

10.3 MAKU JA HAJU

Maun ja hajun reseptorit reagoivat limakalvoon liuenneisiin molekyyleihän, joten ne luokitellaan kemoreseptoreiksi, ja kehon ulkopuolista ympäristöä aistivina ne ovat ns. eksteroseptoreita. Vaikka perusmakuja on vain viisi, ne yhdistyvät kielen makunystyissä eri tavoin, ja lisäksi makuaistimukseen vaikuttavat samalla aistittavat hajut, koettu ruoan rakenne, lämpötila sekä näläntunne.

Maku

Makuaistitieto syntyy kielen tynnyrinmuotoisissa makunystyissä olevissa **makusilmuissa**. Makusilmut koostuvat 50–100:sta kymmenen päivän välein uusiutuvasta erikoistuneesta epiteelisolusta, joiden pinnalla on pitkät mikrovillukset. Makusilmuilla tunnistetaan syljessä olevia molekyyliä. Makunystyissä olevat epiteelisolut eivät varsinaisesti ole hermosoluja, mutta ne käyttäytyvät kuin hermosolut: niiden solukalvot depolarisoituvat, kun niihin kohdistuu sopiva molekyyli, ja ne vapauttavat välittäjäainetta makuhermon solukalvolle.

Kielen pinnalla on kolmea erityyppistä makunystyistä: sieninystyjä kielen etuosassa, vallinystyjä takaosassa ja lehtinystyjä takalaidoilla. Niissä tunnistetut molekyyli synnyttävät reseptoripotentiaalin, joka kulkee aistitietona keskushermostoon. Sieninystyjen aistitieto välitetään keskushermostoon kasvohermossa (VII) ja vallinystyjen sekä lehtinystyjen aistitieto välittyy kieli-kitahermossa (IX). Vagushermo (X) tuo makuaistimukseen sekoittuvaa aistitietoa kurkunpään alueelta. Aistitieto päättyä aivohermoja pitkin talamukseen, josta ohjataan aktiopotentiaalia aivosarekkeeseen ja kielen edustusalueelle sensoriselle aivokuorelle. Ydinjatkoksesta kulkee hermoratoja myös aivorungon makualueelle, josta on yhteyksiä limbiseen järjestelmään. Näin makuaistimukseen ilmeisimmin välittyy myös tunnesisältöä.

Makusilmut tunnistavat herkästi tiettyjä molekyyliä, jotka muutetaan makuaistitiedoksi. Viisi perusmakuja ovat **suolainen, hapan, makea, karvas ja umami**. Aikaisempi käsitys kielen eri osien erikoistumisesta aistimaan juuri tiettyjä makuja ei ilmei-

simmin pidä paikkansa, vaan kaikki kielen alueet ja niiden makunystyt pystyvät tulkitsemaan viittä eri perusmakuja. Kullakin makunystyksen epiteelisolulla on tietty molekyyli, johon ne reagoivat helpoiten. Monimutkainen makuaistimus syntyy depolarisoituneiden solujen yhteisestä tiedosta. Jos kielelle tulee vain suolaa eikä muita molekyyliä, niin makuaistimus liittyy pääasiassa suolaan. Yleensä ruuassa on kuitenkin montaa erilaista molekyyliä, ja siten makuaistimus on kaikkien aistittujen molekyylien sekoitus.

Suolaisen ja happaman maku syntyy ionikanavien läpäisystä. Natrium-ionit saavat suolaista tunnistavien makusilmujen solukalvon depolarisoitumaan, kun taas vapaat protonit depolarisoivat hapanta tunnistavien makusilmujen soluja. Polarisoituminen johtaa siihen, että kyseiset epiteelisolut vapauttavat välittäjäainetta aistiradan hermosolun solukalvolle, josta aistitieto välittyy aistittavaksi. Jos natriumiin liittyneenä on kloori-ioni, on makuaistimus suolaampi. Ilmeisesti Cl^- -ionien kyky läpäistä tiivisliitosvyöhyke muita anioneja helpommin liittyy tähän.

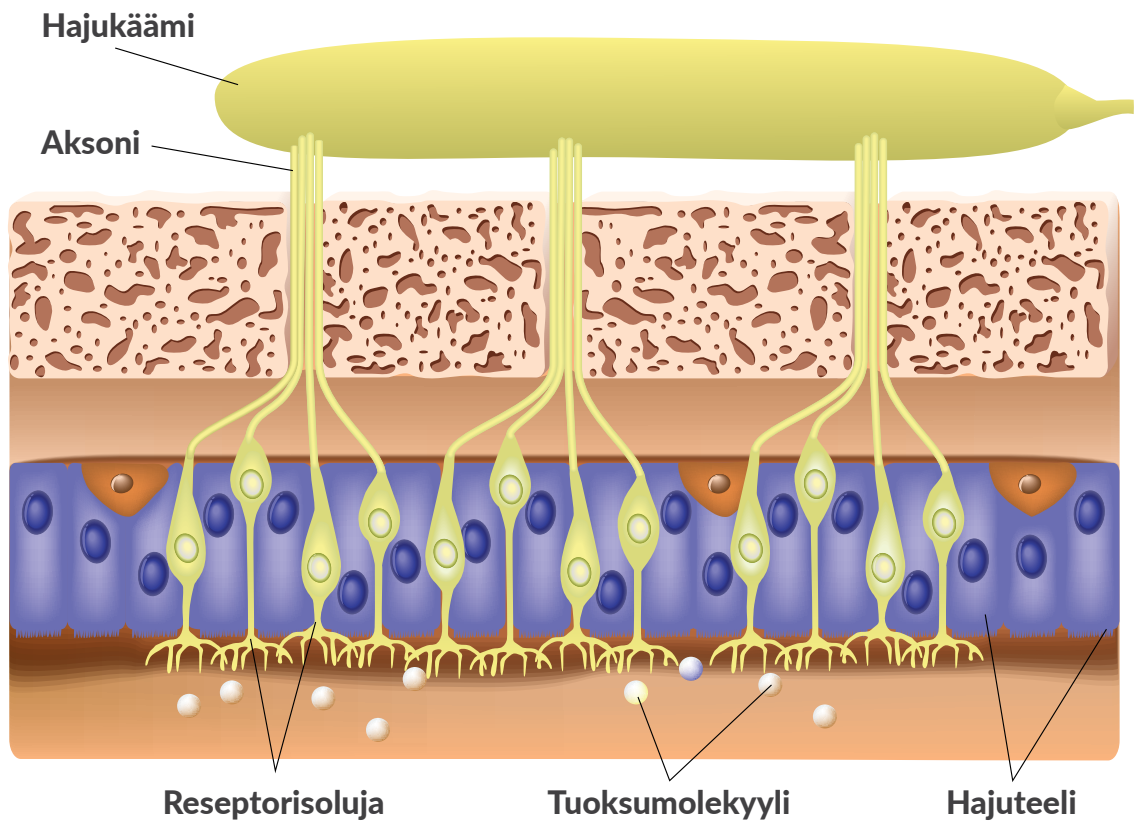
Makean, karvan ja umamin aistimus syntyy G-proteiinien aktivoitumisesta. Makea saadaan aikaan erilaisilla sokereilla, jotka vaikuttavat signaalivälityksellä kyseisten solujen välittäjäaine-eritykseen. Karvas maku saadaan aikaan muun muassa kofeiinilla ja kiniinillä. Umami, lihaisa makuaistimus liittyy tiettyihin aminohappoihin (L-glutamaatti, L-aspartaatti), jotka tarttuvat aistisolujen G-proteiineihin. Makea ja umami lisäävät molemmat ruokahalua, kun taas karvas vähentää ruokahalua. Tähän liittyy se, että useat myrkyt ovat katkeria.

Haju

Hajuaistimuksesta vastuussa olevat reseptorit sijaitsevat hajuepiteelissä. Reseptorisolu on bipolaarinen, ja sen toimintaa tukevat tukisolut. Tukisolujen entsyymeillä rasvaliukoisten aineiden kalvoläpäisyä vähennetään, jotta ne eivät pääsisi tätä reittiä pitkin aivoihin. Koska reseptorisolut ovat epiteelissä, niitä uusitaan kantasoluista. Hajuepiteeli uusiutuu parin kuukauden aikana.



KUVA kielen makunystyt ja -silmut.



KUVA Hajuteeli, reseptorit ja hajukäämi.

Reseptorisolujen dendriitti työntyy nenäonteloon, ja niiden kärjessä on mikrovilluksia, joiden solukalvolla on eri molekyyille reseptori. Hajureseptoreja on 350 erilaista, joten hajuaistimus syntyy isosta määrästä erilaisten aistireseptorien tietoa. Hajureseptorit ovat G-proteiinireseptoreita, joihin kiinnittynyt molekyyli saa lopulta aikaan Na^+ - ja Ca^{2+} -ionikanavien avautumisen. Näiden sisään virtaaminen reseptorien solukalvosta saa aikaan porrastetun depolarisaation, reseptoripotentiaalilin, joka sitten saa hajukäämissä aikaan aktiopotentiaalilin. Signaalivälitteinen toimintatapa mahdollistaa sen, että hyvin pienellä molekyyylimäärällä saadaan aikaan hajuaistimus. Esimerkiksi asetonin haistamiseen aistimisen kynnys (kuinka pieni määrä kyseistä molekyyliä riittää havaintoon) on $31,5 \text{ mg/m}^3$.

Hajureseptorisolulla on vain yksi myelinisoimatton aksoni, joka kulkee nenäontelon luun läpi ja muodostaa synapsin hajukäämin kanssa. Hajuaistitieto välitetään suoraan aivokuorelle eikä talamuksen kautta, kuten muuta aistitiedot. Jo hajukäämissä aloitetaan hajutiedon käsittely, ja hajut tarkentuvat lateraalisella inhibitiolla. Hajukäämin aistirata vien hajutiedon otsalohkon etualueille, jonne myös makutieto päättyy. Kun syödessä hengitetään nenän kautta, sekoittuu makuaistimukseen hajutieto. Koska haistettujen molekyylien pitää liueta nenäontelon limaan, on nuhaisen henkilön makukokemus normaalista poikkeava.

Hajukäämin tieto päättyy myös ohimolohkojen hajuaivokuorelle, josta on yhteydet hippokampukseen ja amygdalaan. Nämä rakenteet ovat osa limbistä järjestelmää, mikä selittää sen, miksi tietty haju voi niin voimakkaasti herättää tunnemuistoja.

Likipiste, pienin etäisyys, josta kohde nähdään tarkasti, muuttuu iän myötä. Jo 45-vuotiaiden silmän akkommodaatiokyky on merkittävästi heikentynyt. **Presbyopia** (ikä näkö) johtuu pääasiassa siitä, että linssin joustavuus vähenee ja ripustinsäikeiden paikka linssissä muuttuu hiukan eteenpäin. Näitten muutosten takia linssi ei pysty enää paksunemaan riittävästi ja likipiste jää iän myötä kauemmas silmästä. Linssin kyky taittaa on rajallinen, ja siksi muun muassa silmän halkaisijalla on tarkkaan näkemiseen vaikutusta. Liian pitkä silmän rakenne johtaa siihen, että vaikka linssi on litteimmillään, taittuu

kaukana oleva kohde tarkaksi ennen verkkokalvoa. Tämä likitaittoisuus (**myopia**) voidaan korjata valoa hajauttavalla, koveralla linssillä. Lähelle katsominen myopiassa onnistuu normaalisti mukautumalla. **Hyperopiassa** (kaukotaittoisuus) silmän rakenne on liian lyhyt ja kaukana oleva kohde näkyy tarkkana vasta verkkokalvon jälkeen. Linssi pystyy mukautumaan kaukana olevien kohteiden tarkkaan näkemiseen, mutta linssin mukautuminen lähellä oleviin kohteisiin ei ole riittävä. Tarvitaan valoa kasaava, kupera linssi, että lähellä olevat kohteet näkyvät tarkkana verkkokalvolla.

10.7 VERKKOKALVO

Fotoreseptoreita on kahta tyyppiä: **sauvoja** (*rods*) ja **tappeja** (*cones*). Niissä molemmissa on näköpigmenttimolekyylejä, joissa tapahtuu rakenteen muutos, kun valo osuu niihin. Fotoreseptorien ja verkkokalvon muiden hermosolujen yhteinen toiminta johtaa lopulta näköaistitiedon etenemiseen näköhermossa. Sauvasoluja on verkkokalvolla noin 120 miljoonaa ja tappisoluja noin 6 miljoonaa kummassakin silmässä. Kehon kaikista aistireseptoreista verkkokalvon sauva- ja tappisolut edustavat jopa 70 %:n osuutta.

Verkkokalvon pohjalla on yhden solun paksuinen kerros (sauvat ja tapit) sekä useamman solun kerros yhteistoiminnassa näkö tiedon tuottavia hermosoluja. Verkkokalvon on todettu toimivan kuten aivot. Verkkokalvo onkin aivojen eteenpäin työntynyt jatke, ja näköhermon myeliinituppi on peräisin oligodendrosyyteistä eikä Schwannin soluista. Valo joutuu läpäisemään koko hermosolukerroksen ennen kuin lopulta päättyy sauva- ja tappisolujen solukalvolle.

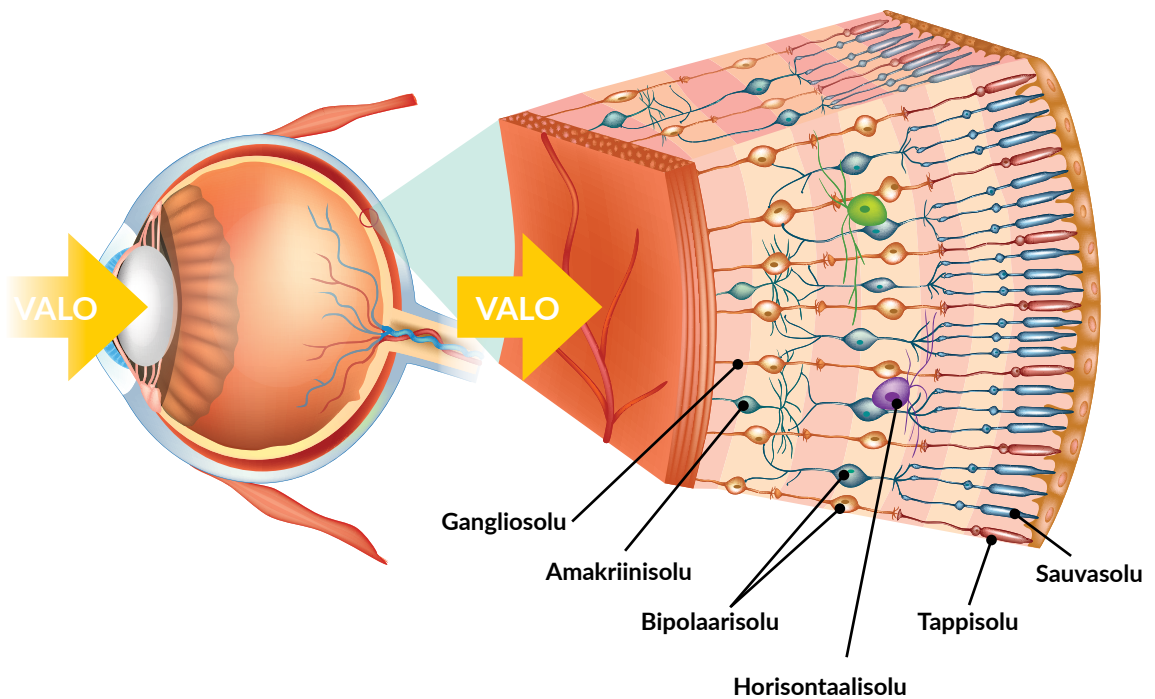
Fotoreseptorit ovat yhteydessä muiden verkkokalvon hermosolujen kanssa niin, että fotoreseptorien tieto välittyy verkkokalvon pohjalta pois päin. Hermosolujen uloin solu, **gangliosolu**, muodostaa aksoneillaan näköhermon. Gangliosolut ovat yhtey-

dessä **bipolaarisoluihin**, jotka taas ovat suoraan yhteydessä sauva- ja tappisoluihin. Gangliosolut ja bipolaarisolut ovat vielä yhteydessä **horisontaali-** ja **amakriinisoluihin**, jotka säätelevät kyseisten solujen toimintaa.

Valon vaikutus sauvasoluihin

Jokainen sauva- ja tappisolu koostuu sisä- ja ulko-osasta. Ulko-osa sisältää satoja säännöllisesti poimuttuneita kalvopusseja, joissa oleva näköpigmentti absorboi valoa. Jokainen sauvasolu sisältää tuhansia valoa absorboivia näköpigmenttejä, joita kutsutaan **rodopsiiniksi**. Sauvasolut ovat erityisen herkkiä valolle, joten niillä nähdään vähäisesäkin valossa. Valon aallonpituus, joka absorboituu rodopsiiniin parhaiten, on noin 500 nm (sinivihreän valon aallonpituus). Siksi vihreät kohteet näkyvät paremmin hämärässä kuin esimerkiksi punaiset.

Kun valon aallonpituus absorboituu sauvasoluun, hajoaa rodopsiini kahteen osaan: A vitamiinijohdannaiseen **retinaaliin** ja **opsiini**-proteiiniin. Retinaali voi olla kahdessa erillisessä muodossa: all-trans- ja 11-cis-muodossa. Näistä all-trans-muoto on vakaampi, mutta vain 11-cis-muoto voi kiinnittyä opsiiniin. Sauvasoluun absorboitunut valo muuttaa 11-cis-retinaalin all-trans-retinaaliksi, ja tällöin se irtaoo opsiinista.



KUVA Verkkokalvon rakenne ja fotoreseptorit.

Tämä rodopsiinin hajoamistahtuma saa aikaan sauvasolujen solukalvolla ioniläpäisymuutoksen, joka lopulta johtaa aktiopotentiaalin etenemiseen gangliosolujen aksoneissa, näköhermoissa. Jotta rodopsiinin toiminta voidaan palauttaa perustilaansa, pitää retinaali muuttua takaisin all-trans-muodosta 11-cis-muotoon. Fotoreseptoreilla ei kyseistä muutosta tukevaa entsyymiä (cis-trans-isomeraasi) ole, joten all-trans-retinaali kuljetetaan verkkokalvon pigmenttisoluhiin, jossa muutos tapahtuu. Tämän jälkeen 11-cis-retinaali palautuu opsiiniin ja sauvasolu kykenee taas reagoimaan valoon.

Valon vaikutuksesta tapahtuva rodopsiinin hajoaminen ja 11-cis-retinaalin uudelleen palauttaminen vie oman aikansa. Kun henkilö menee valoisasta pimeään, on näkeminen heikkoa. Täydellinen **hämärään adaptoituminen** vie noin 20 minuuttia. Vain valon absorboituminen aiheuttaa rodopsiinin hajoa-

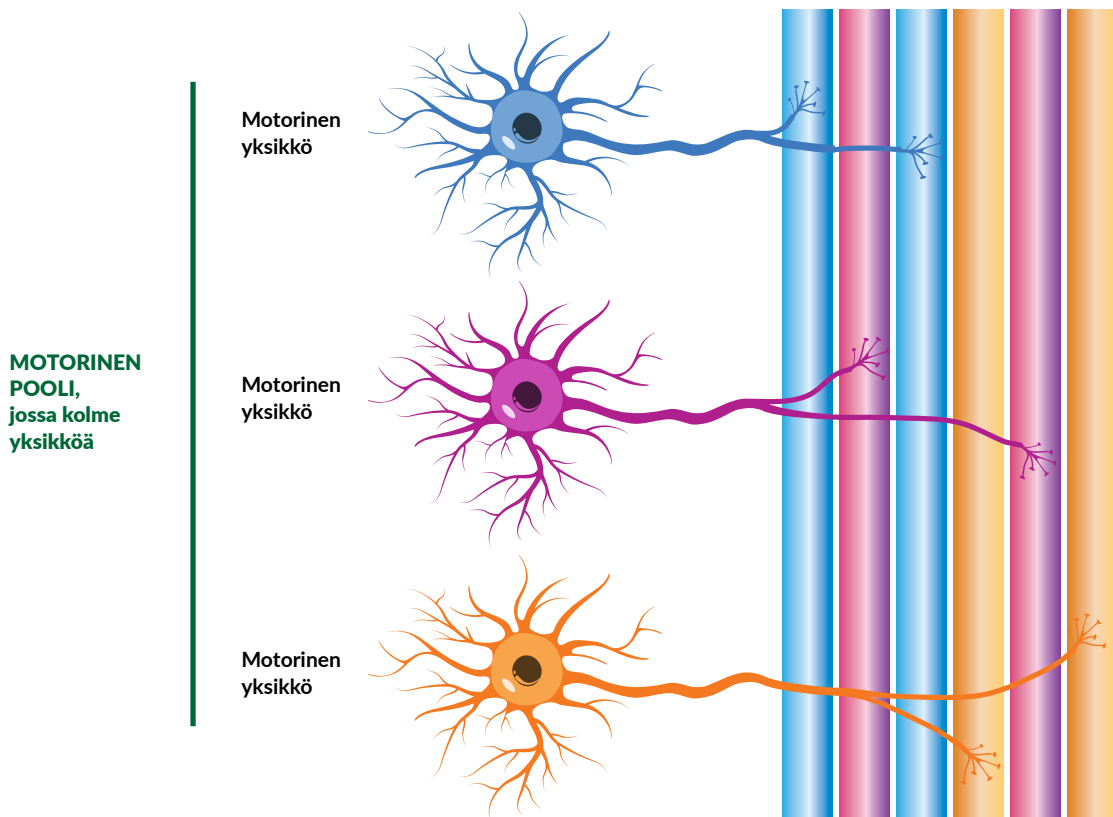
misen, ja koska rodopsiini absorboi heikosti punaisen aallonpituutta, ei punainen valo haittaa hämäränäkökykyä samoin kuin muut valon aallonpituudet. A-vitamiinin puutos heikentää hämäräadaptaatiota.

Verkkokalvon hermosolujen hyperpolarisoituminen ja yhteistoiminta

Valon vaikutuksesta fotoreseptorin solukalvo ei depolarisoidu, vaan hyperpolarisoituu. Tapahtuu siis täysin päinvastoin kuin muissa aistireseptoreissa. Tähän on syynä se, että fotoreseptorit estävät välittäjäaineellaan bipolaarisoluja silloin, kun valotieto ei fotoreseptoreihin ole tullut. Bipolaarisolujen estäminen on välttämätöntä, etteivät ne pääse vapauttamaan gangliosoluja kiihdyttävää välittäjäainetta. Valon vaikutuksesta hyperpolarisoitunut fotoreseptori ei enää estä bipolaarisolua depolarisoimasta gangliosolua, ja siten aistitieto etenee gangliosolu-

paksuuden perusteella. Vaikka lihakset ovat ns. sekalihaksia (useammasta luustolihasryhmästä koostuvia), niin motoriset yksiköt eivät ole sekayksiköitä, vaan niissä on vain tiettyjä lihassolutyyppejä, ja niitä hermottaa eri paksuinen α -motoneuroni. Lih-

solutyyppejä käsitellään myöhemmin tässä luvussa. Ohuita α -motoneuroneja saadaan helpommin aktivoitua, jolloin kyseisiä motorisia yksiköitä käytetään lihaksen motorisesta poolista useimmin.



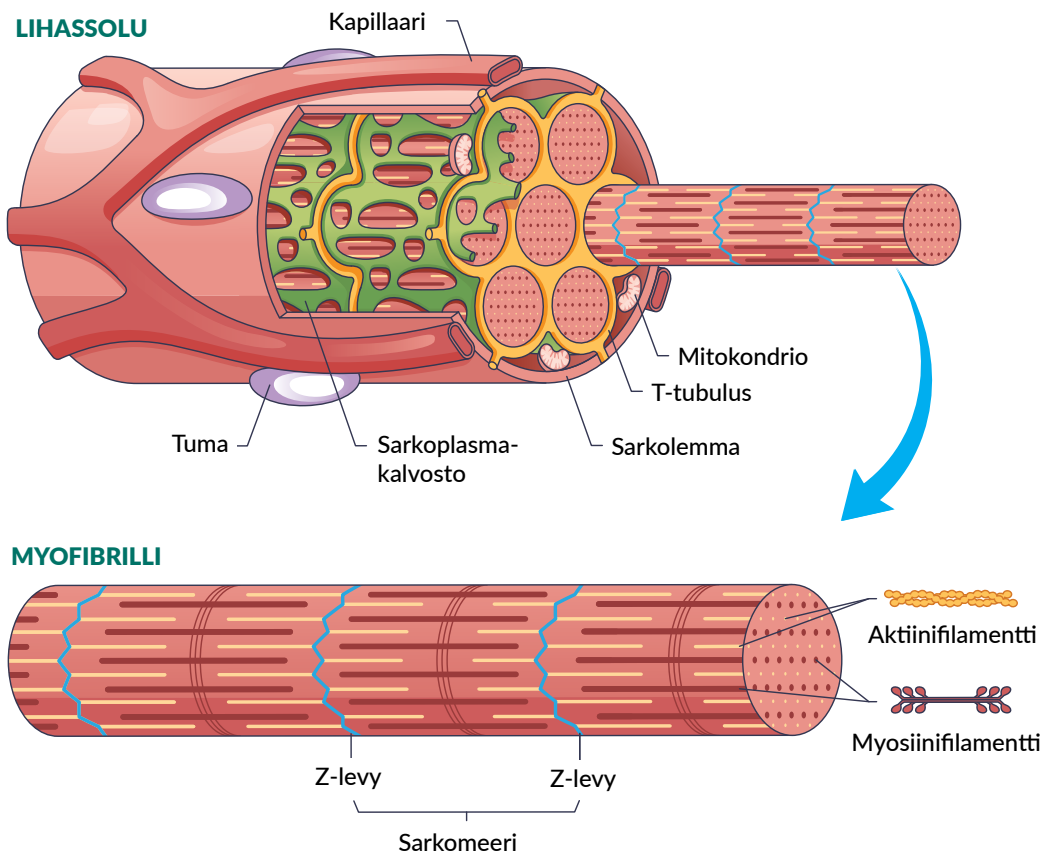
KUVA Motorinen pooli.

12.2 LUUSTOLIHAKSEN SUPISTUMINEN

Kukin lihassolu muodostuu myofibrilleistä, lihassäikeistä, jotka koostuvat sarkomeerien sisällä aktiini- ja myosiinifilamenteista. Lihassupistus tapahtuu aktiini- ja myosiinifilamenttien liukuessa lomittain. Tätä tapahtumaa säätelee lihassolun solukalvon depolarisoinnin jälkeinen Ca^{2+} -ionipitoisuuden nousu lihassolun solulimassa.

Nämä myofibrillit ovat noin 1–2 mikrometriä (μm) halkaisijaltaan. Myofibrillit ovat lihassolussa tiiviisti rinnakkain, minkä takia soluelimet pakkautuvat myofibrillien väliin tiloihin solulimassa. Myofibrillit muodostuvat paksummista (noin 110 Å, $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$) myosiinifilamenteista ja ohuemmista (50–60 Å) aktiinifilamenteista, ja näitä kutsutaan yhteisnimityksellä **myofilamentit**.

Myofilamenttien asettuminen sarkomeerien organisaatiossa antaa poikkijuovalle lihakselle sen ulkonäön: I-alueella on lähinnä Z-levyssä kiinni olevia aktiiniproteiinifilamenteja, A-alueella molempia myofilamenteja ja keskellä H-alueella on vain myosiiniproteiinifilamenteja, ja H-alueen keskilinjaa kutsutaan M-linjaksi. Z-levyt sijaitsevat I-alueiden keskellä, koska viereisten sarkomeerien aktiiniproteiineja on kiinni Z-levyn molemmilla puolilla. Koska aktiiniproteiinifilamentit ovat kiinni Z-levyissä, ne pysyvät hyvin paikallaan, mutta myosiiniproteiinifilamentit kiinnitetään Z-levyyn pitkällä titiiniproteiiniaketjulla. Titiinillä on oma roolinsa lihaksen elastisuudessa.



KUVA Luustolihasen rakenne.

Veren kuljettaminen kuuluu verenkiertoelimistön tärkeimpiin tehtäviin. Kuljettamisen yhteydessä kudoksissa syntyneiden kuona-aineiden poistaminen on välttämätöntä. Tähän tehtävään verenkierrossa on eri arvioiden mukaan reilut 95 000–110 000 kilometriä verisuonistoa ja sydän ”pumppuna” hoitamassa tuota tärkeää kuljetustehtävää.

Imunesteen kuljetus on verenkierron rinnalla toinen tärkeä kuljetusjärjestelmä. Kuljetustehtävän lisäksi lymfaattinen eli imunestejärjestelmä liittyy läheisesti elimistön immuunipuolustukseen.

Immuunipuolustuksen toimintoja käsitellään omassa luvussaan.

14.1 VERENKIERTOELIMISTÖN TEHTÄVÄT JA RAKENNE

Verenkiertoelimistön tehtävät voidaan jakaa karkeasti kolmeen alueeseen: kuljetukseen, säätelyyn ja suojelutehtäviin.

1. Kuljetus. Kaikki solujen aineenvaihdunnalle välttämättömät aineet kulkeutuvat verenkierrossa.

a. Hengityselimistä kudoksiin ja kudoksista hengityselimiin: punasolujen hemoglobiinimolekyyleissä kuljetetaan happea keuhkoista soluihin ja hiilidioksidia kudoksista keuhkoihin.

b. Ruoansulatuskanavasta kudoksiin: Ruoansulatuskanava on vastuussa ruuan mekaanisesta ja kemiallisesta hajottamisesta imeytymismuotoon. Veressä imeytyneet aineet kuljetetaan maksaan ja muualle kehoon.

c. Virtsaneritys: aineenvaihduntajätteet (kuten urea), liika vesi ja ionit sekä muut molekyylit, joita keho ei juuri sillä hetkellä tarvitse, kuljetetaan veressä munuaisiin suodattamaan ja erittymään virtsaan.

2. Säätely. Verenkiertojärjestelmä hoitaa sekä hormonaalista säätelyä että ydinlämpötilan säätelyä.

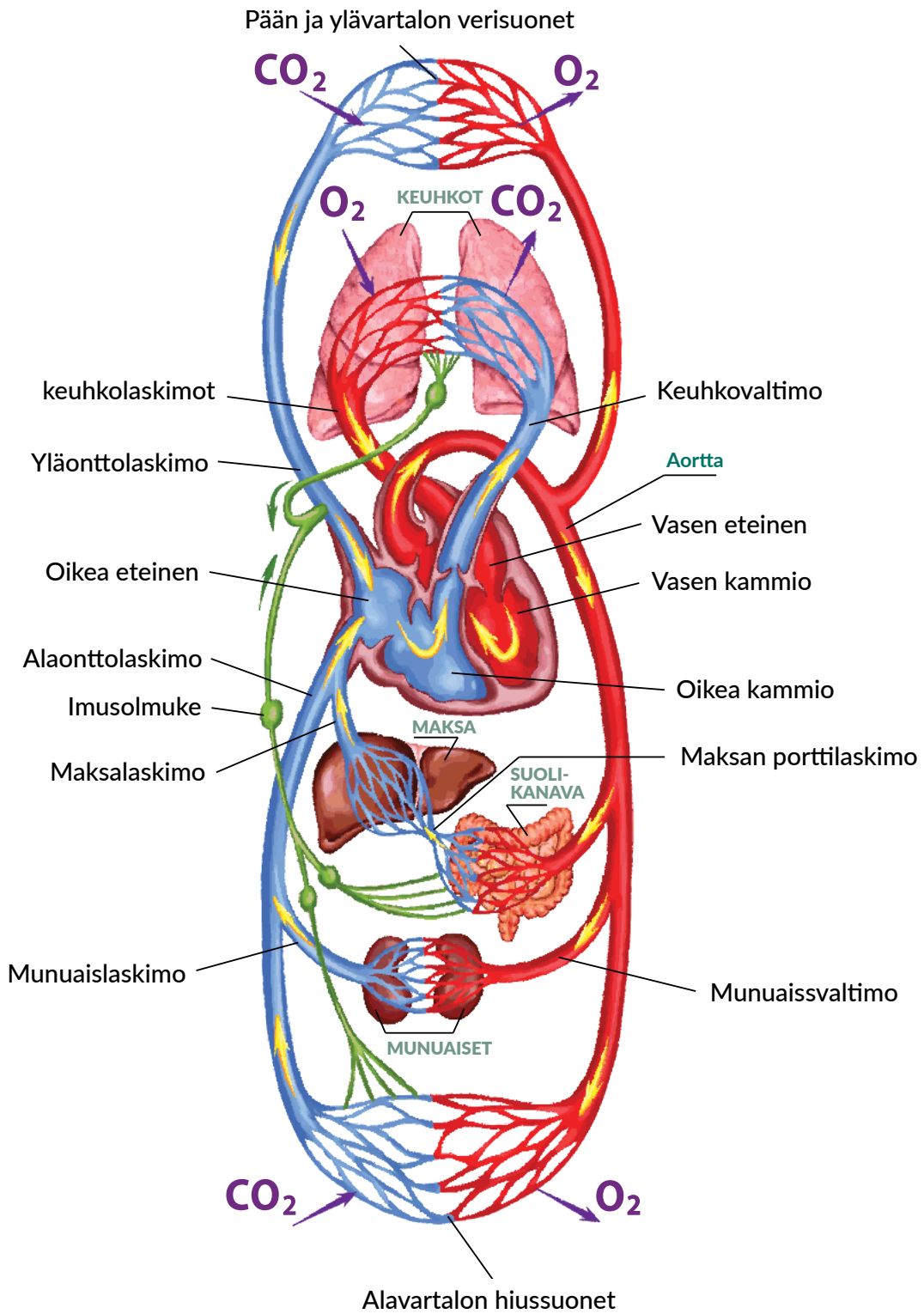
a. Umpieritysjärjestelmä: veri kuljettaa hormoneja niitä erittävistä rauhasista kaukanakin oleviin kohdekudoksiin, joissa hormonit säätelävät eri toimintoja.

b. Ydinlämpötilan säätely: Lämpötilan säätelyssä veri tuo ydinalueilta ihon pintaan verta viilenemään, kun ydinlämpötila on liian korkea. Pintaan tulevan veren määrää vähennetään, kun ydinlämpötila on liian alhainen.

3. Suojaus. Verenkiertojärjestelmä estää veren menettämistä vammoissa ja suojaa taudinaiheuttajalta.

a. Hyytyminen: hyytymismekanismi suojaa verenhukalta verisuonivaurioissa.

b. Immuunipuolustus: valkosolujen (leukosyyttien) toiminnalla torjutaan taudinaiheuttajia.



KUVA Verenkierto ja immunestejärjestelmä kaavakuva.

Verenkiertoelimistön rakenne

Elimistön ”nestekierto” koostuu sydämen pumppaustoiminnasta sekä verisuonten ja imunestejärjestelmän toiminnallisesta kokonaisuudesta. Sydämen ja verisuonten toimintatapa on ns. kiertojärjestelmä, kun taas imunestejärjestelmä on kudostenestettä keräävä yksisuuntainen järjestelmä. Siinä missä sydän ja verisuonet muodostavat **verenkiertojärjestelmän**, muodostuu **imunestejärjestelmä** imusuonten, imusolmukkeiden, pernan, kateenkorvan sekä nielu- ja kitarisojen muodostamasta kokonaisuudesta.



VIDEO Verenkierto.

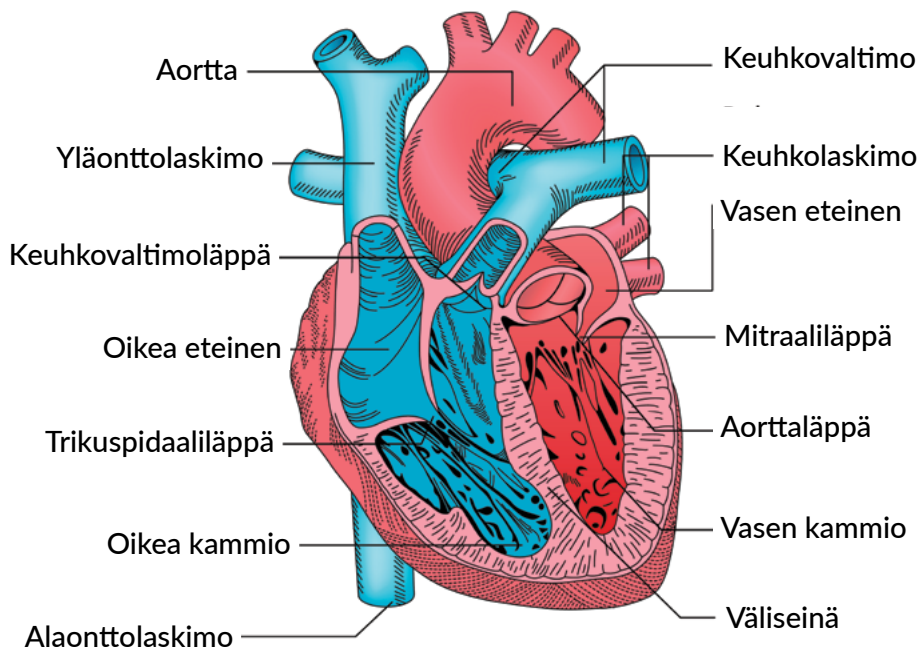
Sydän (*cor*) on nelionteloinen lihas, joka luo supistustoiminnallaan hydrostaattisen paineen verisuoniin. Verisuonten valtimopäihin luodaan sydänlihaksen supistustyöllä korkeampi paine kuin laskimopäässä vallitsee. Koska neste etenee korkeammasta paineesta pienemmän paineen suuntaan, saadaan veri kulkemaan verisuonissa valtimoista laskimoihin. Tämä pätee kehon verisuonissa kaikkialla.

Levossa aikuisen sydän pumppaa noin 5 litraa verta minuutissa, eli koko veritilavuus kulkee minuutissa sydämen onteloiden kautta. **Verisuonet** muodostavat putkimaisen verkoston, joka jakaa veren kaikille kudoksille ja siellä oleville soluille. Jokaisen solun lähellä kulkee jonkinlainen hiussuoni eli kapillaari, ja kapillaarin ulkopuolelle suodattunut osa verestä on solujen käytössä.

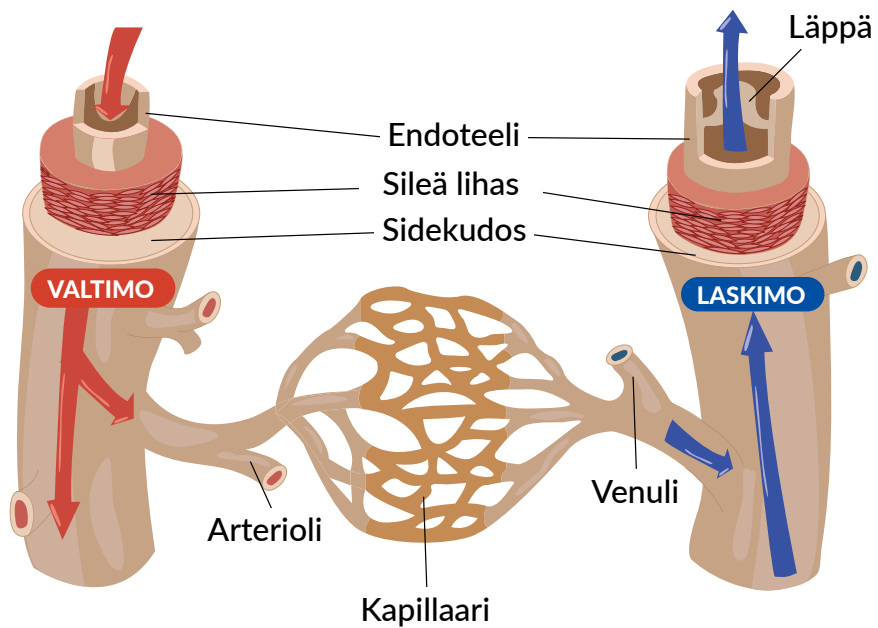
Valtimot jatkuvat **laskimoiksi** pienempien verisuonten, kapillaarien, muodostaman **kapillaaripedin** kautta. Ennen kapillaaripetiä olevia kaikkein pienimpiä valtimoita kutsutaan **arterioleiksi**, ja heti kapillaaripedin jälkeen olevat pienimmät laskimot ovat **venuleita**. Vain kapillaareissa tapahtuu nestevaihto verenkierrosta kudostenesteeksi ja kudostenesteestä verenkiertoon. Tätä tapahtumaa ei pidä erheellisesti kutsua aineenvaihdunnaksi, koska metaboliaa (anabolista tai katabolista) kyseinen tapahtuma ei ole.

Kun veri kulkee kapillaaripedissä, niin veriplasman osa **suodattuu eli filtroituu** hydrostaattisen paineen vaikutuksesta ulos verenkierrosta. Tuota syntynyttä **ultrafiltraattia** kutsutaan kudostenesteeksi eli interstitiaalinsteeksi, ja sitä syntyy peruskudoksiin noin 20 litraa päivässä. Vastaavanlaista ultrafiltraattia syntyy erityisen paljon munuaisten nefroneissa alkuvirtsana peräti 180–200 litraa päivässä.

Suurin osa (noin 90 %) ultrafiltraatista palaa erityisellä mekanismilla takaisin kapillaareihin, mutta loppuosa tästä nesteestä päättyy **imuhiussuonten** keräämänä eri reittiä pitkin takaisin verenkiertoon. Imuhiussuonissa kulkeva **imuneste eli lymfa** kulkeutuu imusolmukkeiden kautta tietyille alueille laskimoihin, jolloin niiden keräämä osuus kudostenesteestä palaa verenkiertoon takaisin. Imusolmukkeissa olevat valkosolut puhdistavat veren mahdollisista taudinaiheuttajista. Lymfaattista järjestelmää käsitellään tarkemmin myöhemmin tässä luvussa.



KUVA Sydämen ontelot, läpät ja suuret verisuonet.



KUVA Arterioli, kapillaaripeti ja venuli.

Depolarisaation johtuminen sydämessä

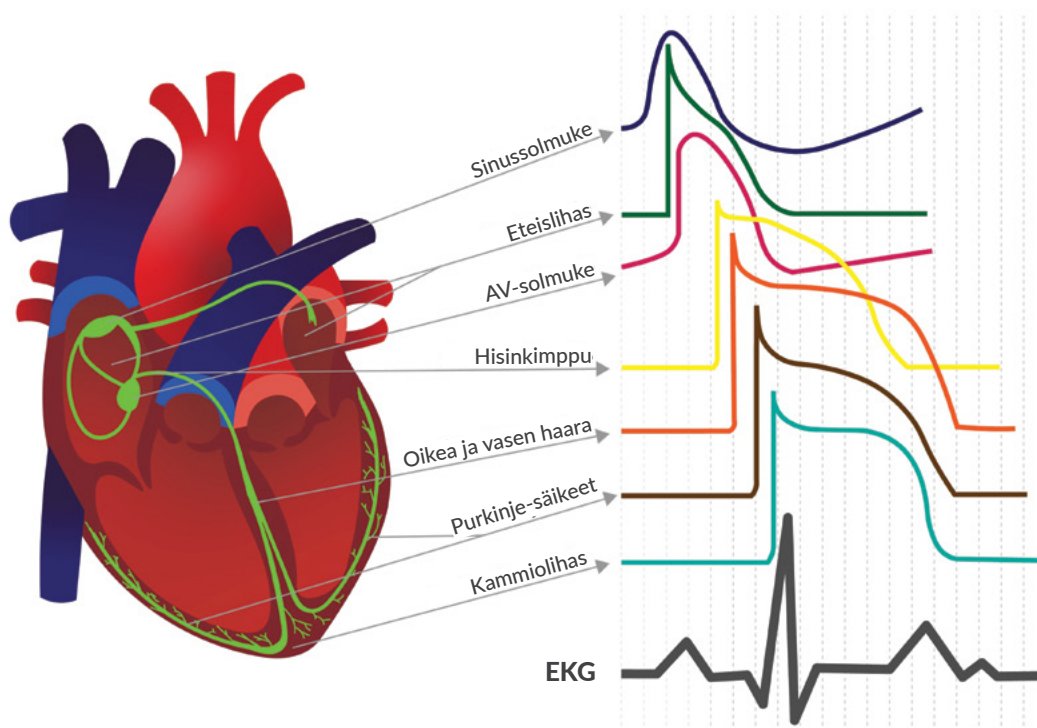
Sinussolmukkeesta peräisin olevat depolarisaatiot leviävät oikean ja vasemman eteisen sydänlihassolusta toiseen aukkoliitosten avulla. Eteisistä suoraan kammioihin depolarisaatio ei kuitenkaan sellaisenaan etene, koska eteisten ja kammioiden välissä oleva sidekudosrenkas estää depolarisaation leviämistä. Johtoradan tehtävä on toimittaa sinussolmukkeen depolarisaatio sydämen eri osiin ja siten myös kammioihin. Johtoratajärjestelmä koostuu sinussolmukkeen lisäksi eteiskammiosolmukkeesta, Hisin kimpusta, väliseinän oikeasta ja vasemmasta haarasta sekä Purkinjen säikeistä.

Kun sinussolmukkeen depolarisaatio on levinnyt eteisen läpi, se etenee eteiskammiosolmukkeeseen, eteisten alareunaan. Tästä depolarisaatio jatkuu Hisin kimpun kautta sidekudosrenkaan läpi kammioiden väliseinään. Väliseinässä on paksut vasen ja oikea haara, joita pitkin depolarisaatio päätyy Purkinjen säikeisiin, jotka kaartuvat kammion vasempaan ja oikeaan kammioseinämään ylöspäin.

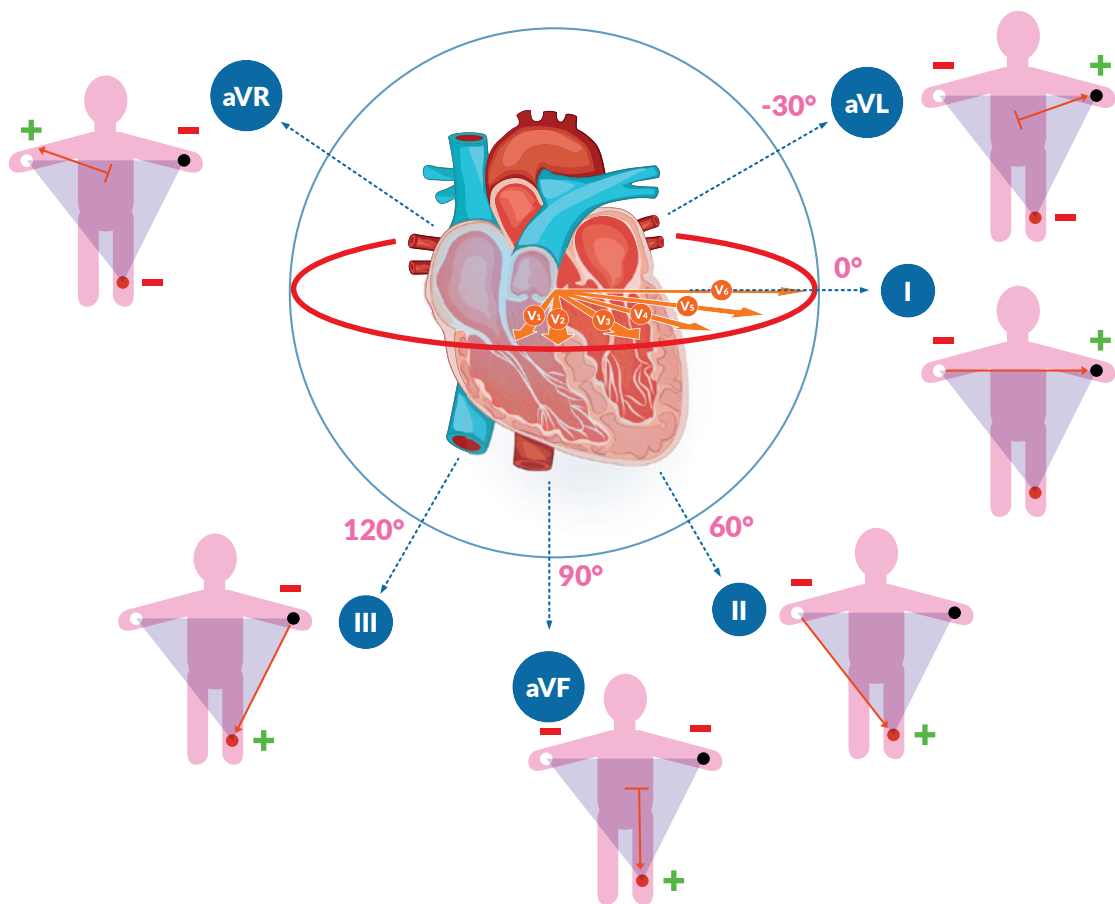
Kammioiden sydänlihaksessa depolarisaatio leviää endokardiumista (sisältä) epikardiumiin (ulkopuolelle). Tämä saa molemmat kammiot supistumaan samanaikaisesti ja työntämään supistuvoimallaan veren sydämen kärjestä suurten valtimoiden suuntaan.

Impulssin johtuminen

Sinussolmukkeen depolarisaatio leviää noin 0,8–1,0 m/s:n nopeudella eteisiin. Johtumisnopeus hiukan hidastuu, kun päädytään eteiskammiosolmukkeeseen. Hidas (0,03–0,05 m/s) depolarisaation eteneminen eteiskammiosolmukkeesta luo yli puolet siitä aikaviiveestä, joka eteisten ja kammioiden välillä on. Hisin kimpun jälkeen johtumisnopeus taas lisääntyy merkittävästi, ja Purkinjen säikeissä nopeus on jopa 5 m/s. Johtumisnopeuksien eroista ja muutoksista johtuen kammioiden supistuminen alkaa 0,1–0,2 sekuntia myöhemmin kuin eteisten supistus.



KUVA Sydämen eri osien sähköinen toiminta ja EKG.



KUVA EKG kytkennät ja sydämen tarkastelusuunta.

Elektrokardiogrammi (EKG)

Vesipitoisuuden ja veteen liuenneiden ionien takia keho on mainio sähkönjohtin. Sydämen tuottamat jännitemuutokset, depolarisaatiot ja repolarisaatiot, kulkeutuvat kehon pintaan, jossa pinta-elektrodeilla ne voidaan tunnistaa ja tallentaa. Tallennetta kutsutaan **elektrokardiogrammiksi (EKG)**. Jokainen toimintasykli tallentuu EKG:hen useampana erillisenä aaltona tai poikkeamana, jotka on nimetty peräkkäisin aakkosin alkaen P:stä (P, Q, R, S, T).

EKG ei näytä yksittäisiä depolarisaatioita, vaan se on kuvaaja koko sydämen sähköisestä toiminnasta tietyssä ajanjaksona. Tyypillinen EKG:n kuvaaja, joka aluksi esitetään, on oikean käden (negatiivinen kohtio) ja vasemman jalan (positiivinen kohtio) välisten elektrodien tulkitsema jännitemuutosten kuvaaja. Kun vielä muistetaan, että sydänlihassolujen depolarisaatio johtaa aina niiden supistumiseen, voidaan EKG:stä havaita, minkä sydämen osan supistuminen on jännitemuutosten perusteella esitetystä ajankohdassa alkamassa.