



RAILI HILDEN – SARI YLINEN – MINNA HUOTILAINEN

## Kielididaktiikan, kognitiivisen psykologian ja aivotutkimuksen yhteyksiä etsimässä ➤

Hilden, Raili – Ylinen, Sari – Huotilainen, Minna. 2022. KIELIDIDAKTIIKAN, KOGNITIIVISEN PSYKOLOGIAN JA AIVOTUTKIMUKSEN YHTEYKSIÄ ETSIMÄSSÄ. *Kasvatus* 53 (3), 273–286.

Tämä katsaus tarkastelee kielididaktiikan ja aivotutkimuksen kehitysvaiheita aikaisemman tutkimuksen pohjalta sekä osoittaa yhtymäkohtia kielididaktiikan, kognitiivisen psykologian ja aivotutkimuksen välillä. Artikkelin kuvaus siitä, miten käyttäytymisen ja aivojen tutkimus on lisännyt ymmärrystä kielen oppimisen mikrotasosta ja miten tätä tietoa voisi hyödyntää opetuksessa. Lopuksi pohditaan aivotutkimuksen menetelmien hyödyntämisen tulevaisuuden näkymiä sekä niihin mahdollisesti liittyviä riskejä. Aivotutkimuksen ja kielididaktiikan yhteyksien havaitseminen auttaa valaisemaan ihmisen ainutlaatuisinta ominaisuutta: kielen avulla olemme rakentaneet sivilisaation, ja uusia kieliä oppimalla voimme kehittää sitä edelleen.

Asiasanat: aivotutkimus, kielididaktiikka, kielenoppiminen, kognitiivinen neurotiede, kognitiivinen psykologia

## Johdanto

Maaailma, kuten suomalaisten elinympäristökin, on nykyään monikielinen lähes kaikilla elämänoilla. Tästä syystä kielten opetuksen, opiskelun ja oppimisen tutkimus on välttämätöntä. Näihin keskittyy kielididaktiikka, jonka kognitiiviseen suuntaukseen on vaikuttanut myös kokeellinen tutkimus. Ihmisen ajattelua, havaintoa ja muistia tutkiva kognitiivinen psykologia on puolestaan vaikuttanut paljon aivotutkimukseen ja kognitiiviseen neurotieteeseen, joka tutkii ihmisen kognitiota mittaamalla suoraan aivojen sähkömagneettista tai metabolista toimintaa ulkoisesti havaittavan käyttäytymisen sijasta. Yhteistä vaikutteista huolimatta kielididaktiikan ja aivotutkimuksen dialogi on kuitenkin toistaiseksi ollut varsin vähäistä.

Koska tieteenalojen synergia on osoittautunut yhä tarpeellisemmaksi monimutkaisten oppimiskulkujen selittäjänä ja tehostajana, on ajankohtaista laajentaa ymmärrystä eri kielten oppimisesta sosiaalisten lähestymistapojen ohella myös yksilöpsykologiselta kannalta. Tämä artikkeli vastaa tarpeeseen uudistaa kielididaktiikan tietoperustaa modernin aivotutkimuksen annilla. Tarkastelemme kielididaktiikan, kognitiivisen psykologian ja aivotutkimuksen olemassa olevia ja edelleen kehittyviä yhteyksiä seuraavista näkökulmista: Miten kognitiiviset oppimisenäkemykset ovat esiintyneet kielididaktiikassa viime vuosikymmeninä? Mitä yhteyksiä eri oppimiskäsityksillä on aivotutkimukseen? Miten aivotutkimuksen tulokset ovat sovellettavissa kielididaktiikkaan?

## Kielididaktiikan kehitysvaiheita

Kielididaktiikka on kielen opetusta, opiskelua ja oppimista tutkiva ainedidaktinen tieteenala. Se ammentaa monista lähitieteistä, joista tärkeimpiä ovat yhtäältä kielitieteen näkemykset kielitaidosta ja toisaalta psykologiaan pohjautuvat oppimiskäsitykset. (Järvinen 2012; Tella & Harjanne 2004.) Perinteinen jako vaivattomasti omaksuttavan ensikielen ja myöhemmin

omaksuttavien tai opiskeltavien muiden kielten välillä on loiventunut käyttöympäristöjen moninaistuessa. Muiden kuin ensikielen sujuvan hallinnan saavuttaminen vaatii kuitenkin enemmän ponnistelua ja ohjausta, joten se on kielididaktisen tutkimuksen ominta sarkaa ja myös tämän artikkelin päänäkökulma. Monet raportoitavista tutkimustuloksista saattavat päteä kaikkeen kielenoppimiseen.

Viime vuosina ohjatun kielten oppimisen teoriataustoja yhdistävä ISLA (Instructed Second Language Acquisition) -tutkimus pyrkii selvittämään entistä tarkemmin, miten oppimisen mekanismien ja olojen systemaattinen säätely mahdollistaa tai helpottaa muiden kuin ensikielten oppimista (Leow 2015, 2). ISLA-kehys kattaa eriasteisesti ohjatun kielellisen altistuksen (*exposure*) monissa ympäristöissä, joille yhteistä on opetuksen ja opiskelun määritelmän mukainen tavoitteellisuus (Jyrhämä, Hellström, Uusikylä & Kansanen 2016). Formaali luokkahuonemuotoinen kouluopetus on perinteisin tavoitteellinen altistusympäristö, samoin ulkomailla oleskelu kielenoppimistarkoituksessa. Näiden rinnalle ovat viime vuosina nousseet voimakkaasti monenlaiset verkko-opetuksen muodot siten, että eriasteinen hybridiopetus ja -opiskelu ovat nykyään suosittuja. Teknologia sulauttaa myös formaalin opiskelun ja vapaa-ajan kielenoppimisen rajoja esimerkiksi pelien ja sosiaalisen median käytön avulla.

Kielten opettamista määrittävät kullekin ajalle ominaiset käsitykset kielitaidosta ja oppimisesta. Kielitieteestä ohjautuvassa kielitaidon määritelmässä erotettiin tieto- ja taitokomponentti (Chomsky 2015), joista kielitieto nähtiin pitkään ainoana arvokkaana sivistyneen kielitaidon tunnusmerkkinä. Klassiseen latinaan vuosisatojen aikana vakiintunutta lingvististä rakennetta ja metakieltä sovellettiin pitkään myös nykykieliin sekä niiden opetukseen. Opetuskäytänteissä tämä parituhattavuotinen perinne ilmeni opettajakeskeisyytenä ja muotopainotteisen kirjallisen harjoittelun yliarvostuksena. Viimeistään toisen maailmansodan jälkeen kielitaitokäsitys alkoi muuttua

radikaalisti, kun kansainvälinen liikkuvuus lisääntyi ja kävi ilmeiseksi, ettei latinankoulun opeilla selvitä tiedustelun, kaupan ja matkailun monimutkaisissa verkostoissa. Paitsi sivistävää ja teoreettista tietoa kieltenopetuksen tulisi tuottaa myös tosielämässä käytettävää taitoa (Piccardo & North 2019).

Kielenoppimisen teorioista ensimmäinen systemaattisesti järjestynyt rakennelma oli psykologiasta lainattu behaviorismi, joka näki oppimisen rangaistusten ja palkkioiden ohjaamana ärsykkeiden sekä reaktioiden välisenä tavanmuodostuksena. Kieltenopetuksessa behaviorismin oletuksiin nojaava audiolingvaalinen menetelmä kielistudioineen valjastettiin tukemaan oikeiden kielenkäytön tapojen drillaaamista 1950–1970-luvuilla. Kieliluokissa audiolingvaalisen menetelmän rinnalla kukoisti muotopainotteinen ja opettajakeskeinen opetus. (Piccardo & North 2019; Richards & Rogers 2001.)

Erityisesti kielitaidon arvioinnissa etsittiin samaan aikaan systematiikkaa psykometrisesta teoriasta. Ladon (1961) esittämä tekninen kielitaitomalli koostui neljästä taidosta (*skills*): kuullun ymmärtäminen, puhuminen, luetun ymmärtäminen ja kirjoittaminen. Aidon viestinnän kannalta keinotekoinen nelijako on osoittautunut erittäin elinvoimaiseksi, koska se on mittausteoreettisesti käytännöllinen.

Kielitaitokäsitystä muokkasi 1960-luvulta lähtien sosiologinen virtaus, joka kelpuutti tutkimuskohteeksi myös arkisen kielenkäytön ja sitä määrittävät, käyttäjien statuksiin ja sosiaaliseen kontekstiin liittyvät tekijät (Halliday 1978; Hymes 1972). Syntyi viestinnällisen kielitaidon (*communicative competence*) käsite, johon pohjautuu muun muassa maailmanlaajuisesti sovellettu Euroopan neuvoston julkaisema kielten oppimisen, opetuksen ja arvioinnin viitekehys (EVK 2003; ks. myös CEFR 2001). Suomalainen kieltenopetus on tähännyt viestinnälliseen kielitaitoon peruskoulun alkua ajoista lähtien, ja eurooppalaisen viitekehysten sisällöt sekä kielitaidon tasoasteikon sovellus otettiin käyttöön vuosituhaten vaihteessa (Hildén & Takala 2007).

Oppimisteorian kentällä behaviorismin haastoi ennen pitkää kognitivismi, joka teki eron reaktio-oppimisen ja ihmisen aktiivisen tiedonmuodostuksen välillä. Ihminen tiedonkäsittelijänä soveltaa yksilöllisiä tapoja rakentaa kielellistä järjestelmäänsä, harjoittaa ja säilyttää sitä muistissaan (Ausubel 1960). Etenkin vieraan kielen sanaston oppiminen ja opiskelutekniikoiden tehokkuuden vertailu innostivat soveltavaa kielentutkimusta ja kielididaktiikkaa. Kognitivismin perua ovat myös edelleen ajankohtaiset taidot, kuten oppimaan oppiminen ja opiskelustrategiat, joiden uusi nousu liittyy elinikäisen oppimisen velvoitteeseen.

Kognitivismin kritiikki virisi erityisesti humanistisen psykologian kentältä: ihmistä ei tullut nähdä tietokoneena, vaan oppimiseen kytkeytyvät aina myös tunteet. Kielenoppimisen teoriassa Krashenin (1982) näkemys oppimisen ja omaksumisen eroista herätti aikanaan suurta mielenkiintoa. Sen mukaan tietoinen kielen opiskelu ja oppiminen ovat affektiivisen suodattimen rajaamia, eikä niiden tulos ole yhtä pysyvä kuin luonnollisissa tilanteissa omaksuttu taito. Oppimiskokemuksen yksilöllisyys ja tunne-elämysten liittäminen opiskeluun affektiivisten esteiden vähentämiseksi, esimerkiksi musiikin tai erilaisten suggestiivisten elementtien avulla, ovat jääneet osaksi kieltenopetuksen keinovalikoimaa.

Nyky näkemyksen mukaan pelkkä omaksuminen ei kouluoloissa tuota riittäviä oppimistuloksia, vaan tietoinen, systemaattinen ja laaja-alainen harjoittelu yhdistettynä eksplisiittiseen opetukseen sekä tietoiseen opiskeluun edistävät kielen oppimista tehokkaimmin. (McLoughlin 1987; Norris & Ortega 2000) Toisaalta omaksumisen osuus etenkin englannin taidon karttumisessa on nykyisin merkittävä, koska kielelle altistutaan runsaasti median ja internetin välityksellä (ks. esim. Härmälä, Huh-tanen & Puukko 2014). Tällöin on kysymys niin kutsutusta satunnaisesta (*incidental*) oppimisesta ilman varsinaista tarkoitusta oppia kieltä.

Nykyisin kielten oppimisen katsotaan rinnastuvan muiden kognitiivisten taitojen oppimiseen. Tosin kielitaidolla on myös taitospesifi

osuus eli ihmisen luontainen kyky oppia yhteisönsä kieli (Chomsky 2015). Taidon haltuunotto etenee olettaen, että deklaratiivinen tieto vähitellen proseduraalistuu eli muuttuu taidoksi, joka lopulta automatisoituu ja muuttuu tiedostamattomaksi. Toisaalta proseduraalinen tieto ruokkii deklaratiivisen tiedon ohjaamaa ajattelua ja käsitteellistämistä. Vaikka deklaratiivinen tieto usein hankitaan tietoisesti ja sen olemassaolo tunnustetaan, myös proseduraalinen tieto on varsinkin alkuvaiheessaan hyvinkin tietoista, esimerkiksi silloin, kun harjoitellaan vieraan kielen äänteitä tai lausepajoina opetettuja sääntöjä soveltaen. Ratkaisevaa deklaratiivisen tiedon työstämisessä sujuvaksi taidoksi on kuitenkin riittävä harjoittelu (DeKeyser 2017, 23.)

Runsaasta tutkimusnäytöstä huolimatta kielitaidon kehittymiseen ja kielitiedon viestinnälliseen käyttöön suodattumiseen liittyy yhä paljon epävarmuutta. Ensinnäkin tutkimustulokset ovat osittain ristiriitaisia, mikä voi johtua koeolosuhteista, tehtävien laadusta tai loppumittauksen luonteesta. Esimerkiksi kontekstittomien sanalistojen oppiminen laboratorio-oloissa ei ole ongelmitta yleistettävissä kouluopetukseen. Myöskään arkitilanteissa saavutettu sujuvuus ei heijastu sellaisenaan opiskelutilanteisiin, saati toiseen osaitoon, kuten esimerkiksi puhuminen kirjoittamiseen (DeKeyser 2017, 24). Lisäksi automatisoimisprosessi saattaa jäädä puutteelliseksi, vaikka sen oletetaan tapahtuneen. Tiedon automatisoimisen syvällisempiä tunnusmerkkejä ovat prosessien uudelleen järjestäytyminen ja varianssin vähentyminen eikä ainoastaan sujuvuuden tai oikeakielisyyden näennäinen lisääntyminen tuotoksessa (Segalowitz 2010). Aivotason neurobiologista tutkimusta automatisoimisesta on toistaiseksi hyvin vähän, mutta joitakin viitteitä on saatu siitä, että kielitaidon edistyessä kieliaineksen prosessointimekanismi ja prosessin aktiiviset aivoalueet saattavat muuttua (DeKeyser 2017, 22–23).

Yksi keskeinen puute tähänastisessa tutkimuksessa on myös se, että kielenoppimisen

prosessien pitkittäisseurantaa on tehty varsin niukasti. Empiirisenkin aivotutkimusnäytön perusteella tosin tiedetään, että harjoittelun laatu ja otot vaikuttavat sen siirtovaikutukseen myöhempiin käyttötilanteisiin (Spada, Jessop, Tomita, Suzuki & Valeo 2014). Opittu siirtyy varmemmin myöhempään käyttöön, jos uudessa tilanteessa on riittävästi samoja elementtejä kuin harjoittelutilanteessa (Kim & Godfroid 2019). Tämä puoltaa viestinnällistä harjoittelua kouluopetuksessa, jos tavoitteena on selviytyminen tilanteista ja toiminnoista, joissa kieltä luonnollisissa yhteyksissä käytetään.

Yksilökeskeinen, kognitivistinen kielenoppimisenäkemys avartui ensin yhteisöllistä tiedonmuodostusta korostavaksi sosiokonstruktivismiksi. Tätä vuosituhatta on kielididaktiikassa hallinnut sosiokulttuurinen oppimisenäkemys kielen ja kulttuuriympäristön ykseydestä (Lantolf & Thorne 2006; Poehner, van Compernelle, Esteve & Lantolf 2019; Vygotsky 1978), mutta käytännön opetus noudattaa edelleen pitkälti kognitivismin perinteitä. Tosin yhteisölliset tekniikat ja työmuodot, kuten ryhmätyö, ovat yleisiä, mutta opetuksen sisältöjen ja keinojen sulautuminen koulun ulkopuoliseen maailmaan tai edes paikalliseen yhteisöön on varsin harvinaista ja epäsystemaattista vielä nykyäänkin (ks. esim. Hildén & Raupuro 2014).

Ekologis-semioottisen näkemyksen mukaan kielen oppiminen on ympäristön tarjouiin (*affordance*) tarttumisenä. Alkuaan Bronfenbrennerin (1996) toimintasynteesin mallin perustalle rakentuva näkemys yhdistää kielenkäyttäjän lähellä ja hänestä etäämmällä olevat ympäristöt lähtien omasta perheestä ja lähipiiristä ja päätyen globaaliin maailmankansalaisuuteen. Kielen opetuksessa ja oppimisessa toimintasynteesinen ajattelu läpäisee luonteensa mukaisesti kaikki toiminnan tasot “from cell to society” (Douglas Fir Group 2017). Toistaiseksi yhteiskunnallinen näkökulma on ollut vallalla didaktiikassa, mutta viime aikoina myös mikrotason tutkimus on tehostunut.

## Kognitiivisen kielenoppimistutkimuksen viimeaikaisia kehityskulkuja

Viimeaikainen kognitiivisen psykologian kaikea kielen oppimista selittävä tutkimus kietoutuu entrenchment-käsitteeseen, jota voisi kutsua kieliaineksen iskostumiseksi kielen käytön myötä. Sillä tarkoitetaan kielellisen uudelleenorganisoinnin ja muovautumisen elinikäistä prosessia, joka perustuu kielenkäyttöön oppimisen mahdollistajana. Iskostuminen toimii välittäjänä kielenkäytön sekä muun sosiaalisen vuorovaikutuksen välillä ja toisaalta myös kielellisen tiedon perustana olevien kognitiivisten edustumien (*representation*) välillä. (Schmid 2016).

Iskostumisen perusehto on rutinoituminen, joka muodostuu kielenkäytön toistuessa ja palautettaessa mieleen suoritettuja toimintoja. Rutinoituminen ja automatisaatio rakentuvat psykologisille sekä neurobiologisille mekanismeille, jotka koskevat hermoverkkojen välisten yhteyksien aktivoitumista, muistijälkien sijoittumista eri aivoalueille ja niiden tallettumista, muovautumista sekä sulautumista (Schmid 2016, 438–439). Kielenkäyttöön liittyvät toiminnot ovat tuottamisen motorinen suoritus, aistitoiminnot kielen ymmärtämistilanteiden piirteiden havaitsemiseksi, kielen prosessointiin tarvittava kognitiivinen ja neuraalinen toiminta sekä viestinnässä välttämättömän sosiaalinen toiminta.

Motorisen rutinoitumisen tuntomerkki on esimerkiksi puheen sujuvuus. Aistitoimintojen rutinoitumista todistaa oman ensikielen äänteiden tunnistaminen ja tavallisten sanojen salamannopea oivaltaminen. Sosiaalisten toimintojen rutinoitumista on kyky sopeuttaa ilmaisunsa keskustelukumppanien mukaan. Tällainen kognitiivinen ja neuraalinen rutinoituminen johtaa kielenkäytössä tarvittavan assosiaatioverkon mallien ja näitä malleja palvelevien neuroverkkojen vahvistumiseen (Schmid 2016, 437). Kielelliset prosessit, kuten viestin suunnittelu, korjaus ja fonologi-

nen koodaus, voivat olla eriasteisesti tietoisia, kontrolloituja tai ponnisteluja vaativia.

Kielellinen tieto iskostuu assosiaatioiden kautta. Symbolinen assosiaatio liittyy yhteen kielellisten merkkien muodon ja merkityksen. Näin tapahtuu myös vakiintuneille ilmauksille ja sanaliitoille (esimerkinä *God morgon* -toivotus), sananmuodostumisperiaatteille (prefiksit ja suffiksit) kuin myös käsitteellisen tason ilmiöille (esimerkiksi uuden ja vanhan tiedon esittämisjärjestys lauseessa). Yksinkertaistettuna prosessi etenee siten, että uusi sanastoaines tallentuu deklaratiiviseen muistiin hippokampuksen kautta ja siirtyy sieltä aivokuorelle (Davis & Gaskell 2009). Keskeinen aivoalue tässä prosessissa on vasemman aivopuoliskon keskeisen ohimopoimun takaosa, joka liittyy sanaston oppimiseen ja sanastotiedon sulautumiseen (Takashima & Bakker 2017). Sanaedustuksen oletetaan vakiintuvan muistiin unen aikana (Davis & Gaskell 2009). Usein aktivoituvat sanojen verkosto, kuten toistuviin arkitilanteisiin liittyvät tervehdykset ja rupattelukonventionit (esimerkiksi Kaunis sää tänään), muuttuvat nopeasti automaattisiksi.

Syntagmaattiset assosiaatiot kannattelevat muun muassa kielenoppijalle tärkeää taitoa hyödyntää esimerkiksi valmiita sanaliittoja (*chunks*) kieltä tuottaessaan. Nämä opitaan ja tuotetaan analysoimattomina kokonaisuuksina, siksi ne kuormittavat muistia vähemmän kuin niiden rakenneosat erillisinä sanoina (MacWhinney 2017; Nattiger & DeCarrico 1992). Tosin tälle oletukselle ei ole varmaa empiiristä perustaa (Blumenthal-Dramè 2017). Pragmaattiset assosiaatiot auttavat muiden assosiaatiotyyppien rutinoitumista, esimerkiksi sanastollisten konnotaatioiden tai kielellisten rekisterien tunnistamisessa tai tilanteeseen sopivaa tyyliä edustavan ilmaisutavan valinnassa. Kielenkäyttäjät pystyvät siis tallettamaan paitsi varsinaista kieliainesta myös tilannesidonnaisia toimintamalleja, skeemoja, semanttiseen tahtumamuistiin (Takashima & Bakker 2017).

Kielididaktiikan kiinnostuksen kohde on iskostumisen edistäminen formaalissa opetuk-

nessa ja tietoisessa opiskelussa, eli mitä tehtäviä ja kielenkäyttötilanteita oppijoille tulee tarjota, jotta kieliaines iskostuisi oppijan muistiin mahdollisimman tehokkaasti. Vaikka toistuva altistuminen kieliaineikselle ja sen tietoinen prosessointi näyttävät edistävän kieliaineuksen iskostumista muistiin, tästä aiheesta tarvitaan vielä paljon lisää tutkimusta. On esimerkiksi epäselvää, kuinka usein kieliaineikselle pitää altistua, jotta se opittaisiin. Harjoittelutilanteiden lukumäärä ei yksinään selitä sen iskostumista, vaan pikemminkin tietyn muodon tai ilmiön todennäköisyys pärjätä assosiaatiotyyppien välisessä proseduraalistumiskilpailussa. Iskostuminen riippuu myös kielenkäyttäjän ominaisuuksista, kieliaineuksen kompleksisuudesta ja tilannetekijöistä sekä kielijärjestelmän tasosta ja harjoitettavasta taidosta. Esimerkiksi puheen ääntämiseen ja sanaston tai skeemojen mieleen palauttamiseen liittyvät prosessit ovat hyvin erilaisia. Ihmisten työmuistin kapasiteetissakin on suuria keskinäisiä eroja kuten myös aivojen kyvyssä arvioida kieliaineuksen esiintymisen todennäköisyyttä eri tilanteissa. (Schmid 2016, 449–451).

Kielenoppimiskyky (*language aptitude*) on yläkäsite usealle kognitiiviselle tekijälle, jotka muodostavat valmiuden selviytyä tietyn tasoisesta tehtävästä (Carroll 1993). Se on luonteeltaan suhteellisen pysyvä ja pitkäkestoinen piirre. Alkuperäiseen malliin (Carroll 1962) kuuluivat foneettinen koodauskyky, kielellinen analyysikyky, kieliopillinen herkkyys ja tiedostamaton kielellinen analyysikyky sekä muisti. Tähän malliin perustuu edelleen laajalti käytetty Modern Language Aptitude -testi (MLAT). Kielikykytutkimusta on jatkettu ja eriytetty, ja samalla on havaittu sen sisäisiä yhteyksiä sekä yhteyksiä esimerkiksi musikaalisuuteen (Turker, Reiterer, Seither-Preisler & Schneider 2017). MLAT-testin osoittama kielikyky komponentteineen on edelleen paras vieraan kielen oppimistulosten ennustaja yhdessä motivaation kanssa. Motivaatiota on tutkittu runsaasti mutta kielikykyä vain hyvin niukasti, joten tutkijoiden kannattaisi tarttua siihen. (Wen, Biedrón & Skehan 2017, 5–6.)

## Kognitiivisen psykologian ja aivotutkimuksen yhteyksiä

Neurobiologia ja aivotutkimus ovat viime aikoina tuottaneet lisääntyvää ja toistettavaa näyttöä sekä aivoanatomiasta että aivojen aktivoitumisen toiminnallisista piirteistä uuden kielen oppimisen eri vaiheissa ja tasoilla. Aivotutkimus on selvittänyt sekä keskeisten aivoalueiden toimintaa oppimisen aikana että aivoalueiden välistä tiedonvaihtoa ja verkostojen. Tiettyjen aivoalueiden välisten yhteyksien voimakkuus eli konnektiivisuus näyttää ennustavan luotettavasti sekä uusien sanojen että kielioppisääntöjen oppimista erilaisissa luonnollisissa ja virtuaalisissa ympäristöissä. Yhteyksien voimakkuudet vaikuttavat myös selittävän aivojen vasteita eksplisiittiseen ja implisiittiseen opetukseen (Wen, Biedrón & Skehan 2017, 14). Tällainen tieto on karttuessaan mitä arvokkainta kielididaktisten ratkaisujen kehittämiseen.

Aivotutkimus vahvistaa fonologisen työmuistin ratkaisevuuden vieraan kielen oppimisen kannalta tärkeillä alueilla kuten fonologia, sanasto ja kielioppisäännöt (Wen, Biedrón & Skehan 2017, 15). Kognitiivisessa psykologiassa työmuistin alueelta tutkitaan erityisesti toiminnanohjausjärjestelmää (*central executive*) ja lyhytkestoista kielellistä fonologista silmukkaa puheen tuottamisen ja havaitsemisen välillä. Näiden järjestelmien kapasiteetilla on voimakas yhteys vieraan kielen oppimiseen. Kielellisen silmukan kapasiteetti vaikuttaa eniten sanaston, kiinteiden ilmausten sekä kieliopin kehittymiseen ja toiminnanohjauspuolestaan reaaliaikaiseen kielelliseen suoritukseen, kuten puheentuottamiseen.

Esimerkiksi Ylinen, Nora ja Servicen (2020) tutkimuksessa hyvän fonologisen muistin omaavat oppivat sanoja nopeammin parittaisen assosiaation testissä, ja fonologinen muistikapasiteetti oli myös yhteydessä fonologista käsittelyä heijastaviin aivovasteisiin (*phonological mapping negativity*, PMN, Connolly & Phillips 1994) pitemmissä sanoissa, jotka ovat työmuistin kannalta haastavampia. Laajat



meta-analyysit ovat osoittaneet selkeän yhteyden kielen oppimiskyvyn ja sen prosessien sekä tulosten välillä, mutta myös sen, että yhteydet ovat erilaisia eri-ikäisillä oppijoilla. Fonologinen työmuisti on tärkeä nuorille, esimerkiksi peruskouluikäisille, kielenoppijoille (French & O'Brien 2008), kun taas toiminnanohjaus vaikuttaa enemmän tätä vanhempien ja aikuisten vieraan kielen oppimisessa. (Wen, Biedrón & Skehan 2017, 17).

Kielikyvyn tutkimusta tarvitaan lisää, ja sitä voivat innoittaa työmuistin tunnistaminen keskeiseksi vieraan kielen oppimiskyvyn osatekijäksi sekä kykykomponenttien ja oppimis- tai omaksumisprosessien yhteyksien osoittaminen. Vieraan kielen kielikykytutkimus yhdessä rinnakkaistieteiden kanssa voisi lisätä kielenoppimistutkimuksen empiiristä selitysvoimaa. Uusilla menetelmillä päästään aikanaan tilanteeseen, jolloin vieraan kielen opetusta, opiskelua ja oppimista on mahdollista ennustaa ja selittää tutkimusperustaisesti sekä hyödyntää tutkimusta opetustapojen yksilöllistämässä. (Wen, Biedrón & Skehan 2017, 24.)

### **Toiminnallinen aivotutkimus alkoi kuulemisen taidoista**

Aivotutkimuksen menetelmiä ei alun perin suinkaan laadittu kielenoppimisen tutkimuksen tarpeisiin, vaan niiden avulla pyrittiin ymmärtämään aivosairauksia. Varhaiset aivojen anatomian tutkimukset tunnistivat jo 1800-luvulla keskeisiä puheen tuottamiseen liittyviä aivoalueita, esimerkiksi Brocan ja Wernicken alueet. Brocan alue sijaitsee vasemman otsalohkon alaosassa, ja sen toiminta on yhdistetty moniin kielellisiin ja kognitiivisiin toimintoihin, kuten esimerkiksi puheen tuottamisen motoriseen komponenttiin. Wernicken alue sijaitsee vasemman temporaalilohkon yläosassa, ja sen toiminta on yhdistetty puheen havaitsemisen ja tuottamisen merkityskomponenttiin (Binder 2015).

1960-luvulta alkaen aivojen toimintaa on tutkittu systemaattisesti sähkömagneettisin menetelmin. Aivojen kuulojärjestelmän sähkömag-

neettisista tutkimuksista merkittävä osa kohdistuu automaattisiin aivotointoihin, jotka tapahtuvat ennen tietoisia kuulemistointoja. Erityisesti suomalaisessa aivotutkimuksessa on keskitytty aivosähkökäyrältä (EEG eli elektroencefalogrammilla) erottuviin tapahtumasi-donnaisiin jännitevasteisiin (ERP, *event-related potential*) sekä näiden magnetoencefalografialla (MEG) mitattaviin vastineisiin. Kuuloärsyksen synnyttämästä aivoaktivaatiosta käytetään usein yksinkertaisuuden vuoksi myös termiä kuulovaste. Kuulovastetutkimus alkoi jo 1960-luvulla, mutta sen mullisti suomalaisen, professori emeritus Risto Näätäsen 1970-luvulla löytämä MMN (*mismatch negativity*)-vaste. Sen avulla pystyttiin tutkimaan äänten lyhytkestoiseen muistamiseen ja automaattiseen vertailuun liittyviä kuulojärjestelmän toimintoja (Näätänen, Gaillard & Mäntysalo 1978). Sitten on kyetty selvittämään myös äänien ennakoitua ja oppimista. Nykyään MMN-tutkimuksia suoritetaan kannettavilla, pienikokoisilla laitteilla myös koulujen ja päiväkotien tiloissa.

MMN-vasteen avulla ryhdyttiin 1990-luvulla tutkimaan myös vieraan kielen ääniteiden havaitsemiseen liittyviä varhaisia aivoprosesseja. Vaikka MMN-vaste heijastaa erityisesti lyhytkestoisien kuulomuistin toimintaa, se havaittiin toimivaksi pitkäkestoistenkin muistijälkien ja niiden muodostumisen tutkimuksissa (Näätänen ym. 1997). Havaittiin, että ääniteiden muistijäljet aktivoituvat kuulojärjestelmässä aina, kun äänne kuuluu. Kuulovasteiden avulla mitattua ääniteiden pitkäkestoisten muistijälkien kokoelmaa kutsutaan äännekartaksi. Ensimmäinen äännekarttatutkimus esitteli suomenkielisten ja vironkielisten aikuisten aivovasteita suomen ja viron kielisissä esiintyvillä äänneillä (Näätänen ym. 1997). Äännekartan havaittiin aktivoituvan voimakkaammin äänneille, jotka esiintyvät tutkittavien äidinkielessä eli pitkäkestoisen altistumisen kautta opituille äänneille. Oman äidinkielen äännekartta muodostuu yleensä ensimmäisen elinvuoden aikana (Cheour ym. 1998). Jos äidinkielen ja opiskeltavan vieraan kielen äännekartat eroavat toisistaan suuresti, äidinkielen äännekar-

tan käyttäminen oppimisprosessin alussa saattaa vaikeuttaa vieraan kielen ymmärtämistä ja tuottamista. Kieliopintojen tai muun altistuksen aikana äännekartta muokkautuu, ja opiskeltavan kielen äänneet saavat kartalle omat pitkäkestoiset muistijälkensä (Winkler ym. 1999).

Aivotutkimuksia äännekartan muovautumisen nopeudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä on valitettavan vähän. Tiedetään kuitenkin, että ilman formaalia opetusta pelkästään kohdekielille altistamalla äännekartta muokkautuu voimakkaasti ja nopeasti alle kouluikäisillä lapsilla. Esimerkiksi Cheour, Shestakova, Alku, Ceponiene ja Näätänen (2002) tutkivat 3–6-vuotiaiden suomenkielisten lasten äännekartan muovautumista ranskankielisessä varhaiskasvatuksessa puolen vuoden altistuksen jälkeen, jolloin ranskankieliset äänneet ilmesivät lasten äännekartalle. Opiskeltavan kielen äänneiden pitkäkestoiset muistijäljet ovat välttämätön edellytys paitsi onnistuneelle vieraan kielen kuuntelemiselle myös sen ääntämiselle. Äänneiden lisäksi muidenkin fonologisten kontrastien, kuten suomen äänneiden pituuden, on todettu perustuvan vastaaviin muistitiedustuksiin (ks. esim. Nenonen, Shestakova, Huotilainen & Näätänen 2003; Ylinen, Shestakova, Huotilainen & Näätänen 2006).

Äänneiden ja muiden fonologisten kontrastien havaitsemiseen ja oppimiseen liittyvä aivotutkimus on oivallinen esimerkki kielididaktiikan ja aivotutkimuksen risteämästä, jossa teoreettinen kiinnostus ja aivotutkimuksen yksityiskohtaiset löydökset ovat johtaneet eri oppijaryhmille soveltuvien kielididaktisten välineiden kehittymiseen. Kielenopettaja voi soveltaa äännekarttatutkimusta innostamalla oppilaita opiskeltavan kielen käyttöön myös vapaa-ajalla, jotta altistuksen määrä kasvaa. Tämä on tärkeää etenkin muiden kielten kuin englannin opiskelussa.

### **Aivotutkimus etenee interventioihin**

Jo 1990-luvulla ryhdyttiin Suomessakin korostamaan aivojen muovautuvuutta. Muutoksia tapahtuu kokemusten, harjoittelun tai opiske-

lun seurauksena sekä aivojen toiminnassa että anatomiassa. Aivojen harmaassa aineessa nähdään muutoksia muun muassa hermosolujen määrässä ja solujen viejähaarakkeen haarautumisessa niin, että se välittää signaaleja useammille muille neuroneille. Vastaavasti tuojahaarakkeet kehittyvät ottamaan vastaan signaaleja yhä useammista soluista. Lisäksi solujen välisten hermoliitosten määrä kasvaa (Zatorre 2013). Myös aivoalueiden väliset yhteydet paranevat valkean aineen muutosten ja vilkastuneen aivoverenkierron seurauksena.

Esimerkki aivojen muovautuvuudesta on kuulojärjestelmän ja erityisesti sen erottelutarkkuuden tehostuminen musiikin harjoittelun seurauksena. Muusikoiden kuulojärjestelmä reagoi ääniin poikkeuksellisen voimakkaasti, nopeasti ja tarkasti. Musiikkiharrastuksen aikaansaaman kuulojärjestelmän erottelutarkkuuden vaikutusta kielellisiin taitoihin ryhdyttiin tutkimaan 2000-luvun alkupuolella. Havaittiin, että aivoalueet, jotka musiikin harrastajilla ovat enemmän poimuttuneita ja joiden alueella aivokuori on paksuuntunut tai joiden alueella havaitaan enemmän aineenvaihduntatuotteita, eivät ole musiikkialueita vaan yleisiä kuulotiedon käsittelyalueita. Musiikkiharjoittelun aikaansaama prosessointikapasiteetin kasvu tehostaa kaikkien äänien havaitsemista, myös vieraskielisten äänneiden erottelua.

Lasten musiikkitoiminnan vaikutukset havaitaan jo kuulotiedon käsittelyn varhaisimissa vaiheissa aivorungolla, jonka toiminta tarkentuu musiikkiharrastuksen seurauksena ja mahdollistaa pidemmällä prosessointiketjussa sijaitsevien aivoalueiden täsmällisemmän toiminnan (Wong, Skoe, Russo, Dees & Kraus 2007). Laajoissa aivojen rakenteellisissa kuvauksissa on havaittu, että musiikkia pitkään harrastaneiden henkilöiden kuuloaivokuori on systemaattisesti pinta-alaltaan suurempi sekä paksumpi ja tiheämpi kuin musiikkia vähemmän harrastaneilla (Hyde ym. 2009). Käytännön kielididaktiikassa tietoa musiikin kuulojärjestelmää muovaavasta vaikutuksesta voidaan soveltaa toisaalta käyttämällä musiikkia systemaattisesti kielenopetuksessa ja toisaalta



yleisemmin huolehtimalla koko koulun tasolla siitä, että kaikilla halukkailla oppilailla on mahdollisuus harrastaa musiikkia, esimerkiksi koulun kuoroissa ja orkestereissa.

### **Aivotutkimusta sanojen ja lauseiden havaitsemisesta**

Aivotutkimuksen avulla on tutkittu äänteiden lisäksi kokonaisten sanojen ja lauseiden kuulemistä. Kun puheen äänteet on käsitelty aivojen kuuloalueilla, käsittelyn ajatellaan etenevän aivoissa kahta eri reittiä pitkin (Hickok & Poeppel 2007; Scott & Johnsrude 2003). Kuuntelemisen tapa vaikuttaa siihen, kuinka voimakkaasti reitit aktivoituvat. Puheen ymmärtämisessä aktivoituu erityisesti ventraalinen (vatsanpuoleinen) reitti, joka jatkuu kuuloalueilta eteenpäin ohimolohkossa kohti vasenta otsalohkoa. Käsittelyn abstraktiotason ajatellaan kasvavan mitä pidemmälle reitillä edetään äänteistä fonologisiin kategorioihin ja sanoihin (DeWitt & Rauschecker 2012). Tätä reittiä etenee automatisoitunut puheen havaitseminen normaaleissa kuunteluolosuhteissa. Dorsaalinen (selänpuoleinen) reitti sen sijaan aktivoituu erityisesti silloin, jos tehtävän suoritus edellyttää yhteyttä aivojen artikulatorisiin ja motorisiin edustumiin, joiden keskeinen alue on vasemman otsalohkon alaosa. Tällaisia ovat muun muassa puheen tunnistaminen melussa, kuullun puheen matkiminen tai toistaminen, äänteiden erottelu ja verbaalista työmuistia vaativat tehtävät, kuten uusien sanojen fonologisen muodon oppiminen. Dorsaalista reittiä tarvitaan vieraskielisen puheen käsittelyssä enemmän, kunnes kuullun ymmärtäminen automatisoituu. (Ylinen, Kujala & Alho 2009.)

2010-luvulla aivotutkimuksen keskiöön nousi ennakointi. Aivojen toiminnan selittämiseen ei riitä behavioristinen malli, jossa havaitaan ärsyke, käsitellään siihen liittyvää tietoa ja tuotetaan jonkinlainen vaste. Sen sijaan aivotointia alettiin tutkia valmistautumisena tuleviin tapahtumiin ennakoivan mallinnuksen avulla ja näiden ennakointien korjaamisena. Myöskään puheen havaitseminen ja tunnistaminen

aivoissa ei perustu pelkästään kuulon kautta välittyvään akustiseen signaaliin ja sen yhdistämiseen sopivaan pitkäkestoisen muistin edustukseen, vaan aivot pyrkivät koko ajan ennakoimaan tulevia aistitapahtumia. Äänteet sanan alussa synnyttävät automaattisesti ennakoiteja seuraavista äänteistä (Ylinen ym. 2016) ja voivat edelleen aktivoida leksikaalisia edustumia (Gagnepain, Henson & Davis 2012). Erityisesti aktivoituvat kontekstiin tai lauseeseen sopivien sanojen edustukset, ja ennakoinnin ansiosta niiden mukainen puhe tunnustetaan nopeasti ja helposti. Kielitaidon taso vaikuttaa ennakoiteihin ja puhesignaalin sovitamiseen yhteen niiden kanssa. Jos oppijalla ei ole tarvittavia sanaedustuksia pitkäkestoisessa muistissa, ennakointi ei onnistu ja ymmärtäminen jää saavuttamatta, ellei sanan merkitystä pysty pääättelemään kontekstista.

### **Vieraan kielen opiskeluun liittyvä aivotutkimus**

Aivotutkimuksen menetelmien kehittyttyä ja tutkimuskysymysten muututtua soveltavammiksi on ryhdytty myös tutkimaan harjoittelun ja erilaisten opetuskokeilujen eli interventioiden vaikutusta vieraan kielen oppimiseen. Vieraan kielen äänteiden harjoittelussa on käytetty HVPT (*high variability phonetic training*)-menetelmää muistuttavaa tehtävää, jossa altistus sisältää harjoiteltavia äänteitä eri konteksteissa ja eri puhujien tuottamina. Ennen harjoittelua suomenkielisten aiovasteet englannin äännekontrastille olivat heikompia kuin englanninkielisillä, mutta harjoittelun ansiosta ne kehittyivät yhtä voimakkaiksi kuin englanninkielisillä. Myös sanojen tunnistustehtävässä suomenkielisten suoritus myös parani merkittävästi. (Ylinen ym. 2010.)

2010-luvulla alkoivat yleistyä pienet, helpokäyttöiset autonomisen hermoston vasteita mittaavat laitteet. Tällöin ryhdyttiin tutkimaan myös tunteiden ja fysiologisten tilojen vaikutusta oppimiseen. Haasteiden puutteessa pitkästynyt tai liian vaikeisiin tehtäviin turhautunut ihminen oppii heikosti, mutta motivoi-

tunut ja sopivia haasteita kohtaava taas oppii helpommin. Oppimiseen vaikuttaa myös oppimisen kokeminen palkitsevana tai palkitseva palaute sekä oppimiskäsitykset ja -strategiat. Onnistumisiin liittyvä palaute kielenoppimistehtävässä tai harjoittelun aikana aktivoi saman palkitsemisjärjestelmän kuin ulkoiset palkinnot, kuten raha tai ruoka (Tricoli, Delgado, McCandliss, McClelland & Fiez 2006).

Palkitsemisjärjestelmän hermoverkkoon kuuluu alueita otsalohkosta ja aivojen sisäosista, mukaan lukien tyvitumakkeet (muun muassa aivojuovio) ja talamus. Keskeinen välittäjäaine on dopamiini. Palkitsemisjärjestelmä ja dopamiini voivat osaltaan selittää yksilöllisiä eroja kielenoppimisessa (Wong, Morgan-Short, Ettlinger & Zheng 2012). Palautteen avulla voidaan aktivoida aivojen palkitsemisjärjestelmää ja siten edistää kielenoppimista. Palkitsemisjärjestelmä voi aktivoitua jopa ilman ulkoista palkintoa vaikkapa silloin, kun oppija oivaltaa uuden sanan merkityksen (Ripollés ym. 2014).

Aivojen palkitsemisjärjestelmää aktivoivat erityisesti pelit, joissa suoriutuminen johtaa palkintoihin tai etenemiseen. Kohtuullisesta pelaamisesta saattaakin olla hyötyä kognitiolle (Bediou ym. 2018; Green & Bavelier 2003). Pelejä voi hyödyntää myös oppimisessa, sillä palkintojen tavoittelu voi auttaa suuntaamaan tarkkaavuutta, mikä osaltaan syventää opettavan asian muistiin iskostumista. Samalla pelin antama palaute aktivoi aivojen palkitsemisjärjestelmää, joka puolestaan on yhteydessä muistin kannalta keskeisiin aivoalueisiin, kuten hippokampukseen. Esimerkki lasten kielenoppimiseen tarkoitettusta digitaalisesta pelistä on Say it again, kid! -sovellus, joka hyödyntää automaattista puheentunnistusta lasten vieraskielisen puheen arvioinnissa ja antaa palautetta ja palkkioita lasten tuottamasta vieraskielisestä puheesta (Junttila ym. 2022; Ylinen & Kurimo 2017).

Aivotutkimusta on sovellettu myös kielenoppimisen vaikeuksien analysointiin. Lukivaikueudesta kärsivien suomenkielisten lasten englanninkielisen puheen käsittelyä tutkineet havaitsi-

vat, että tuttu englannin sana synnytti näillä lapsilla heikomman aiovasteen kuin sujuvasti lukevilla erityisesti oikeassa aivopuoliskossa. Sen sijaan vieraan kielen äänteiden käsittely onnistui yhtä hyvin kuin sujuvasti lukevilla. (Ylinen ym. 2019.) Tulokset haastavat kehittämään lukivaikuteen sopivia tapoja oppia uusia sanoja vieraassa kielessä joko aktivoimalla oikeaa kuuloaivokuorta, esimerkiksi musiikillisilla tehtävillä, tai käyttämällä kompensoivia oppimistapoja, kuten toiminnallisuutta ja muistisääntöjä.

Suullinen vuorovaikutus on yksi kielididaktiikan keskeisimpiä ja tutkituimpia kysymyksiä, mutta senkin yksityiskohtainen aivoperusta on vielä pitkälti tuntematon. Kielten oppimisen ja arvioinnin tutkimukseen on vasta viime vuosina ilmestynyt koeasetelmia, joissa paneudutaan siihen, mitä aivoissa vuorovaikutuksen aikana tapahtuu ja mikä on käytetyn kielen rooli. Keskustelijoiden välillä on myös havaittu aivotointojen mukautumista toisiinsa. Tämäntapaiset tulokset avaavat kaihattuja näkymiä kielellisen vuorovaikutuksen määrälliseen tutkimukseen osallistujien aivotoinnin tasolla. (Pérez, Dumas, Karadag & Duñabeitia 2019.)

Kognitiivisen neurotieteen saavuttama tieto aivoissa tapahtuvista dynaamisista muutoksista auttaa tavoittamaan vieraan kielen oppimisen yksilöllistä neurobiologista perustaa, hermoverkkojen muovautumiskykyä sekä kaksija monikielisyyden aivoperustaa (Li & Grant 2016). Kielenoppimisen vaiheilla on tarkat vastineensa myös aivojen muistiedustumissa, mutta kielenoppimisen tutkimus ja muistitutkimus ovat kulkeneet paljolti omia latujaan. Tieteenalat voivat hyödyttää paljon toisiaan ja auttaa kielenoppimisen monimutkaisien jatkumon ymmärtämisessä. (Mickan, McQueen & Lemhöfer 2019.)

## **Kielididaktiikka ja aivotutkimus – yhteistyöllä eteenpäin**

Aivotutkimus nousi suuren yleisön tietoisuuteen 1990-luvulta alkaen, kun vuosikymmen julistettiin Yhdysvalloissa aivojen vuosikym-

meneksi. Tuolloin aivotutkimuksen laitteistot kehittyivät suurin harppauksin ja keksittiin muun muassa toiminnallisen magneettikuvantamisen menetelmät. Tämän lisäksi vanhemmat aivotutkimusmenetelmät kehittyivät ja muuttuivat helpokäyttöisemmiksi. Tietojenkäsittelytieteen kehitys mahdollisti aiempaa monipuolisemman tiedonkäsittelyn ja tutkimustulosten tarkemman toteamisen sekä tulokinnan.

Myös aivotutkimuksen tutkimuskysymykset muuttuivat. Vielä 1990-luvulla oli tyypillistä tutkia aivotoimintaa mahdollisimman yksinkertaisissa, helposti toistettavissa ja kontrolloiduissa olosuhteissa. Laboratorio-olosuhteet sekä käytetyt ärsykkeet ja tehtävät olivat kovin kaukana arkitodellisuudesta. Tilanne muuttui kuitenkin nopeasti 1990-luvun aikana, kun ryhdyttiin tutkimaan aivovasteita luonnollisiin ärsykeisiin, kuten puheeseen ja musiikkiin. Enää ei ollut välttämätöntä tutkia vain yksittäisten äänteiden tai tavujen aivovasteita, vaan aivotutkimus tavoitti myös luonnollisempia kielenkäyttötilanteita.

Aivotutkimuksen koeasetelmien tulee edelleen olla melko yksinkertaisia, jotta pystyttäisiin kontrolloimaan sitä, mitä ne mittaavat. Aivotutkimus soveltuu hyvin behavioristiseen oppimiskäsitykseen perustuvien hypoteesien koeasetelmalliseen tutkimiseen, joista esimerkkinä mainittakoon aivojen palkitsemisjärjestelmän toiminta. Myös kognitiivisiin kysymyksistä monet soveltuvat aivotutkimukseen (esimerkiksi edellä mainittu musiikin käyttö kielen oppimisessa). Behavioristiset ja kognitiiviset oppimiskäsitykset perustuvat osin kokeellisesti todettuihin aivojen neurokognitiivisiin mekanismeihin. Siten ne heijastavat joitakin aivojen tapoja oppia, vaikka etenkin behaviorismia on paljon kritisoitu ja pidetty vanhanaikaisena. Sen sijaan aivotutkimuksen keinoin on toistaiseksi haastavaa löytää tukea sosiokulttuuriselle tai ekologis-semioottiselle oppimiskäsitykselle. Näiden oppimiskäsitysten pohjalta on erittäin vaikea muodostaa empiirisesti koeltavia hypoteeseja, joita pidetään kokeellisen tutkimuksen kentällä tieteen

edellytyksenä. Kaikki mainitut näkemykset kuvaavat kuitenkin kielenoppimisen eri puolia, joiden tutkimus edistyy ja tarkentuu koko ajan.

Aivotutkimuksen metodiset edistysaskeleet mahdollistivat myös siirtymisen ryhmätasoisista tutkimuksista yksilön tutkimiseen erityisesti yksilöllisesti vaihtelevissa tutkimusaiheissa, kuten kielen prosessointi (Zuo, Xu & Milham 2019). Aiemmillä tutkimusmenetelmillä aivovasteiden tutkimiseen tarvittiin vähintään noin 10 koehenkilön ryhmäkeskiarvo, johon yksittäisten henkilöiden tulokset sulautuivat, eikä poikkeamia voitu käytännössä tulkita tai käsitellä. Nykymenetelmin saadaan tarkkaa tietoa myös yksilön aivotoiminnasta. Tämä tieto voi auttaa opetuksen suunnittelussa ja tukitoimien suuntaamisessa niitä tarvitseville kielenoppijoille.

Toisaalta yksilön aivovasteiden mittaamisessa voidaan nähdä myös uhkia (Farah 2002). Oppija ei itse tiedä, mitä tietoa hän itsestään antaa, kun hän osallistuu aivotutkimukseen. Väärin käytettynä aivotutkimuksen tuottama tieto, kuten mikä tahansa yksilötasoinen oppimisen mittaaminen, voi kääntyä oppijaa vastaan. Lisää uhkakuvia synnyttää ajatus aivotutkimuksen ja genetiikan yhdistymisestä oppimisen kehittämiseksi sekä tulosten parantamisessa. Jos tulevaisuudessa otetaan käyttöön vaikkapa oppilaiden aivosähkökäyrän mittaukset oppitunneilla, herää kysymys: osaako opettaja käyttää eettisesti laitteiden tuottamaa tietoa, esimerkiksi oppilaan poikkeuksellisen tarkasta äännekartasta tai poikkeuksellisen paljon harhalevasta tarkkaavaisuudesta?

Sinänsä neutraalilla mittaamenetelmällä saatujen tulosten käyttö vaatii opetuksen ja tutkimuksen eettisten periaatteiden tuntemista ja noudattamista. Myönteisessä tulevaisuudennäkymässä opettaja oman työnsä tutkijana tai koulupsykologi voisi käyttää aivotutkimusmenetelmiä kartoittamaan yleisesti oppimista tai tilanteissa, joissa oppilaan oppimiseen liittyy jokin erityinen haaste, jota halutaan ymmärtää tarkemmin. Ennen kuin tämä on mahdollista aivotutkimuksen menetelmien on edelleen yksinkertaistettava ja muututtava helpokäyttöi-

semmiksi. Niiden on myös lähennyttävä käytännön kielenopetuksen kysymyksiä.

Aivotutkimus voi tarjota kielididaktiikalle ja kielenopettajille ymmärrystä aivojen toiminnan perusteista ja kielenoppimisen neurokognitiivisista mekanismeista eli tavoista, joilla aivot toimivat kieleen ja puheeseen liittyvissä tilanteissa. Aivotutkimustieto lisää oppimisen haasteiden ymmärrystä ja tarjoaa välineitä niiden ratkaisemiseen. Se voi auttaa muokkaamaan opiskelutehtäviä oppijoiden tarpeisiin ja viritämään ideoita uudenaikaisista opetus- ja opiskelutavoista. Interventioiden ja opetuskokeilujen tehoa voidaan tutkia kokeellisesti osoittamalla oppimisvaikutuksia ja aivojen muovautuvuutta niiden seurauksena. Kielididaktiikka puolestaan voi tarjota aivotutkimukselle käsitteellistä teoriapohjaa ja siitä kumpuavia tutkimuskysymyksiä. Aivotutkimus kaipaaakin suurempaa yhteyttä kielenopetuksen käytäntöön ja haasteisiin suuntautuakseen kielididaktisesti oleellisiin kysymyksiin. Lisääntyvä vuoropuhelu näiden tieteenalojen välillä kohentaa molempien relevanssia ja vaikuttavuutta.

## Lähteet

- Ausubel, D. P. 1960. The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology* 51 (5), 267–272.
- Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S. & Bavelier, D. 2018. Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological Bulletin* 144 (1), 77–110. <https://doi.org/10.1037/bul0000130>
- Binder, J. R. 2015. The Wernicke area: Modern evidence and a reinterpretation. *Neurology* 85 (24), 2170–2175. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000002219>
- Blumenthal-Dramé, A. 2017. Entrenchment from a psycholinguistic and neurolinguistic perspective. Teoksessa H.-J. Schmid (toim.) Entrenchment and the psychology of language learning: How we reorganize and adapt linguistic knowledge. American Psychological Association. Berliini: De Gruyter Mouton. 129–152. <https://doi.org/10.1037/15969-007>
- Bronfenbrenner, U. 1979/1996. The ecology of human development: Experiments by nature and design. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Carroll, J. B. 1962. The prediction of success in intensive foreign language training. Teoksessa R. Glaser (toim.) Training research and education. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh, 87–136. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED038051.pdf>. (Luettu 20.5.2022.)
- Carroll, J. 1993. Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies. New York, NY: Cambridge University Press.
- CEFR 2001. Common European framework of reference for languages: Learning, teaching, assessment. <https://rm.coe.int/16802fc1bf>. (Luettu 20.5.2022.)
- Cheour, M., Ceponiene, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Alho, K. & Näätänen, R. 1998. Development of language-specific phoneme representations in the infant brain. *Nature Neuroscience* 1, 351–353. <https://doi.org/10.1038/1561>
- Cheour, M., Shestakova, A., Alku, P., Ceponiene, R. & Näätänen, R. 2002. Mismatch negativity shows that 3-6-year-old children can learn to discriminate non-native speech sounds within two months. *Neuroscience Letters* 325 (3), 187–190. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(02\)00269-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(02)00269-0)
- Chomsky, N. 1965/2015. Aspects of the theory of syntax. Cambridge, MA: MIT Press.
- Connolly, J. F. & Phillips, N. A. 1994. Event-related potential components reflect phonological and semantic processing of the terminal word of spoken sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience* 6 (3), 256–266. <https://doi.org/10.1162/jocn.1994.6.3.256>
- Davis, M. H. & Gaskell, G. M. 2009. A complementary systems account of word learning: Neural and behavioural evidence. *Philosophical Transactions of The Royal Society B. Biological Sciences* 364 (1536). <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0111>
- DeKeyser, R. 2017. Knowledge and skill in ISLA. Teoksessa S. Loewen & M. Sato (toim.) *The Routledge handbook of instructed second language acquisition*. New York, NY: Taylor & Francis, 15–32.
- DeWitt, I. & Rauschecker, J. P. 2012. Phoneme and word recognition in the auditory ventral stream. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(8). <https://doi.org/10.1073/pnas.1113427109>
- Douglas Fir Group. 2016. A transdisciplinary framework for SLA in a multilingual world. *The Modern Language Journal* 100 (S1), 19–47. <https://doi.org/10.1111/modl.12301>
- EVK 2003. Eurooppalainen viitekehys: Kielten oppimisen, opettamisen ja arvioinnin yhteinen eurooppalainen viitekehys. Suom. I. Huttunen ja H. Jaakkola. Euroopan neuvosto. Helsinki: WSOY.
- Farah, M. J. 2002. Emerging ethical issues in neuroscience. *Nature neuroscience* 5 (11), 1123–1129.
- French, I. M. & O'Brien, I. 2008. Phonological memory and children's second language grammar learning. *Applied Psycholinguistics* 29 (3), 463–487.
- Gagnepain, P., Henson, R. N. & Davis, M. H. 2012. Temporal predictive codes for spoken words in auditory cortex. *Current Biology* 22 (7), 615–621.
- Green, C. S. & Bavelier, D. 2003. Action video game modifies visual selective attention. *Nature* 423, 534–537. <https://doi.org/10.1038/nature01647>

- Halliday, M. A. K. 1978. *Language as social semiotic*. London: Edward Arnold.
- Hickok, G. & Poeppel, D. 2007. The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience* 8 (5), 393–402.
- Hildén, R. & Takala, S. 2007. Relating descriptors of the Finnish school scale to the CEF overall scales for communicative activities. *Teoksessa A. Koskensalo, J. Smeds, P. Kaikkonen & V. Kohonen (toim.) Foreign languages and multicultural perspectives in the European context*. Münster: LIT Verlag, 219–300.
- Hildén, R. & Rautopuro, J. 2014. *Ruotsin kielen A-oppimäärän oppimistulokset perusopetuksen päättövaiheessa 2013*. Julkaisut 2014:1. Helsinki: Kansallinen koulutuksen arviointikeskus.
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C. & Schlaug, G. 2009. The effects of musical training on structural brain development: A longitudinal study. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1169 (1), 182–186. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04852.x>
- Hymes, D. 1972. *Towards communicative competence*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Härmälä, M., Huhtanen, M. & Puukko, M. 2014. *Englannin kielen A-oppimäärän oppimistulokset perusopetuksen päättövaiheessa 2013*. Julkaisut 2014: 2. Helsinki: Kansallinen koulutuksen arviointikeskus.
- Junttila, K., Smolander, A.-R., Karhila, R., Giannakopoulou, A., Uther, M., Kurimo, M. & Ylinen, S. 2022. Gaming enhances learning-induced plastic changes in the brain. *Brain and Language* 230. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2022.105124>
- Jyrhämä, R. A., Hellström, M., Uusikylä, K. & Kansanen, P. 2016. *Opettajien didaktiikka*. Jyväskylä: PS-kustannus.
- Järvinen, H.-M. 2012. Vieraiden kielten didaktiikka. *Teoksessa A. Kallioniemi & A. Virta (toim.) Ainedidaktiikka tutkimuskohteena ja tiedonalana. Kasvatusalan tutkimuksia 60*. Turku: Suomen kasvatustieteellinen seura, 217–249.
- Kim, K. M. & Godfroid, A. 2019. Should we listen or read? Modality effects in implicit and explicit knowledge. *The Modern Language Journal* 103 (3), 648–664. <https://doi.org/10.1111/modl.12583>
- Krashen, S. 1982. *Principles and practice in second language acquisition*. Oxford: Pergamon.
- Lado, R. 1961. *Language testing: The construction and use of foreign language tests: A teacher's book*. Bristol: Longmans.
- Lantolf, J. & Thorne, S. 2006. *Sociocultural theory and the genesis of second language development*. Oxford: Oxford University Press.
- Leow, R. P. 2015. *Explicit learning in the L2 classroom: A student-centered approach*. New York, NY: Routledge.
- Li, P. & Grant, A. 2016. Second language learning success revealed by brain networks. *Bilingualism: Language and Cognition* 19(4), 657–664. <https://doi.org/10.1017/S1366728915000280>
- MacWhinney, B. 2017. *Entrenchment in second-language learning*. Teoksessa H.-J. Schmid (toim.) *Entrenchment and the psychology of language learning: How we reorganize and adapt linguistic knowledge*. Berliini: De Gruyter Mouton, 343–366.
- McLaughlin, B. 1987. *Theories of second-language learning*. Lontoo: Routledge.
- Mickan, A., McQueen, J. M. & Lemhöfer, K. 2019. Bridging the gap between second language acquisition research and memory Science: The case of foreign language attrition. *Frontiers in Human Neuroscience* 13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00397>
- Nattinger, J. R. & DeCarrico, J. S. 1992. *Lexical phrases and language teaching*. Oxford: Oxford University Press.
- Nenonen, S., Shestakova, A., Huottilainen, M. & Näätänen, R. 2003. Linguistic relevance of duration within the native language determines the accuracy of speech-sound duration processing. *Cognitive Brain Research* 16 (3), 492–495. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(03\)00055-7](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(03)00055-7)
- Norris, J. M. & Ortega, L. 2000. Effectiveness of L2 instruction: A research synthesis and quantitative meta-analysis. *Language Learning* 50 (3), 417–528.
- Näätänen, R., Gaillard, A.W.K. & Mäntysalo, S. 1978. Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica* (42) 4, 313–329. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(78\)90006-9](https://doi.org/10.1016/0001-6918(78)90006-9)
- Näätänen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour, M., Huottilainen, M., Iivonen, A., Vainio, M., Alku, P., Ilmoniemi, R. J., Luuk, A., Allik, J., Sinkkonen, J. & Alho, K. 1997. Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Nature* 385, 432–434. <https://doi.org/10.1038/385432a0>
- Pérez, A., Dumas, G., Karadag, M. & Duñabeitia, J. A. 2019. Differential brain-to-brain entrainment while speaking and listening in native and foreign languages. *Cortex* 111, 303–315. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.11.026>
- Piccardo, E. & North, B. 2019. *The action-oriented approach: A dynamic vision of language education*. Bristol: Channel View Publications.
- Poehner, M. E., van Compernelle, R. A., Esteve, O. & Lantolf, J. P. 2019. A vygotkian developmental approach to second language education. *Journal of Cognitive Education and Psychology* 17 (3), 238–259.
- Richards, J. C. & Rodgers, T. S. 2001. *Approaches and methods in language teaching. 2. painos*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ripollés, P., Marco-Pallarés, J., Hielscher, U., Mestres-Missé, A., Tempelmann, C., Heinze, H. J., Rodríguez-Fornells, A. & Noesselt, T. 2014. The role of reward in word learning and its implications for language acquisition. *Current Biology* 24 (21), 2606–2611. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.09.044>
- Schmid, H.-J. 2016. *Linguistic entrenchment and its psychological foundations*. Teoksessa H.-J. Schmid (toim.) *Entrenchment and the psychology of language learning: How we reorganize and adapt linguistic knowledge*. Berliini: De Gruyter Mouton, 435–452.
- Scott, S. K. & Johnsrude, I. S. 2003. The neuroanatomical and functional organization of speech perception.



- Trends in Neurosciences 26 (2), 100–107. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(02\)00037-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(02)00037-1)
- Segalowitz, N. 2010. Cognitive bases of second language fluency. Lontoo: Routledge.
- Spada, N., Jessop, L., Tomita, Y., Suzuki, W. & Valeo, A. 2014. Isolated and integrated form-focused instruction: Effects on different types of L2 knowledge. *Language Teaching Research* 18 (4), 453–473. <https://doi.org/10.1177%2F1362168813519883>
- Takashima, A. & Bakker, I. 2017. Memory consolidation. Teoksessa H.-J. Schmid (toim.) *Entrenchment and the psychology of language learning: How we reorganize and adapt linguistic knowledge*. Berliini: De Gruyter Mouton, 177–200. <https://doi.org/10.1037/15969-009>
- Tella, S. & Harjanne, P. 2004. Kielididaktiikan nykypainotuksia. *Didacta Varia* 9 (2), 25–52. <http://hdl.handle.net/10224/3673>. (Luettu 19.5.2022.)
- Tricomi, E., Delgado, M. R., McCandliss, B. D., McClelland, J. L. & Fiez, J. A. 2006. Performance feedback drives caudate activation in a phonological learning task. *Journal of Cognitive Neuroscience* 18 (6), 1029–1043. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.6.1029>
- Turker, S., Reiterer, S., Seither-Preisler, A. & Schneider, P. 2017. “When music speaks”: Auditory cortex morphology as a neuroanatomical marker of language aptitude and musicality. *Frontiers in Psychology* 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02096>
- Vygotsky, L. S. 1978. *Mind in society: The development of higher psychological processes*. M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner & E. Souberman (toim.). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wen, Z., Biedrón, A. & Skehan, P. 2017. Foreign language aptitude theory: Yesterday, today and tomorrow. *Language Teaching* 50 (1), 1–31. <https://doi.org/10.1017/S0261444816000276>
- Winkler, I., Kujala, T., Tiitinen, H., Sivonen, P., Alku, P., Lehtokoski, A., Czigler, I., Csépe, V., Ilmoniemi, R. J. & Näätänen, R. 1999. Brain responses reveal the learning of foreign language phonemes. *Psychophysiology* 36 (5), 638–642.
- Wong, P. C. M., Morgan-Short, K., Ettliger, M. & Zheng, J. 2012. Linking neurogenetics and individual differences in language learning: The dopamine hypothesis. *Cortex* 48 (9), 1091–1102. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.03.017>
- Wong, P. C. M., Skoe, E., Russo, N. M., Dees, T. & Kraus, N. 2007. Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns. *Nature Neuroscience* 10 (4), 420–422.
- Ylinen, S., Bosseler, A., Junntila, K. & Huotilainen, M. 2017. Predictive coding accelerates word recognition and learning in the early stages of language development. *Developmental Science* 20(6). <https://doi.org/10.1111/desc.12472>
- Ylinen, S., Huuskonen, M., Mikkola, K., Saure, E., Sinkkonen, T. & Paavilainen, P. 2016. Predictive coding of phonological rules in auditory cortex: A mismatch negativity study. *Brain and Language* 162, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2016.08.007>
- Ylinen, S., Junntila, K., Laasonen, M., Iverson, P., Ahonen, L. & Kujala, T. 2019. Diminished brain responses to second-language words are linked with native-language literacy skills in dyslexia. *Neuropsychologia* 122, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.11.005>
- Ylinen, S., Kujala, T. & Alho, K. 2009. Puheen havaitsemisen aivoperusta. Teoksessa O. Aaltonen, R. Aulanko, A. Iivonen, A. Klippi & M. Vainio (toim.) *Puhuva ihminen – puhetieteiden perusteet*. Helsinki: Otava, 244–254.
- Ylinen, S. & Kurimo, M. 2017. Kielenoppiminen vauhtiin puheteknologian avulla. Teoksessa H. Savolainen, R. Vilkkonen & L. Vähäkylä (toim.) *Oppimisen tulevaisuus*. Helsinki: Gaudeamus, 57–69.
- Ylinen, S., Nora, A. & Service, E. 2020. Better phonological short-term memory is linked to improved cortical memory representations for word forms and better word learning. *Frontiers in Human Neuroscience* 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00209>
- Ylinen, S., Shestakova, A., Huotilainen, M., Alku, P. & Näätänen, R. 2006. Mismatch negativity (MMN) elicited by changes in phoneme length: A cross-linguistic study. *Brain Research* 1072 (1), 175–185. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2005.12.004>
- Ylinen, S., Uther, M., Latvala, A., Vepsäläinen, S., Iverson, P., Akahane-Yamada, R. & Näätänen, R. 2010. Training the brain to weight speech cues differently: A study of Finnish second-language users of English. *Journal of Cognitive Neuroscience* 22 (6), 1319–1332. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21272>
- Zatorre, R. J. 2013. Predispositions and plasticity in music and speech learning: Neural correlates and implications. *Science* 342 (6158), 585–589. <https://doi.org/10.1126/science.1238414>
- Zuo, X.-N., Xu, T. & Milham, M. P. 2019. Harnessing reliability for neuroscience research. *Nature Human Behaviour* 3 (8), 768–771.

*Saapunut toimitukseen: 29.11.2020  
Hyväksytty julkaistavaksi: 17.3.2022*