** (0,5-3,5 Hz). Kuvassa 37 näkyy eräitä esimerkkejä.

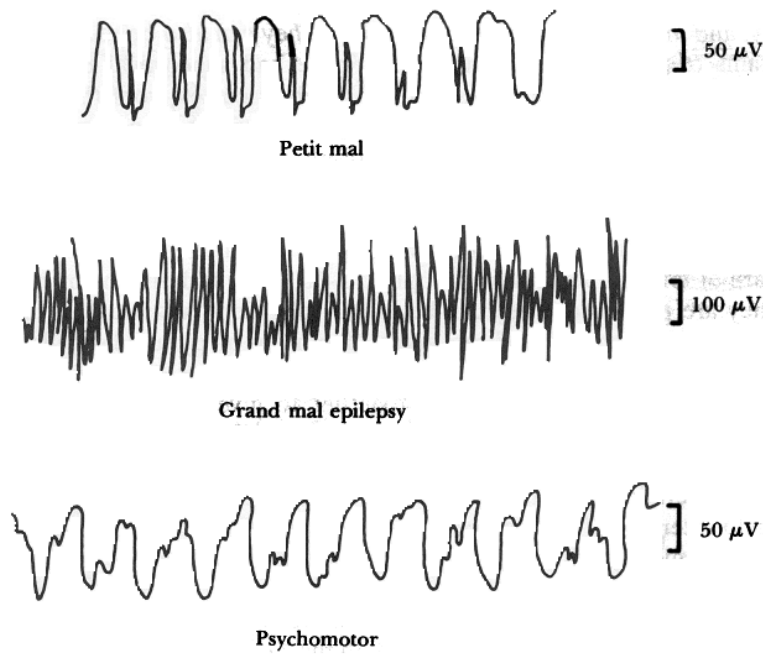
\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*



\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*



(c)

**Figure 4.27 (Continued)**

Type	Frequency (Hz)	Location	Normally	Pathologically
<u>Delta</u>	up to 4	frontally in adults, posteriorly in children; high amplitude waves	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ adults <a href="#">slow wave sleep</a></li> <li>▪ in babies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ subcortical lesions</li> <li>▪ diffuse lesions</li> <li>▪ metabolic encephalopathy</li> <li>▪ hydrocephalus</li> <li>▪ deep midline lesions</li> </ul>
<u>Theta</u>	4 – 7 Hz		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ young children</li> <li>▪ drowsiness or arousal in older children and adults</li> <li>▪ idling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ focal subcortical lesions</li> <li>▪ metabolic encephalopathy</li> <li>▪ deep midline disorders</li> <li>▪ some instances of hydrocephalus</li> </ul>

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

<a href="#">Alpha</a>	8 – 12 Hz	posterior regions of head, both sides, higher in amplitude on dominant side. Central sites (c3-c4) at rest .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ relaxed/reflecting</li> <li>▪ closing the eyes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ coma</li> </ul>
<a href="#">Beta</a>	12 – 30 Hz	both sides, symmetrical distribution, most evident frontally; low amplitude waves	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ alert/working</li> <li>▪ active, busy or anxious thinking, active concentration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <a href="#">benzodiazepines</a></li> </ul>
<a href="#">Gamma</a>	30 – 100 +		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ certain cognitive or motor functions</li> </ul>	

EEG-aaltojen perustana ovat hermosolujen sähköilmiöt. Vaikuttaa siltä, että pään pinnalta rekisteröitävissä olevat kortikaaliset jänniteheilahdukset syntyvät aivokuoren solujen postsynaptisten potentiaalien summana; aktiopotentiaalin primäärivirta on kvadrupolaarinen (kaksi vastakkaista dipolia), joten sen aiheuttamat kentät pienenevät nopeasti etäisyyden funktiona. Koska yksittäinen PSP synnyttää vain suuruusluokkaa  $10^{-14}$  Am olevan virtadipolin, tuhansien synapsien on aktivoituttava synkronisesti, jotta ilmiö nähtäisiin EEG:ssä.

Elektroencefalografiassa havaittavien rytmisten toimintojen, kuten alfarytmin, unisukkuloiden, unen aikaisten hitaiden aaltojen sekä valveeseen ja paradoksiseen uneen liittyvän desynkronisaation syntyä on viime vuosina selvitelty innokkaasti. Aaltomuodot perustuvat talamuksen ja aivokuoren välisiin oskillaatioihin. Hermosoluverkkojen toiminnalliset ominaisuudet näyttävät ainakin tällä alueella olevan solujen sisäisten sähköfysiologisten ominaisuuksien määräämiä: oskillaatiot syntyvät ilmeisesti talamussolujen solukalvojen ionikanavien toiminnan perusteella.

Väliaivojen vireystilaa säättävät tumakkeet ohjaavat talamussolujen sisäistä tilaa; tumakkeet sijaitsevat väliaivojen etuosassa ja väliaivojen ja aivorungon liittymäkohdassa: ne ovat erillään aivorungon noradrenergisistä ja serotonergisistä tumakkeista, jotka välittävät vaikutuksensa suoraan aivokuorelle. Näyttää siltä, että aivokuoren toiminta eri vireystiloissa määräytyy talamuksen toiminnan muutoksista: talamus ei ole pelkkä välisasema vaan tärkeä ohjausyksikkö. Talamuksen neuronien kalvojännitteen rytmiset oskillaatiot synnyttävät aivokuoren solujen unelle tyypilliset hitaat oskillaatiot; talamussolujen tasainen kalvojännite, joka liittyy tehostuneeseen synaptiseen transmissioon, taas luonnehtii valvetilaa. Solukalvon polarisaatioasteen vaihtelu voi siirtää talamussolun oskillaatorisesta tilasta transmissiotilaan vaikuttamalla kalvon ionikanaviin. Korkeampitaajuiset oskillaatiot (40 Hz:n luokkaa) näyttävät olevan vaikuttamassa, kun eri soluryhmien havaintoja samasta esineestä tai asiasta yhdistetään aivokuorella. Myös nämä oskillaatiot saattavat syntyä solujen ionikanavien spesifisten ominaisuuksien johdosta, mahdollisesti kuitenkin vasta aivokuorella.

Toisaalta on todettu, että suuret neuronijoukot pyrkivät toimimaan synkronisesti silloinkin, kun yhteydet talamukseen on katkaistu.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia



\*\*\*\*\*

## 11. Herätepotentiaalit

Herätepotentiaali (*evoked potential*) tarkoittaa jänniteheilahdusta, joka voidaan rekisteröidä sähköisesti aistinelinten, ääreishermoston tai keskushermoston ratojen ärsytyksen seurauksena. Tarkempi nimitys olisi **herätejännite**, sillä käytännössä aina mitataan potentiaalieroja elektrodien välillä. **Latenssilla** tarkoitetaan yleensä aikaa ärsyksen antamisesta hetkeen, jolloin jänniteheilahdus saavuttaa maksiminsa. Latenssiaikaan kuuluu johtumisaika ärsytyskohdasta tutkittavalle aivalueelle, synaptiset viiveet mukaan lukien, mutta lisäksi siihen vaikuttaa aktiivisuuden kasvaminen tutkittavalla alueella. Herätejännitteiden avulla voidaan tutkia eri hermoratojen toimintaa; niitä käytetään myös aivokuoren aistinalueiden kartoitukseen.

Herätepotentiaalien havaitsemista, jota myöhemmin käsitellään perusteellisemmin, vaikeuttaa aivojen spontaani toiminta. Tämän vuoksi sama koetilanne on toistettava lukuisia kertoja ja saadut signaalit laskettava yhteen, jolloin herätevaste tulee kohinan seasta näkyviin. On vain pidettävä huoli siitä, että koehenkilön mielenkiinto tehtävään säilyy toistoista huolimatta.

Herätepotentiaalın ns. **N100**, joka näkyy **Negatiivisena** heilahduksena pääläen ja korvaelektrodin välillä noin **100** ms ärsyksen jälkeen, saadaan helposti esiin mm. valonvälähdyksen, äänimerkin tai neulanpiston avulla. Tarkka viive herätteen antamisesta ja heilahduksen amplitudi riippuvat ärsyksen laadusta.

Eräät herätepotentiaalit mittaavat aivorungon tumakkeitten toimintaa (esim BAEP; *Brainstem auditory evoked potentials* 1-10 ms ärsykkeestä), toiset ärsyksen fyysikaalisten piirteiden aiheuttamaa aivokuoriaktivaatiota (esim keskilatenttiset vasteet 10-50 ms ärsykkeestä), ja osa (n. 150 ms eteenpäin) koehenkilön sisäisestä tilasta riippuvaa vastetta kuhunkin ärsykkeeseen. Nämä eri komponentit voidaan erottaa samasta aivosähkökäyrästä paitsi erilaisilla aikaikkunoilla, myös suodatuksella ja muuttelemalla ärsykettä.

## 12. Unitila

Kun nukkuva ihminen tai esim. kissa herätetään, häviää hidas, ns. **unisukkularytmi** EEG:stä ja desynkronoituu matala-amplitudiseksi nopeaksi toiminnaksi. Ilmiötä kutsutaan herätysreaktioksi, joka esiintyy myös silloin kun valveilla olevalle henkilölle esitetään äkkiä uusi ärsyke, esim. kova ääni tai valonvälähdys. Tähän ilmiöön liittyy normaalissa käyttäytymisessä havaittava suuntautumisreaktio, jonka avulla pyritään selvittämään ärsyksen aiheuttaja ja suuntaamaan katse sitä kohti. EEG-toiminta säilyy desynkronoituneena (korkeataajuisena) tarkkaavan valvetilan ajan.

Kaikille selkärankaisille on ominaista valveillaolon ja unen välinen rytmisen vaihtelu. Unen merkitystä ei tunneta, mutta on esitetty, että univaihe on välttämätön aivojen toiminnalle, jotta valveillaolon aikana kulutetut hermoston kannalta keskeisten aineiden varastot voitaisiin uusia. Aivojen hapenkulutus pysyy korkeana myös unen aikana. Unessa esiintyy eri syvyisiä vaihteita,

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

joiden kuluessa tajunnan taso ja refleksien laukaisemiseen tarvittavien ärsykkeiden voimakkuus vaihtelevat ja herättäminen on helpompaa tai vaikeampaa. Lihaskäynnitys vaihtelee; syvässä unessa se puuttuu kokonaan. Uni on yksi vireystilojen luokka. Niinpä on todennäköistä, ettei erityisiä "unikeskuksia" ole löydettävissä aivoista, vaan eri vireystilojen säätelymekanismit ovat yhteiset.

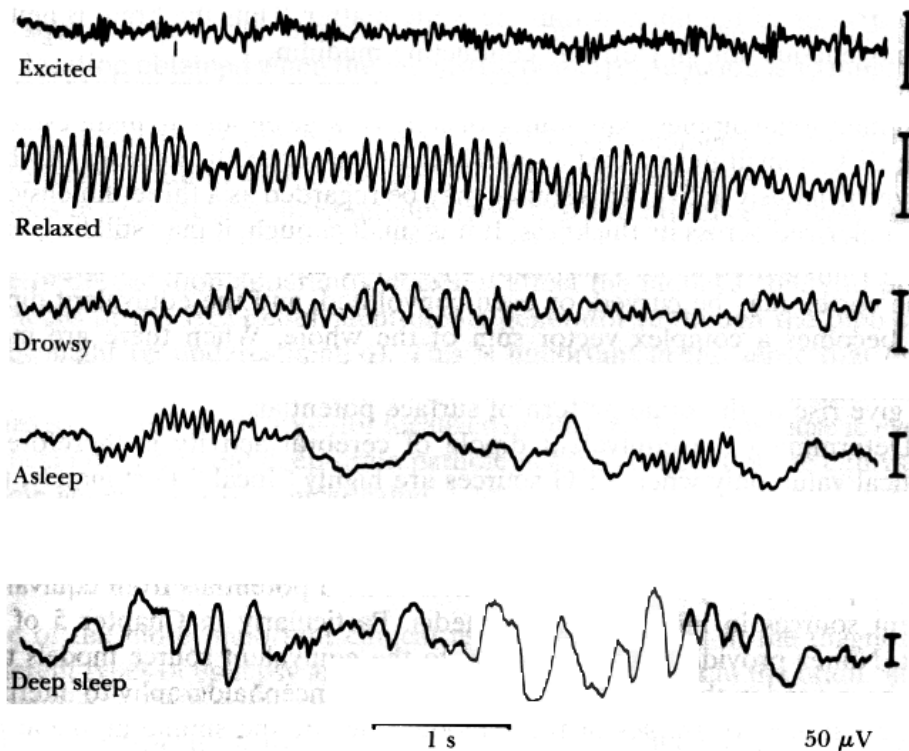
### **13. Unen luokitus EEG:llä**

EEG:llä rekisteröity uni luokitellaan viiteen eri tilaan:

- I) EEG:ssä esiintyy matalaa epärytmistä toimintaa
- II) ilmaantuu 12-15 Hz:n sukkuloita, theta- ja delta-aaltoja (50%)
- III) delta-aaltoja 20-50%
- IV) delta-aaltoja yli 50%
- V) Paradoksinen uni (PS) jossa lihaskäynnitys katoaa ja esiintyy nopeita silmänliikkeitä (REM). EEG:ssä on beta-aktiiviteettia ja pulssi ja hengitys ovat epäsäännölliset.

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*



**Figure 4.29** The electroencephalographic changes that occur as a human subject goes to sleep. The calibration marks on the right represent  $50 \mu\text{V}$ . (From H. H. Jasper, "Electroencephalography," in *Epilepsy and Cerebral Localization*, edited by W. G. Penfield and T. C. Erickson. Springfield, Ill.: Charles C. Thomas, 1941.)

## 14. Unen tutkiminen

Ihminen nukkuu noin kolmanneksen elinajastaan. Unen, erityisesti paradoksisen unen (PS), tarkoituksesta ei kuitenkaan ole selvää käsitystä. On väitetty että PS edustaisi periodista havahtumista unesta, muistijälkien kiinteytymistä, viettipaineiden purkautumista, ylimääräisten muistijälkien unohtamista, geneettisesti ohjelmoitujen käyttäytymiskaavojen ylläpitoa, aivojen kehittymistä tai informaation käsittelyä.

Unen estäminen aiheuttaa uneliaisuutta, suorituskyvyn laskua, hämärätiloja ja mikrounia. Hitaan unen, erityisesti IV asteen unen, on katsottu liittyvän kasvuun ja energiavarastojen uusiutumiseen. Kasvuhormonin määrä hitaan unen aikana kohoaa, kortisolin laskee. Ruumiillinen rasitus ja esim. saunominen lisäävät IV-asteen unta. Paradoksisen unen estäminen aiheuttaa lisääntyneen PS-määrän seuraavalle vuorokaudelle; mitäään emotionaalisia häiriöitä, toisin kuin alustavissa kokeissa väitettiin, ei PS-deprivaatiosta kuitenkaan aiheudu.

\*\*\*\*\*

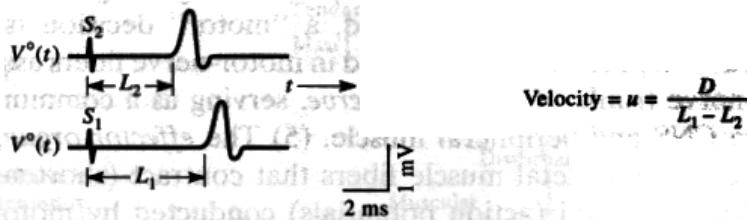
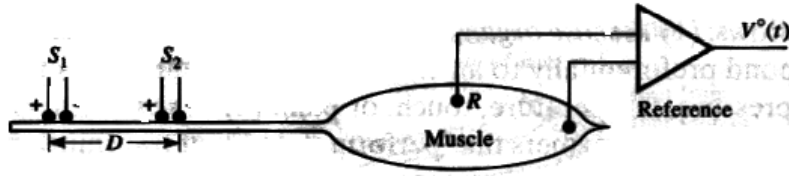
\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

## 4. Muita biopotentialien mittausräitelmää

### 15. Hermoston johtumisnopeusmittaukset



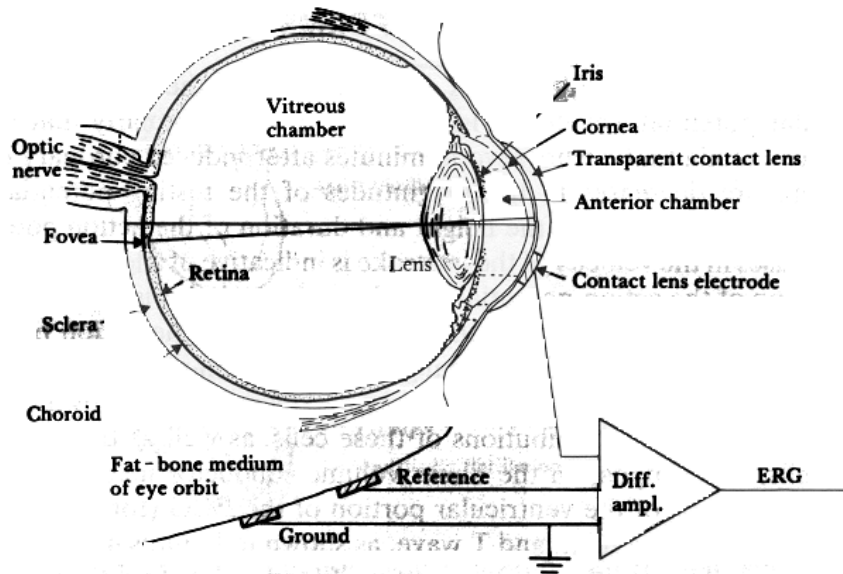
**Figure 4.7** Measurement of neural conduction velocity via measurement of latency of evoked electrical response in muscle. The nerve was stimulated at two different sites a known distance  $D$  apart.

**Elektroneuromyografia** (ENMG) eli hermo- ja lihassäkötkämus on lääketieteellinen tutkimusräitelmä, jolla sähköisesti tutkitaan hermojen ja lihasten tilaa. ENMG-tutkimus koostuu neurografiasta ja myografiasta. Neurografiassa mitataan sensoristen ja motoristen hermojen johtumista stimuloitaessa yleensä pintaelektrodein tutkittavaa hermoa tietyn matkan päästä mittaavaan elektrodiin halutun hermon kohdalla; mitattavia suureita ovat mm. johtumisnopeus, amplitudi ja vasteen muoto. Mittasuureiden avulla voidaan päätellä kunkin mitattavan hermon johtumisominaisuuksia ja saada selvyyttä hermoihin liittyvistä sairauksista

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

## 16. Elektro-okulogrammi (EOG)



**Figure 4.22** The transparent contact lens contains one electrode, shown here on horizontal section of the right eye. Reference electrode is placed on the right temple.

**Electrooculography (EOG/E.O.G.)** is a technique for measuring the [resting potential](#) of the [retina](#). The resulting signal is called the electrooculogram. The main applications are in [ophthalmological diagnosis](#) and in recording [eye movements](#). Unlike the [electroretinogram](#), the EOG does not represent the response to individual visual stimuli.

**Eye movement measurements:** Usually, pairs of electrodes are placed either above and below the eye or to the left and right of the eye. If the eye is moved from the center position towards one electrode, this electrode "sees" the positive side of the retina and the opposite electrode "sees" the negative side of the retina. Consequently, a potential difference occurs between the electrodes. Assuming that the resting potential is constant, the recorded potential is a measure for the eye position.

**Ophthalmological diagnosis:** The EOG is used to assess the function of the pigment epithelium. During [dark adaptation](#), the resting potential decreases slightly and reaches a minimum ("dark trough") after several minutes. When the light is switched on, a substantial increase of the resting potential occurs ("light peak"), which drops off after a few minutes when the retina adapts to the light. The ratio of the voltages (i.e. *light peak* divided by *dark trough*) is known as the *Arden ratio*. In practice, the measurement is similar to the eye movement recordings (see above). The patient is asked to switch the eye position repeatedly between two points (usually to the left and right of the center). Since these positions are constant, a change in the recorded potential originates from a change in the resting potential.

\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

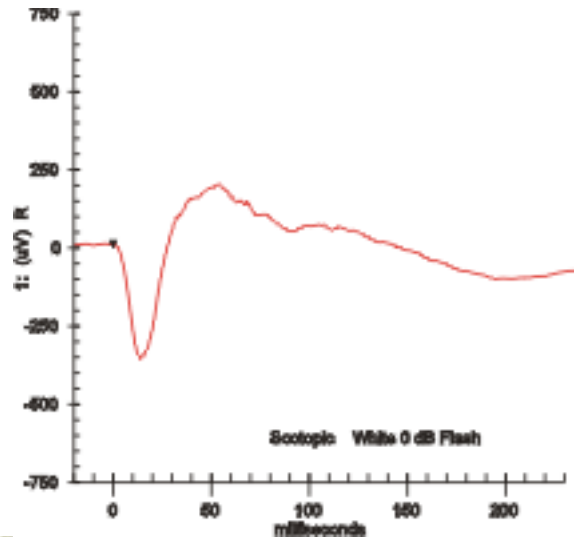
OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia

\*\*\*\*\*

## 17. Elektro-retinogrammi (ERG)

**Electroretinography** measures the electrical responses of various cell types in the [retina](#), including the [photoreceptors](#) ([rods](#) and [cones](#)), inner retinal cells ([bipolar](#) and [amacrine](#) cells), and the [ganglion cells](#). [Electrodes](#) are usually placed on the [cornea](#) and the skin near the [eye](#), although it is possible to record the ERG from skin electrodes.

During a recording, the patient's eyes are exposed to standardized [stimuli](#) and the resulting signal is displayed showing the time course of the signal's amplitude (voltage). Signals are very small, and typically are measured in microvolts or nanovolts. The ERG is composed of electrical potentials contributed by different cell types within the retina, and the stimulus conditions (flash or pattern stimulus, whether a background light is present, and the colors of the stimulus and background) can elicit stronger response from certain components.



If a flash ERG is performed on a dark-adapted eye, the response is primarily from the [rod system](#) and flash ERGs performed on a light adapted eye will reflect the activity of the [cone system](#). To sufficiently bright flashes, the ERG will contain an a-wave (initial negative deflection) followed by a b-wave (positive deflection). The leading edge of the a-wave is produced by the photoreceptors, while the remainder of the wave is produced by a mixture of cells including photoreceptors, [bipolar](#), [amacrine](#), and Muller cells.<sup>[1]</sup> The pattern ERG, evoked by an alternating checkerboard stimulus, primarily reflects activity of retinal ganglion cells.



\*\*\*\*\*

\*Copyright © 2009 Jukka Jauhiainen

OAMK Tekniikan yksikkö Hyvinvointiteknologia