UNIVERSITY OF HELSINKI

https://helda.helsinki.fi

Nuoruuden kehitys - mitä tapahtuu pinnan alla?

Hermanson, Elina; Sajaniemi, Nina

2018
Laaketieteellinen Aikakauskirja Duodecim
http://hdl.handle.net/10138/302360
Hermanson, E & Sajaniemi, N 2018, 'Nuoruuden kehitys - mitä tapahtuu pinnan alla?', Duodecim, Vuosikerta. 134, Nro 8, duo14286 (014.286), Sivut 843-849. < http://www.duodecimlehti.fi/api/pdf/duo14286 >

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository. https://helda.helsinki.fi
This is an electronic reprint of the original article.
This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.
Please cite the original version.

Elina Hermanson ja Nina Sajaniemi

Nuoruuden kehitys – mitä tapahtuu pinnan alla?

Nuoruus on aivojen kehityksen toiseksi tärkein vaihe varhaisvaiheiden jälkeen. Harmaiden aivosolujen määrä alkaa vähetä samalla, kun myelinisaatio kiihtyy ja tapahtuu synaptista karsiutumista. Hippokampuksen ja mantelitumakkeen tilavuudet kasvavat. Limbiset alueet kypsyvät nopeammin kuin hermoverkot, jotka hoitavat yhteyksiä aivokuorelle. Mielihyväkeskus reagoi jännitykseen ja palkintoihin voimakkaammin ja etuotsalohkojen kontrollialueet heikoimmin kuin samat aivoalueet aikuisilla ja lapsilla. Tunteita käsittelevät aivoalueet aktivoituvat sosiaalisissa tilanteissa erittäin voimakkaasti, ja mantelitumake on syttymisherkkä. Nuoret on tehty havaitsemaan, reagoimaan ja toimimaan ilman liian pitkällistä harkintaa. Pitkäaikainen stressi vahingoittaa kuitenkin kehittyviä aivoja vaarallisemmin ja pysyvämmin kuin aikuisten aivoja. Toisaalta aivojen kehityksellinen plastisuus antaa mahdollisuuksia myös hyvään suunnanmuutokseen.

Yhdysvaltalaiset autonvuokrayritykset totesivat jo vuosikymmeniä sitten, ettei ihan nuorille kannata vuokrata autoja. Tämän päivän tiede voi kiteyttää autonvuokraajien havainnot yhteen virkkeeseen. Vasta 24–25-vuotias on kykenevä hillitsemään impulssejaan, toimimaan järkevästi ja minimoimaan riskit.

Puberteetin eli murrosiän aikana lapsi kasvaa fyysisesti lisääntymiskykyiseksi. Aivolisäkkeen gonadotropiinien, follikkeleita stimuloivan hormonin (FSH) ja luteinisoivan hormonin (LH) eritykset kiihtyvät. Gonadotropiinit saavat poikien testosteroni- ja tyttöjen estrogeenierityksen käynnistymään.

Lisääntymiskyvyn saavuttaminen on kuitenkin vain osa nuoruusiän eli adolesenssin kehitystä: kun puberteetti on ohi 2–5 vuodessa, aikuisuuteen tarvittavat nuoruusiän psyykkiset ja psykoneurologiset muutokset vievät ihmiseltä toistakymmentä vuotta (1).

Viime vuosikymmenten aikana on saatu enemmän tietoa aivojen kypsymisestä nuoruusiän aikana. Uusin tieto yhdistää puberteetin hormonaaliset muutokset aivojen kehitykseen. Nuoruusikä on ihmisen elinkaaressa tärkein aivojen varhaiskehityksen jälkeinen hermostollinen tapahtuma. Nuoren aivoissa pyörivät myllerrykset näkyvät aika ajoin tempoilevana käytöksenä, joka hämmentää nuoria ja heidän lähipiiriään.

Nuoruusiässä keskeisten aivojen osien tehtäviä on kuvattu **TAULUKOSSA**.

Hormonit heilahtelevat niin rotilla kuin ihmisilläkin

Myös jyrsijöillä voidaan erottaa nuoruusikä, kun se määritellään vaiheeksi, jolloin saavutetaan sekä seksuaalinen kypsyys että aikuistyyppinen käyttäytyminen. Rottakokeissa nuoruusikäisiksi rotiksi määritellään 30–60 päivää vanhat yksilöt. Tämän ikäiset rotat eroavat sosiaaliselta käyttäytymiseltään niin nuoremmista kuin vanhemmistakin rotista: niiden leikki, parisuhdekäyttäytyminen ja aggressioiden osoittaminen kehittyvät pikkuhiljaa aikuismaisemmiksi. Nuoruusikäiset jyrsijät ovat myös ute-

TAULUKKO. Nuoruudessa keskeisten aivonosien tehtäviä. Limbiseen järjestelmään lasketaan tunteiden kokemiseen ja säätelyyn liittyviä aivo-osia kuten mantelitumake, hippokampus ja hypotalamus. Kuvaus on viitteellinen; todellisuudessa aivot toimivat aina kokonaisuutena.

Etuotsalohkon kuorikerros
Toiminnan suunnittelu ja ohjaus
Päätöksenteko ja arvottaminen
Tarkkaavuus
Tunteiden säätely
Impulssikontrolli
Mantelitumake (amygdala)
Pelko, pelon prosessointi, joka johtaa joko taistele tai pakene -vasteeseen
Ilmeiden tunnistaminen
Nucleus accumbens eli mielihyväkeskus
Motivaatio
Mielihyvä
Palkitseminen
Riippuvuuksien kehittyminen
Vapauttaa dopamiinia ja serotoniinia
Hippokampus
Uusien muistojen muodostumien
Episodinen muisti
Semanttinen muisti
Kognitiivinen kartta ympäristöstä

liaampia ja ottavat käyttäytymisessään isompia riskejä kuin nuoremmat tai vanhemmat. Tiedetään myös, että tämän ikäisten rottien aivojen harmaan ja valkean aineen määrät muuttuvat kuten ihmislapsillakin niin, että vähitellen ne saavat aikuisen muotonsa (2).

Jyrsijöitä tutkimalla on nuoruudessa tapahtuvista aivomuutoksista voitu oppia paljon. Myös magneettikuvauksesta kehitetty diffuusiotensorikuvaus ja toiminnallinen magneettikuvaus (fMRI) ovat auttaneet aivojen kypsymisen tutkimista vuosituhannen taitteesta lähtien.

Kun tavaraa tulee lisää, epäjärjestys lisääntyy

Nuorten aivot muovautuvat uudelleen voimakkaasti rakenteellisesti ja toiminnallisesti erityisesti limbisillä ja kortikaalisilla alueilla. Puberteetin alkaessa hippokampuksen ja mantelitumakkeen tilavuus kasvaa. Harmaan aineen kokonaistilavuus lisääntyy puberteettiin asti ja alkaa vähentyä sen jälkeen (3). Harmaata ainetta häviää ensin primaarilta sensomotoriselta aivokuorelta. Ohimo- ja otsalohkon etuosissa ohentuminen jatkuu aina varhaiseen aikuisuuteen saakka. Hermosolujen määrässä tapahtuvien muutosten lisäksi hermosolut kasvavat suuremmiksi, ja valkea aine lisääntyy lineaarisesti iän myötä (4). Tämä merkitsee myelinisaatiota, joka nopeuttaa informaation siirtymistä solusta toiseen. Tiedon siirto tehostuu, ja yhteydet eri aivoalueiden välillä selkeytyvät (5).

Hermosolujen määrän lisääntyminen aiheuttaa olemassa olevissa hermoverkoissa epäjärjestystä. Solumäärän lisääntymisen jälkeen kestää aikansa, ennen kuin hermosolujen väliset yhteydet järjestyvät uudestaan. Toiminnallisella magneettikuvauksella on osoitettu, että kognitiivisten suoritusten aikana lasten ja nuorten hermosoluaktivaatio leviää laajasti otsalohkon alueilla. Mitä vanhempi ihminen on, sitä kohdentuneempaa on otsalohkoaktivaatio (6). Laajalle leviävä aktiviteetti siirtää tietoa tehottomasti ja epätäsmällisesti. Se saattaa olla myös aivojen energiatalouden kannalta huonompi vaihtoehto kuin kohdentunut aktiviteetti. Nuorten aivot voivat väsyä kognitiivisten suoritusten aikana nopeammin kuin aikuisten etenkin, jos siihen liittyy unen puutetta, vähäistä liikuntaa ja yksipuolista ravintoa.

Hermoverkkojen toiminnan tehostuminen tapahtuu turhia yhteyksiä karsimalla. Synapsien määrä saavuttaa huippunsa kahden vuoden ikään mennessä, jolloin lapsen aivoissa on 50 % enemmän synapseja kuin aikuisen aivoissa. Synaptista karsiutumista tapahtuu keskinuoruuteen asti, synapsien kehityksellinen organisoituminen sen sijaan jatkuu aikuisuuteen. Synapsien karsiutuminen kestää pisimpään etuotsalohkoissa (7). Organisoitumisprosessi vakiintuu aikuisuuden tasolle vasta kolmannella vuosikymmenellä. Ennen vakiintumista aivot ovat herkistyneet ympäristön mahdollisille haitallisille vaikutuksille, ja haavoittuvuuden kausi onkin paljon pidempi kuin aikaisemmin on ajateltu (8).

Aivojen kehitysaikataulussa on sukupuolen välisiä eroja. Harmaa aine saavuttaa maksiminsa keskimäärin 10–12 vuoden iässä. Tytöillä maksimi saavutetaan pari vuotta poikia

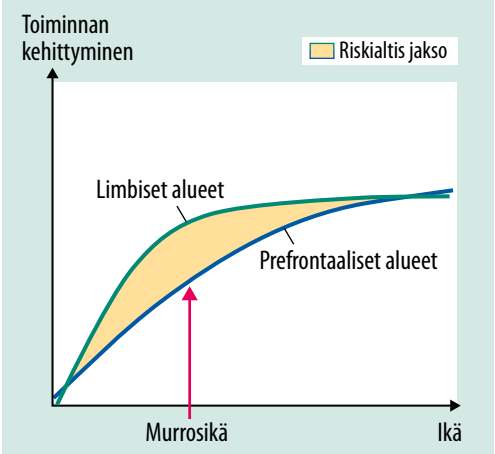
aikaisemmin (9). Synaptinen karsiutuminen näyttäisi olevan pojilla hitaampaa kuin tytöillä (10). Myös myelinisaatioprosessissa on eroja: valkean aineen määrä lisääntyy tytöillä keskinuoruuteen asti ja pojilla myelinisaatioprosessi kestää ohi nuoruusvuosien (11). Eroja on myös mantelitumakkeen ja hippokampuksen kypsymistahdissa (12). Erot aivojen etuotsalohkojen ja tärkeiden tumakkeiden kypsymistahdissa voivat aiheuttaa sen, että tyttöjen ja poikien vaste esimerkiksi tämän päivän koulumaailman vaatimuksiin poikkeaa toisistaan.

Riskinotto palkitsee tarpeettomastikin

Nuoruudelle on tyypillistä tehdä epäoptimaalisia valintoja, jotka johtavat tarpeettomaan riskinottoon. Riskinotossa ei aina ole kyse impulsiivisuudesta, eikä se ei yksin selity etuotsalohkojen hitaalla kypsymisellä, koska lapset toimivat paljon turvallisuushakuisemmin kuin nuoret. Uskottavampi selitys on se, että nuoruusiässä limbinen järjestelmä toimii tehokkaammin kuin etuaivokuori, sillä limbinen järjestelmä kypsyy valmiiksi paljon etuotsalohkoja nopeammin (**KUVA**) (6). Nuorten on vaikea jarruttaa reaktioitaan, ja he joutuvat tavallista helpommin tunnekaappauksen valtaan, kuten arkihavainnot niin hyvin osoittavat.

Aivojen terve kehitys edellyttää optimaalista vuorovaikutusta aivojen neurobiologiseen kehitykseen vaikuttavien välittäjäaineiden, sukupuolihormonien ja stressihormonien välillä (13). Hormonien ja välittäjäaineiden, etenkin dopamiinin, perusmäärissä ja ärsykkeisiin liittyvässä erityksessä tapahtuu nuoruusvuosina suuria muutoksia, joilla on merkitystä tunteiden hallinnalle, sosiaaliselle toiminnalle ja oppimiselle (14). Kehitys on häiriintyy herkästi ja ohjelmoituu haitalliseen suuntaan. Riski esimerkiksi skitsofrenian, kaksisuuntaisen mielialahäiriön ja masennusoireyhtymän puhkeamiselle on suurentunut nuoruusvuosina. Sukupuolierot ovat myös selkeät. Pojat ovat alttiimpia skitsofrenialle ja tytöt masennukselle (15).

Niin eläinkokeiden kuin toiminnallisten magneettikuvausten perusteella näyttää siltä, että syvällä aivoissa sijaitseva mielihyväkeskus



KUVA. Nuorten riskikäyttäytymistä voidaan selittää sillä, että aivojen limbiset alueet, erityisesti mantelitumake ja mielihyväkeskus, kypsyvät etuotsalohkoja varhaisemmin (6).

reagoi jännitykseen ja palkintoihin voimakkaammin ja etuotsalohkojen kontrollialueet heikoimmin kuin samat aivoalueet aikuisilla ja lapsilla (6). Ilmiö liittyy dopamiinituotannon ja dopamiinireseptorien määrän lisääntymiseen nuoruudessa. Aivorungon ja limbisen järjestelmän dopamiiniherkät tumakkeet kypsyvät ennen etuotsalohkoja. Lisääntynyt dopamiinituotanto suuntaa etsimään yhä uusia voimakkaan palkitsevuuden lähteitä ympäristöstä. Uutuuteen suuntautuva käyttäytyminen näyttäisi lisääntyvän nuoruudessa etenkin pojilla (14). Etuotsalohkolla tapahtuva synapsien karsiutuminen aiheuttaa epätasapainoa toimintaa edistävien ja estävien hermosolukytkentöjen säätelyssä, mikä aiheuttaa dopamiinin ajoittaista yliannostusta, jolloin etuotsalohkojen kyky jarruttaa nopeaa ja vahvaa palkitsevuutta etsivää käyttäytymistä edelleen vähenee (14).

Terveeseen kehitykseen kuuluu kasvava kyky vastustaa reaktiivisuutta. On opittava harkitsemaan ja punnitsemaan vaihtoehtoja ennen välitöntä toimintaa ja pystyttävä viivästyttämään mielihyvää. Useissa tutkimuksissa on todettu, että mielihyvän viivästyttämisen taito ennakoi työuralla menestymistä, terveyttä ja hyvinvointia (16). Palkitsemisjärjestelmän kiihkeän kehityksen aikana nuorten on ehkä vaikea vastustaa digimaailman ja monella tavalla yltäkylläisen ympäristön houkutuksia.



Kuva: IStock

Kehitykseen voi vaikuttaa: ne hermoradat vahvistuvat, joita käytetään.

Oikutteleva mantelitumake ja kömpelö tunteiden käsittely

Emotionaalisesti merkittävät, oletettuun uhkaan liittyvät ärsykkeet aktivoivat mantelitumakkeen ja käynnistävät biologisen valpastumisjärjestelmän. Elimistö valmistautuu taistelemaan, pakenemaan tai jähmettymään. Biologisen valpastumisjärjestelmän käynnistymissä on suuria, synnynnäisiä eroja. Toiset reagoivat nopeasti ja ovat heti valmiita taistelemaan tai pakenemaan. Nopeasti syttyviä reaktioita opitaan säätelemään kehityksen myötä, ja säätelemättöminä ne haittaavat oppimista, sosiaalista kanssakäymistä ja terveyden kannalta suotuisien valintojen tekemistä. Nuoruusiässä reaktiivisuus voimistuu ja tarve säätelyyn kasvaa. Säätelyn kannalta välttämättömät etuotsalohkon alueet eivät ole valmiit suoriutumaan tästä tehtävästä kaikilta osin mallikkaasti, ja se näkyy nuorten usein herkästi syttyvänä, harkitsemattomana käytöksenä.

Mantelitumakkeessa on runsaasti testosteroni-reseptoreja, ja tumakkeen kypsyminen kestää pojilla pidempään kuin tytöillä (14). Testosteroni ilmeisesti heikentää etuotsalohkojen ja mantelitumakkeen välisiä yhteyksiä ja voimistaa mantelitumakkeen reaktioita (17), mistä syystä jotkut pojat saattavat vaikuttaa erityisen impulsiivisilta ja taisteluvalmiilta. He ovat voimistuneesti biologiansa armoilla ja tarvitsisivat paljon enemmän ohjaavaa tukea kuin ymmärtävät pyytää.

Toisten asemaan asettuminen on nuoruudessa tilapäisesti vaikeaa. Etuotsalohkon sisäpinnan alueet aktivoituvat nuorilla voimakkaasti heidän yrittäessään ymmärtää toisen ihmisen näkökulmaa, vaikka he suoriutuvat tätä mittaavissa tehtävissä aikuisia heikommin (18). Myös kasvojen ilmeitä käsittelevien aivoalueiden toiminta hidastuu ja häiriytyy tilapäisesti. Erityisesti pelokkaiden kasvojen tunnistaminen sujuu nuorilta hitaammin kuin aikuisilta; heidän mantelitumakkeensa sen sijaan reagoi voimakkaasti (19). Etuotsalohkojen aktiivisuus kasvaa ilmeidentunnistamistehtävässä iän mukana. Näyttää siis siltä, että mitä paremmin etuotsalohkot toimivat, sitä tehokkaammin yksilö kykenee arvioimaan toisen ilmeitä ja sopeuttamaan käytöstään muihin (20).

Sosiaalista kömpelyyttä aiheuttavien aivomuutosten lisäksi nuorten aivot ovat ylivalpastuneet sosiaalisen torjunnan ja hyväksynnän viesteille, ja tunteita käsittelevät aivoalueet aktivoituvat sosiaalisissa tilanteissa erittäin voimakkaasti (21). Kokiessaan olevansa muiden tarkkailun kohteena etuotsalohkon keskiosan tunteita käsittelevät alueet aktivoituivat paljon voimakkaammin kuin lapsilla tai aikuisilla

(22). Sosiaalisen arvioinnin pelko ja kielteinen tunneilmapiiri vähentävät samalla aktiviteettia niillä etuotasan alueilla, joita tarvitaan kognitiivisen toiminnan ohjaamisessa. Vielä 18–21-vuotiaanakin nuoret pärjäsivät vanhempia heikommin kognitiivisessa tehtävässä, jos tunneilmapiiri oli negatiivinen (23).

Stressillä voi olla kohtalokkaita seurauksia

Noin kolme neljästä aikuisen mielenterveyshäiriöstä alkaa ennen 24 vuoden ikää (24). Nuorten ahdistus- ja mielialahäiriöt ovat tavallisia, ja yhteiskunnallamme on niistä kasvava, aiheellinen huoli. On näyttöä siitä, että nuoren aivot vaurioituvat herkemmin stressistä kuin aikuisen aivot (2,25).

Biologinen valpastumisjärjestelmä aktivoituu mahdollisen uhan edessä, ja elimistö valmistautuu taistelemaan, pakenemaan tai jähmettymään. Aktivoitumisen ollessa toistuvaa, hallitsematonta ja elimistöä kuormittavaa, puhutaan stressistä. Monimutkaiseen tapahtumaketjuun kytkeytyvät niin mantelitumake, hypotalamus-aivolisäke-lisämunuaisakseli (HPA) ja autonominen hermosto kuin immunologia ja metaboliakin. Aivoalueista erityisesti hippokampus, etuotsalohkot ja mantelitumake ohjaavat järjestelmää. Mantelitumake sytyttää stressijärjestelmän, ja hippokampus ja etuotsalohkot jarruttavat sen toimintaa (26). Valpastuminen on välttämätöntä kaiken toiminnan käynnistymisessä – ilman sitä ei voi tapahtua esimerkiksi oppimista. Välitöntä toimintavalmiutta on kuitenkin opittava jarruttamaan, koska läheskään aina ei kannata reagoida välittömästi. Pitää myös kyetä pysähtymään ja punnitsemaan vaihtoehtoja.

Stressihormonin eli kortisolin perusmäärä elimistössä lisääntyy ikävuosien 9–19 välillä. Nuoruusvuosina stressivasteet ovat myös voimakkaampia (2,27). Voimakas stressivaste lisää dopamiinieritystä etuotsalohkon alueilla, jolloin käyttäytyminen suuntautuu välittämän palkitsevuuden etsimiseen. Samanaikaisesti muisti- ja etuotsalohkon toiminnat heikkenevät (28).

Sekä estrogeeni- että testosteronin määrän lisääntyminen vaikuttaa mantelitumakkeeseen, HPA-aktivaatioon ja kortisolin määrään. Vaikutukset ovat monimutkaisia ja osittain epäselviä. Ilmeisen varmaa kuitenkin on, että muutokset lisäävät stressihaavoittuvuutta sekä tytöillä että pojilla. Stressihaavoittuvuus on puolestaan yhteydessä nuorten lisääntyviin mielenterveyshäiriöihin. (29). Tämän ymmärtäminen on välttämätöntä nuorten syrjäytymiskehityksen pysäyttämisessä.

Sekä ihmisiä että jyrisijöitä koskevissa tutkimuksissa on havaittu, että mantelitumakkeen koko kasvaa puberteetin alkuvaiheessa (2). Tämä saattaa lisätä stressihaavoittuvuutta. Eläinkokeissa on lisäksi osoitettu, että sekä prepubertaalisilla että keskinuoruutta elävillä eläimillä stressivasteen palautuminen normaalitasolle kestää kaksi kertaa niin kauan kuin saman lajin aikuisilla yksilöillä. Kun stressi kesti kolme viikkoa, aikuisten rottien paino laski 10 %, nuoruusikäisten rottien paino 30 %. Myös hippokampuksen koko ja toiminta heikkenivät pitkäkestoisen stressin vaikutuksesta nuoruusikäisillä rotilla. Ainakaan rotilla ei esiintynyt eroa, oliko stressin aiheuttaja fyysinen vai sosiaalinen (2). On myös viitteitä siitä, että vaikka stressin aiheuttamat aivomuutokset palautuvat aikuisilla, nuoruusikäisen etuotsalohkoihin voi syntyä pysyvämpiä vaurioita (2).

Ydinasiat

- Nuoren kyky käyttäytymisen säätelyyn ja ilmeiden tulkintaan on heikompaa kuin aikuisella, koska hermoverkot toimivat vielä tehottomasti.
- Nuoruusikäisen mantelitumake syttyy herkästi ja mielihyväkeskus reagoi voimakkaasti jännitykseen.
- Sosiaaliset tilanteet saavat tunteita käsittelevät aivoalueet toimimaan kiihkeästi.
- Nuoren aivot reagoivat stressiin voimakkaammin ja ne vahingoittuvat helpommin kuin aikuisella.
- Nuoren aivot ovat hyvin plastisia: ne hermoradat vahvistuvat, joita käytetään.

Kyky kehittyä tarkoittaa kykyä korjata

Jos rotan mediaalinen preoptinen tumake tuhotaan, sen pariutumiskäyttäytyminen muuttuu pysyvästi. Kokeellisesti on kuitenkin osoitettu, että jos trauma aiheutetaan ennen puberteettia ja nuoruusikä järjestetään optimaaliseksi (runsaasti sosiaalisia kontakteja), rotta pystyy aikuisena toimimaan aivan normaalisti. Myös muiden varhaislapsuuden stressivaikutusten on todettu väistyvän, mikäli nuoruus sujuu hyvin (2). Aivojen kehityksen plastisuus ei siis ole vain riski vaan suuri mahdollisuus.

Lopuksi

Nuoria koskeva aivotutkimus on saanut aikaan ainakin muutaman merkittävän muutoksen. Yhdysvaltain korkein oikeus päätti vuonna 2005 luopua alaikäisten kuolemanrangaistuksista. Vuonna 2010 se päätti, ettei alaikäisiä pidä tuomita elinikäiseen vankeuteen, ellei kyse ole murhasta. Päätökset perustuivat tieteellisesti todistettuihin tietoihin siitä, etteivät nuoren aivot ole vielä täysin kypsät ja että niillä on kapasiteettia muutokseen (30).

Aivojen näkökulmasta on helppo ymmärtää, miksi nuorten ajatukset lähtevät herkästi harhailemaan ja tarkkaavuus poukkoilee. Hermostolliset edellytykset suurien asiakokonaisuuksien hahmottamiselle, kaukonäköisyydelle ja harkinnalle eivät todellakaan ole parhaat mahdolliset.

Nuoren aivot toimisivat erittäin tarkoituksenmukaisesti, jos maailma olisi sellainen kuin se on tuhansia vuosia ollut. Jotta ihmiskunta on voinut selvitä vaihtelevissa, yllätyksellisissä ympäristöissä, on tarvittu ihmisiä, jotka ovat valmiita valvomaan, havaitsemaan, reagoimaan ja toimimaan ilman liian pitkällistä harkintaa. Nuoren ihmisen elimistö on viritetty tähän: aistit toimivat valppaasti, lihakset räjähtävät toimintaan nopeasti eikä nuorta väsytä, kun häntä tarvitaan.

Nykypäivän aistipommitus ei ole rasahdus hiljaisessa metsässä. Ärsykkeitä tulee kaikkien aistien kautta jatkuvasti ja ristiriitaisesti, mutta villieläimet tai viholliset eivät odota seuraavan nurkan takana. Todelliset uhkatekijät ovat näkymättömiä. Niiden tuhot lankeavat vasta pitkällä tähtäimellä, jos nuori ei jaksa ponnistella kohti päämääriä. Nopeasti syttyvän toimintavalmiuden sääteleminen on elämän hallinnan kannalta välttämätöntä mutta nuorille vaikeaa, koska toimintaa pitkällä tähtäimellä suunnittelevat otsalohkot ovat vasta kypsymässä.

Niin kauan kuin kehitys on kesken, aivot ovat herkistyneet kehitystä vaarantaville ja onneksi myös sitä suojaaville tekijöille. Nuori tarvitsee paljon enemmän ymmärrystä, ohjausta ja välittämistä kuin käyttäytymisen perusteella voisi olettaa. Nuoruus on ajanjakso, jossa kehitys voi ohjelmoitua uudelleen – kohti kasvavaa kaaosta ja syrjäytymistä tai kohti joustavaa mielen hallintaa ja uusia mahdollisuuksia. Aivoissa vahvistuvat ne hermosolujen väliset yhteydet, joita käytetään. Tärkeintä on saada nuoret käyttämään aivojaan kaikkea hyvää rikastuttavalla tavalla. ■

ELINA HERMANSON, LT, lastentautien erikoislääkäri, nuorisolääketieteen erityispätevyys
Lasten ja nuorten lääkäriasema Pikkujätti

NINA SAJANIEMI, FT, kehitysneuropsykologian dosentti, yliopistonlehtori
Helsingin yliopisto, kasvatustieteiden osasto

SIDONNAISUUDET
Elina Hermanson: Korvaukset koulutus- ja kongressikuluista (Peditri Oy)
Nina Sajaniemi: Luento-/asiantuntijapalkkio (Aivoliitto, Suomen nuorisolääkärit ry)

KIRJALLISUUTTA

1. Aalberg V, Siimes MA. Lapsesta aikuiseksi. Nuoren kypsyminen naiseksi tai mieheksi. Helsinki: Nemo 2007.
2. Eiland L, Romeo RD. Stress and the developing adolescent brain: literature review. Neurosci 2013;249:161–71.
3. Fuhrmann D, Knoll LJ, Blakemore SL. Adolescence as a sensitive period of brain development. Trends Cogn Sci 2015; 19:558–66.
4. Gogtay N, Giedd JN, Lusk L, ym. Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. Proc Natl Acad Sci USA 2004; 101:8174–9.
5. Parker AG, Hetrick SE, Jorm AF, ym. The effectiveness of simple psychological and physical activity interventions for high prevalence mental health problems in young people: a factorial randomized controlled trial. J Affect Disord 2016; 196:200–9.
6. Casey BJ, Jones RM, Hare TA. The adolescent brain. Ann NY Acad Sci 2008; 1124:111–26.
7. Andersen SL, Thompson AT, Rutstein M, ym. Dopamine receptor pruning in prefrontal cortex during the periadolescent period in rats. Synapse 2000;37:167–9.
8. O'Mahony SM, Clarke G, Dinan TG, ym. Early-life adversity and brain development: Is the microbiome a missing piece of the puzzle? Neuroscience 2017;342:37–54.
9. Pfefferbaum A, Rohlfing T, Pohl KM, ym. Adolescent development of cortical and white matter structure in the NCANDA sample: role of sex, ethnicity, puberty, and alcohol drinking. Cereb Cortex 2016; 26:4101–21.
10. Giedd JN. The teen brain: insights from neuroimaging. J Adolesc Health2008; 42:335–43.
11. Ingalhalikar M, Smith A, Parker D, ym. Sex differences in the structural connectome of the human brain. Proc Natl Acad Sci USA 2014;111:823–8.
12. Goddings AL, Mills KL, Clasen LS, ym. The influence of puberty on subcortical brain development. Neuroimage 2014;88:242–51.
13. Schulz KM, Sisk CL. The organizing actions of adolescent gonadal steroid hormones on brain and behavioral development. Neurosci Biobehav Rev 2016;70:148–58.
14. Wahlstrom D, White T, Luciana M. Neurobehavioral evidence for changes in dopamine system activity during adolescence. Neurosci Biobehav Rev 2010;34:631–48.
15. Abel KM, Drake R, Goldstein JM. Sex differences in schizophrenia. Int Rev Psychiatry 2010;22:417–28.
16. Moffitt TE, Houts R, Asherson P. Is adult ADHD a childhood-onset neurodevelopmental disorder? Evidence from a four-decade longitudinal cohort study. Am J Psychiatry 2015;172:967–77.
17. Spielberg JM, Forbes EE, Ladouceur CD, ym. Pubertal testosterone influences threat-related amygdala-orbitofrontal cortex coupling. Soc Cogn Affect Neurosci 2015;10:408–15.
18. Thomas LA, De Bellis MD, Graham R, ym. Development of emotional facial recognition in late childhood and adolescence. Dev Sci 2007;10:547–58.
19. Boyle EA, Connolly TM, Hainey T, ym. Engagement in digital entertainment games: a systematic review. Computers in Human Behavior 2012;28:771–80.
20. Hare TA, Tottenham N, Galvan A, ym. Biological substrates of emotional reactivity and regulation in adolescence during an emotional go-nogo task. Biol Psychiatry 2008;63:927–34.
21. Dalgleish T, Walsh ND, Mobbs D. Social pain and social gain in the adolescent brain: a common neural circuitry underlying both positive and negative social evaluation. Sci Rep 2017;7:42010.
22. Somerville LH. The teenage brain: sensitivity to social evaluation. Curr Dir Psychol Sci 2013;22:121–7.
23. Cohen AO, Breiner K, Steinberg L, ym. When is an adolescent an adult? Assessing cognitive control in emotional and nonemotional contexts. Psychol Sci 2016;27:549–62.
24. Dunn V, Goodyer IA. Longitudinal investigation into childhood- and adolescence-onset depression: psychiatric outcome in early adulthood. Br J Psychiatry 2006; 188:216–22.
25. Karlsson L, Melartin T, Karlsson H. Lapsuuden stressi uhkaa aikuisiän terveyttä. Suom Lääkäril 2007;62:3293–9.
26. Hovatta I. Ahdistuneisuuden biologiaa. Suom Lääkäril 2011;66:2585–90.
27. Sinclair D, Purves-Tyson TD, Allen KM, ym. Impacts of stress and sex hormones on dopamine neurotransmission in the adolescent brain. Psychopharmacology 2014; 231:1581–99.
28. McCormick CM, Mathews IZ. Adolescent development, hypothalamic-pituitary-adrenal function, and programming of adult learning and memory. Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry 2010; 34:756–65.
29. Romeo RD. The impact of stress on the structure of the adolescent brain: implications for adolescent mental health. Brain Research 2017;1654:185–91.
30. Miller G. Brain science a factor in supreme court decision on juvenile crimes. Science 17.5.2010. www.sciencemag.org/news/2010/05/brain-science-factor-supreme-court-decision-juvenile-crimes.

SUMMARY

Development in adolescence – what's happening beneath the surface?

After the perinatal period, adolescence is the second most important period of life for the brain. The number of grey brain cells starts to decrease while myelinization increases and synapses are eliminated. The volumes of hippocampus and amygdala grow. The limbic areas maturate faster than the neural circuits that are responsible for communication with the cortex. Risk taking is associated with an increase in accumbens and amygdala activity that are exaggerated in adolescents, relative to both children and adults. The brain regions associated with emotions show exaggerated activation in response to diverse signals of social inclusion and social exclusion. Young people are made to perceive, react, and act without hesitation. Adolescent brain may be particularly sensitive to stress-induced neurobehavioral dysfunction, and stress may cause long-standing damage. On the other hand, the developmental plasticity provides opportunities for environmental interventions.