

10

Kielellinen neuroplastisiteetti ja kielihäiriöstä toipuminen

MATTI LEHTIHALMES & ANU KLIPPI

Tiede on jatkuvasti itseään korjaava prosessi. Tutkijat muuttavat käsityksiään tutkimuskohteestaan, jos uusi tutkimus antaa siihen riittävästi perusteita. Näkemys aivovaurion jälkeisestä toipumisesta on tästä hyvä esimerkki. Vielä 30–40 vuotta sitten uskottiin, että aivokudos ei uusiudu. Paranemisen taas ajateltiin perustuvan yhtäältä aivovaurion aiheuttaman alkuvaiheen kudosturvotuksen ja toisaalta vauriota seuranneiden rakenteellisten ja toiminnallisten etäisvaikutusten (diaskiisi) vähenemiseen pian akuuttivaiheen jälkeen. *Diaskiisillä* tarkoitetaan mekanismeja, joka lamaannuttaa vaurioalueeseen yhteydessä olevat ulkopuoliset ja vielä terveet hermosolut, kun rakenteelliset ja toiminnalliset yhteydet ovat katkenneet (Carrera & Ttononi, 2014).

Aivojen toiminnallisen kuvantamisen kehitys on viime vuosikymmeninä perusteellisesti muuttanut käsitykset aivovaurion ja sen aiheuttamien toiminnallisten puutteiden paranemisesta. Kun aiemmin tarkasteltiin pääosin aivokuoren (kortikaalisia) vauriota, nyt on siirrytty selvittämään laajoja kognitiivisista toiminnoista vastaavia hermoverkkoja ja niiden sisäisiä yhteyksiä (esim. Nair ym., 2015). Kielellisen hermoverkon on havaittu muodostuvan vähintään kahdesta dorsaalista (aivojen yläosan) ja kahdesta ventraalisesta (aivojen alaosan) valkean aineen muodostamasta väylästä, jotka yhdistävät aivokuoren alueita toisiinsa (Friederici & Gierhan, 2013; ks. myös luku 1). Aivojen yläosan väylät vastaavat puheen fonologisesta

tuottamisesta esimerkiksi toistamistehtävässä, jossa korostuu kuulohavainnon ja sitä vastaavan motorisen toiminnon yhdistyminen (*auditiivis-motorinen integraatio*). Lisäksi nämä väylät tukevat monimutkaisia kieliopillista prosessointia. Ventraaliset aivojen alaosan väylät puolestaan vastaavat kuulohavainnon ja sitä vastaavan äännerakenteen muodostamiseen liittyvän (*auditiivis-fonologinen integraatio*) informaation semanttisesta ja perustason syntaksin prosessoinnista.

MITÄ HERMOSTOLLINEN MUOVAUTUVUUS ON?

Hermosolujen muovautuvuudella eli *plastisuudella* tarkoitetaan uusien hermosolujen syntymistä ja erityisesti hermosolujen ulokkeiden uudiskasvua ja näiden versovien ulokkeiden muodostamia uusia synaptisia yhteyksiä. Se johtaa hermoverkkojen järjestymiseen uudelleen siten, että niiden toiminta muuttuu (Ylinen, 2011). Terveet aivot sopeutuvat ihmisen koko elämän ajan muuttuviin olosuhteisiin, ja varsinkin uuden taidon oppimisessa hermoverkot organisoituvat uudelleen. Pitkään kuitenkin oletettiin, että aivot olisivat valmiit yksilönkehityksen päätyttyä aikuisuuden kynnyksellä ja että aivoissa ei tapahtuisi enää sen jälkeen mainittavia muutoksia. Tämä käsitys alkoi murtua 1980-luvulla, kun neuroplastisiteetin urauurtava tutkija Paul Bach-y-Rita havaitsi, että hermosolut voivat uusiutua ja kasvaa ja että aivosolut voivat osallistua vaurion jälkeen sellaisiin toimintoihin, joita ne eivät ole aiemmin hoitaneet (Bach-y-Rita ym., 1981).

Äidinkielen omaksuminen lapsuudessa on oivallinen esimerkki kielellisestä neuroplastisiteetista. Nykyään tiedetään, että aivojen kielellinen neuraalinen verkosto kehittyy geneettisen ohjautumisen ja ympäristön vaikutuksesta kohdussa jo 28.–32. raskausviikon aikana hyvin aikuismaiselle tasolle (Gervain, 2015). Syntymän jälkeen lapsella täytyy lisäksi olla tiettyjen kriittisten ikäkausien aikana mahdollisuus saada riittävästi tietynlaisia ympäristöärsykeitä, jotta kielelliset toiminnot kehittyvät normaalisti (Hooks & Chen, 2007; Werker & Hensch, 2015).

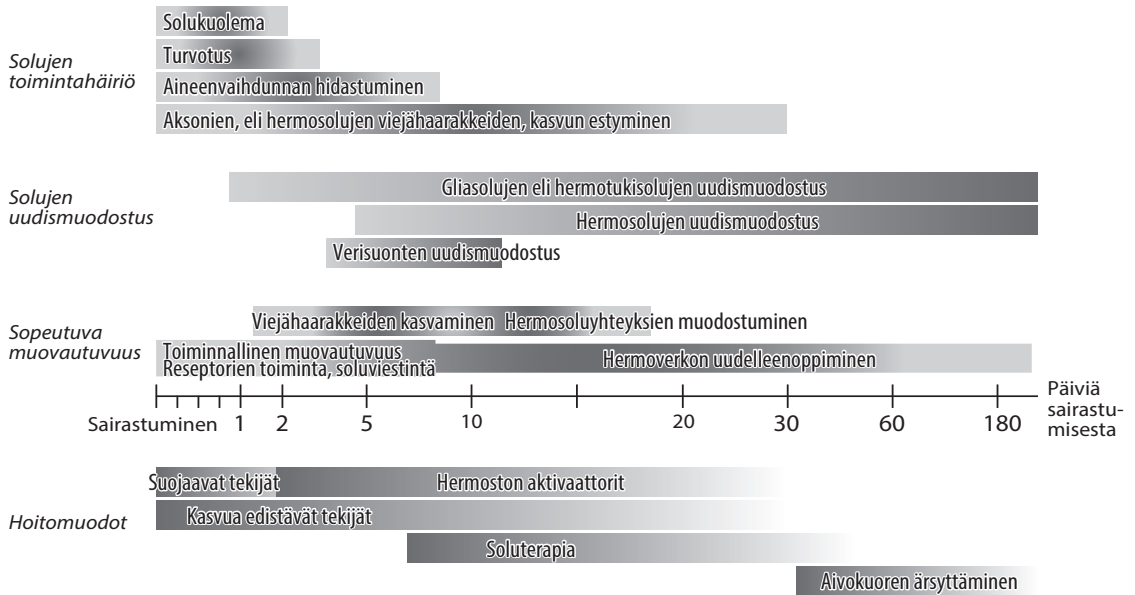
Lapsi oppii äidinkieltänsä sanaston, ääntämyksen, rakenteet ja käytön vähitellen. Samalla kun kieli kehittyy ympäristön virikkeiden ja tuen avulla, aivojen hermoverkostoissa tapahtuu monimutkaisia muutoksia. Vielä ei täysin tiedetä, millaisia nämä muutokset ovat, mutta epäilemättä kielenoppiminen muokkaa aivojen toimintaa ratkaisevasti. Epäselvyyttä on myös siinä, miten aivojen kielellinen organisoituminen tapahtuu, mikäli lapsi opettelee heti kahta kieltä rinnakkain. Teoriassa ihminen voi oppia kuinka monta kieltä tahansa, mutta käytännössä jonkinlainen raja tulee vastaan, koska kielten oppiminen on yleensä hidasta. Kieliä pitää myös jatkuvasti ylläpitää puhumalla ja lukemalla, jotta kielitaito säilyisi.

Yksilönkehitys perustuu siis hermoverkkojen muovautumiseen, johon vaikuttavat sekä ympäristön vaatimukset että yksilö itse harjoittaessaan erilaisia kognitiivisia ja motorisia toimintoja. Muovautuminen jatkuu läpi elämän, mikä tekee ihmisten aivoista yksilöllisiä niin fysiologisesti kuin anatomisestikin (Chiarello ym., 2012). Tästä voidaan päätellä, että myös afaattinen oirekuva on hyvin yksilöllinen. Englantilainen neurologi John Hughlings Jackson korosti jo 1800-luvulla, että afasiaoire ei ole suora seuraus aivovauriosta, vaan oireisto on nähtävä aivojen säilyneiden osien toimintana tilanteessa, jossa osa toimintaan liittyvistä rakenteista on tuhoutunut ja osa kehittää kompensatorisia toimintoja (ks. Fridriksson & Smith, 2016; ks. myös luku 24).

AIVOJEN KORJAUTUMINEN VAURION JÄLKEEN

Aivoinfarkti eli aivokudoksen hapenpuute verisuonen tukkeutumisen vuoksi aiheuttaa kaaoksen aivojen hermoverkossa. Kudostuhon eteneminen voidaan estää ja parhaimmillaan jo kehittynyt afasiakin voidaan parantaa avaamalla tukkeutunut aivovaltimo mekaanisesti (trombektomia) tai liuotushoidolla (trombolyyysi) (Denier ym., 2015; ks. myös luku 9). Joka tapauksessa – ilman uusia lääketieteellisiä hoitojakin – välittömästi sairastumisen jälkeen alkaa monitasoinen hermoverkkojen korjautumisprosessi. Tämä käsittää muutoksia solutason toiminnassa, hermosolujen dendriittien (tuojahaarakkeiden) rakenteisiin liittyviä muutoksia sekä uusien synaptisten yhteyksien muodostumista. Tällainen neuroplastisiteetti perustuu uusien hermoyhteyksien muodostumiseen (*neurogeneesi*), uusien verisuonien kehittymiseen (*angiogeneesi*) ja aineenvaihdunnan (*metabolia*) prosesseihin, joita puolestaan stimuloivat motoriikkaan ja eri aistikanavien välittämään informaatioon liittyvät kokemukset sekä harjoittelu ja oppiminen. Ei kuitenkaan tiedetä, kuinka merkittäviä tekijöitä esimerkiksi neurogeneesi ja angiogeneesi ovat afasian paranemisessa (Chopp ym., 2007; Fridriksson & Smith, 2016). Joka tapauksessa neuroplastisiteettiin sisältyy toiminnallista ja rakenteellista hermoverkon muutosta, mikä näkyy uudelleen oppimisena ja esimerkiksi afasiasta toipumisena (kuva 10.1). Kuntoutuksen perimmäinen tarkoitus on siis muokata aivoja. Jotta käyttäytyminen muuttuisi, täytyy myös aivojen muuttua.

Aivojen spontaani toipuminen on voimakkainta 30 ensimmäisen päivän kuluessa sairastumisesta, mutta se jatkuu ainakin kuusi kuukautta tämän jälkeenkin (Wieloch & Nikolich, 2006). Vielä oireiston kroonisessa vaiheesakin voidaan kuntoutuksella edistää ja tukea aivojen hermoverkkojen muovautumista. Ympäristöllä ja harjoittelulla on tässä huomattava vaikutus, ja ihmisen oma toiminta ympäristössään kehittää hänen kognitiivisia taitojaan



Kuva 10.1. Aivovaurion toipumisen mekanismit ensimmäisten kuuden kuukauden aikana sairastumisesta. Lähde: Wieloch & Nikolich, 2006.

jatkuvasti. Esimerkiksi globaali- ja Brocan afasian yhteydessä on havaittu kielellisten toimintojen paranemista jopa yli 20 vuotta sairastumisen jälkeen (Klippi & Helasvuo, 2011; Smania ym., 2010).

Neuroplastisiteettiin liittyy useita hyvin tunnettuja ilmiöitä. Aivojen hermosolujen synapseissa tapahtuu jatkuvaa muutosta. Oppimisen kannalta olennaista on synaptinen ja ei-synaptinen plastisiteetti. Tällä tarkoitetaan sitä, että synapsien väliset yhteydet joko vahvistuvat käytössä tai heikentyvät, mikäli niitä ei aktiivisesti käytetä. Oppimisen perustana pidetään Hebbin laiksi nimettyä ilmiötä, joka voidaan tiivistää ilmaukseen ”*cells that fire together, wire together*”. Sen mukaan samanaikaisesti aktiiviset soluverkostot kytkeytyvät vähitellen toisiinsa toiminnallisesti, kun taas epätahtinen (asynkroninen) aktivaatio heikentää olemassa olevia synaptisia yhteyksiä. Mikäli hermosolujen (tai solukkojen) välillä ei ole lainkaan aktivaatiota, niiden välille ei kehity toiminnallista yhteyttä (Berthier & Pulvermüller, 2011).

Positiivisesta plastisiteetista puhutaan, kun uuden taidon oppimisessa alkaa hermoverkostojen välille muodostua yhä tiiviimpiä toiminnallisia yhteyksiä. Kielellisessä kuntoutuksessa positiivinen plastisiteetti tarkoittaa, että aivojen kielelliset hermoverkostot aktivoituvat tai järjestyvät uudelleen. *Negatiivinen plastisiteetti* puolestaan viittaa siihen, että hermosolut ja -verkostot kytkeytyvät virheellisesti, mikä johtaa epäsuotuisaan toimintaan ja oppimiseen (Fridriksson & Smith, 2016). Tämä ilmiö voisi selittää pitkäkestoiset ja haitalliset perseveratiiviset virheet (juuttuvat toiminnot, esim. *tuttu tyttö tuttu tyttö* -ilmaisun jatkuva toistaminen) tai toistuvat parafasiat (väärät sanavalinnat, esim. *pöydän* sijaan *tuoli* tai *lattian* sijaan *katto*).

AFASIASTA TOIPUMISEN MEKANISMIT

Toistaiseksi ei löydy menetelmää, jonka avulla voisimme ennustaa, paraneeko jonkun ihmisen afasia ja missä aikataulussa (Price ym., 2010; van Almenkerk ym., 2013). Tiedetään kuitenkin, että aivovaurion aiheuttamien häiriöiden paranemiseen liittyy lukuisia tekijöitä, joiden merkitys on vaihdellut eri tutkimusaineistoissa (Banich & Compton, 2011, s. 456). Sellaisia ovat muun muassa yksittäisen vaurion sijainti ja sen laajuus sekä vaurioiden lukumäärä. Vaikuttavia tekijöitä ovat myös sairastumisikä ja sairastumista edeltävä kognitiivinen taso. Lisäksi kuntoutumiseen vaikuttaa se, voiko jokin toinen toiminnallinen järjestelmä ottaa hoitaakseen vaurioituneen toiminnan, sekä se, miten aivojen kognitiiviset hermoverkot toimivat. Myös yksilölliset erot aivojen rakenteessa vaikuttavat kuntoutumiseen. Kuntoutumisen kannalta merkityksellisiä ovat myös kuntoutujan motivaatio ja emotionaaliset tekijät sekä kuntoutuksen laatu ja kesto. Eri tutkimusten yhteenvetona parhaiten paranemista näyttäisivät ennustavan aivovaurioon liittyvät tekijät. Sen sijaan sukupuoli, ikä, kärsiväisyys tai koulutus eivät tässä vertailussa nouse keskeisiksi tekijöiksi afasiasta toipumisessa (Watila & Balarabe, 2015).

Afasiasta toipuminen on yhteydessä moniin tekijöihin, eikä voida ajatella, että sen taustalla olisi jokin yksittäinen prosessi tai tietty aivojen toiminnallisen tai rakenteellisen muovautuvuuden malli. Toipumisen aivomekanismeja näyttäisi olevan ainakin kaksi (Fridriksson & Smith, 2016). Ensimmäinen liittyy *toiminnalliseen uudelleen aktivaatioon*, jolla aivot pyrkivät tukeutumaan vaurioaluetta ympäröivään hermokudokseen. Esimerkkinä voidaan mainita melodisen intonaatioterapian (MIT-terapian) vaikutus vasemman aivopuoliskon vauriota ympäröivissä kudoksissa. Tavanomaisen lyhyen lauseen toistotehtävän aikana nämä olivat niin sanotussa penumbratilassa, jolloin niiden verenkierto toimi juuri ja juuri sen verran, että solut olivat hengissä mutta toimintakyvyttömiä. Pitkään jatkuneessa afasiassa nuo kudokset voivat myös olla haitallisen plastisiteetin tuloksena niin sanotun opitun käyttämättömyyden tilassa, jolloin puhuja ei yritä tehdä vaikeiksi kokemiaan tehtäviä. Melodiatoistossa korostetaan harjoituslauseiden luonnollista intonaatiota (sävelkulkua) niin paljon, että muodostuu yksinkertainen melodia. Näin tuotettujen lauseiden aikana vauriota ympäröivien kudosten solujen aktiviteetti oli 20 prosenttia korkeampi kuin tavanomaisen toiston aikana (Lehtihalmes & Launes, julkaisematon aineisto). Havainto vastaa Pascal Belinin työryhmän (1996) tulosta, jonka mukaan melodiatoiston aikana nimenomaan vasemman aivopuoliskon otsalohkon alueet aktivoituivat, kun taas tavanomaisen toiston aikana aktivaatio lisääntyi vain oikean aivopuoliskon alueella.

Toinen toipumisen aivomekanismi liittyy *toiminnalliseen uudelleen organisoitumiseen*, joka perustuu joko vasemman aivopuoliskon säilyneiden rakenteiden aktivoitumiseen tai oikean aivopuoliskon vastaavien (homologisten) alueiden aktivoitumiseen. Tätä on perinteisesti pidetty afasiasta toipumisen perusmekanismina, mutta ilmeisesti afasiasta toipumisen yhteydessä tapahtuu sekä uudelleen aktivoitumista että uudelleen järjestymistä, vaikkakin eri vaiheissa. Dorothee Saur työryhmineen (2006) on osoittanut, että vasemmanpuoleisen aivovaurion *akuuttivaiheessa* koko vasemman aivopuoliskon kielellisen hermoverkon aktiviteetti heikkenee merkittävästi. Akuutin aivovaurion jälkeisessä nopean kuntoutumisen vaiheessa (*subakuuttivaihe*) näkyy voimakasta aktivaatiota oikean aivopuoliskon vastaavilla alueilla, mutta *kroonisessa vaiheessa* aktivaatio palaa jälleen vasempaan aivopuoliskoon 4–12 kuukauden kuluttua sairastumisesta. Näyttää siltä, että nimenomaan vasemman aivopuoliskon aktivaation lisääntyminen kroonisessa vaiheessa liittyy kielellisen hermoverkon normalisoitumiseen ja siten afasiasta toipumiseen (Fridriksson & Smith, 2016; Kiran, 2012; Saur ym., 2006).

Kussakin paranemisvaiheessa erilaiset mekanismit vaikuttavat kielellisen hermoverkon plastisiin muutoksiin ja korjautumiseen (Stockert ym., 2016). Kuntoutuminen on heikointa silloin, kun vasemman aivopuoliskon uudelleenaktivaatio jää hyvin vajaaksi ja oikean aivopuoliskon vastaavat kielelliset alueet pyrkivät kompensoimaan vasemman aivopuoliskon kielellisen prosessoinnin puutteita (Heiss & Thiel, 2006). Tähän viittaavat myös havainnot, joiden mukaan oikean aivopuoliskon lisääntynyt ja pysyvä aktiviteetti liittyy laajaan vasemman aivopuoliskon vaurioon. Sen sijaan vasemman aivopuoliskon pienten vaurioiden kohdalla lisääntynyt aktivaatio näkyy erityisesti vauriota ympäröivissä rakenteissa ja on yhteydessä hyvään afasiasta paranemiseen (Cappa, 2011).

Vasemman aivopuoliskon kielellisten verkostojen vaurioitumisen jälkeisestä kielellisen prosessoinnin siirtymisestä oikeaan aivopuoliskoon on esitetty erilaisia selityksiä. Yksi voisi olla se, että vasemman aivopuoliskon vaurion seurauksena aivopuoliskot eivät pysty estämään toistensa aktivoitumista, ja sen vuoksi oikea aivopuolisko osallistuu tavanomaista aktiivisemmin kielelliseen prosessointiin (Cappa, 2011). Toinen selitys liittyy vaurion jälkeiseen kielellisten verkostojen uudelleen organisoitumiseen siten, että kielellistä prosessointia siirtyy selvästi enemmän oikeaan aivopuoliskoon (esim. Richter ym., 2008). Oikealla aivopuoliskolla on mahdollisesti jopa erityinen valmius osallistua normaalia laajemmin kielelliseen prosessointiin silloin, kun vasemman aivopuoliskon kielelliset järjestelmät ovat vaurioituneet (Hartwigsen ym., 2013; ks. myös luku 14).

Taustamekanismeista riippumatta oikealla aivopuoliskolla ajatellaan kuitenkin olevan jokin tehtävä kielellisessä toipumisessa. Tutkimustulokset ovat kuitenkin liian hajanaisia. On myös epäselvää, milloin ja millainen kuntoutus pitäisi aloittaa esimerkiksi aivoverenkiertohäiriön jälkeen. Yleinen ohje on, että kuntoutus tulee aloittaa mahdollisimman aikaisin. Julkaistuissa tutkimuksissa ”varhaisella” on kuitenkin tarkoitettu aikaa tunneista kuukausiin, ja sairastumisen jälkeisten vaiheiden (akuutti, subakuutti ja krooninen) määrittely vaihtelee suuresti tutkimuksesta toiseen (Bernhardt ym., 2012). Eläinkokeissa ja simulaatiomalleissa on saatu viitteitä siitä, että tiivis kuntoutus välittömästi aivovaurion jälkeen saattaisi jopa haitata paranemista verrattuna siihen, että intensiivisen kuntoutuksen aloittamista lykättäisiin siihen asti, kunnes kudosten palautusmekanismit ovat vakautuneet (Bains & Schweighofer, 2014). Femke Nouwensin työryhmä (2017) havaitsikin, että potilasryhmä, jonka neliviikkoinen intensiivinen afasiaterapia aloitettiin jo kaksi viikkoa sairastumisesta, ei toipunut pitkässäkään seurannassa paremmin kuin verrokkiryhmä, joka ei saanut näin varhain aloitettua terapiaa. Kielelliset prosessit ovat monimutkaisia, ja niiden paranemismallien tutkimus on vielä niin alussa, ettei selvää ohjeistusta afasiaterapian aloittamisajankohdasta ole pystytty muodostamaan (Nouwens ym., 2015).

MONITEKIJÄINEN TOIPUMINEN

Afasiasta toipuminen perustuu useisiin rakenteellisiin ja toiminnallisiin tekijöihin. Toiminta muovaa aivoja, ja kuntoutuakseen ihminen tarvitsee sekä ympäristön tarjoamia kielellisiä ärsykeitä että aktiivista harjoittelua. Kieltä tulee käyttää riittävän paljon, jotta muovautuvuus käynnistyy. Neurotieteellisestä perustutkimuksesta on johdettu monia periaatteita kuntoutukseen (Kleim & Jones, 2008). Näistä useita, kuten kuntoutuksen ajoitukseen, tiivyyteen ja määrään sekä hoitotuloksen yleistymiseen liittyviä tekijöitä, on jo sovellettu afasiaterapiaan (Raymer ym., 2008).

Ihmisten aivot ovat myös yksilölliset. Joillakin jo ennen sairastumista syntyneillä rakenteellisilla tekijöillä on osoitettu olevan yhteys afasiasta paranemiseen. Uusilla diffuusiotensorikuvantamiseen (DTI-traktografia) perustuvilla menetelmillä on saatu havaintoja siitä, että informaatiota välittävän valkean aineen rakenne ja tilavuus vaikuttavat afasiasta paranemisessa. Eriyisesti oikean aivopuoliskon *fasciculus arcuatus* -hermoratakimpun pitkän segmentin suurempi tilavuus antaa suotuisia ennusteita afasian paranemisesta pitkällä aikavälillä (Forkel ym., 2014). On myös näyttöä, että afasiaterapian vaikutuksesta *fasciculus arcuatus* -säikeiden lukumäärä kasvaa (Schlaug ym., 2009).

Tutkimustietoa ei ole kuitenkaan riittävästi siitä, millaisiin mekanismeihin aivojen kielellisen hermoverkon uudelleen organisoituminen perustuu. On ilmeistä, että kielellinen hermoverkko käsittää myös huomattavan määrän ei-kielellisiä kognitiivisia komponentteja. Tällainen neuraalinen ”monitoimisuus” voi olla paranemisvaiheessa merkittävä tekijä, mutta siihen perustuvista yhdistelmä kuntoutuksista ei ole riittävästi tutkimusta, jotta voitaisiin laatia terapiasuosituksia afasiakuntoutusta varten (Cahana-Amitay & Albert, 2015b). Femke Nouwensin työryhmä (2015) esittää, että pian vasemmanpuoleisen vaurion jälkeen aivot pyrkivät palauttamaan kielellisen hermoverkon toiminnan. Siksi akuuttivaiheessa tulisi keskittyä intensiiviseen kielellispainotteiseen kuntoutukseen, joka tukee aivojen spontaania paranemista. Kompensatorisia menetelmiä tulisi käyttää vasta paljon myöhemmässä vaiheessa, kun aivojen spontaani korjautumismahdollisuus on vähentynyt. Sama työryhmä on todennut, että etenkin alkuvaiheessa vaikeasti afaattiset ihmiset hyötyvät eniten kuntoutuksesta, jossa keskitytään erityisesti semanttisen ja fonologisen prosessoinnin parantamiseen sanojen, lauseiden sekä pitempien tekstien tasolla (Nouwens ym., 2014).

Lapsen kielen ja puheen kehitys perustuu keskushermoston plastisiin muutoksiin, jotka ovat seurausta ympäristön tarjoamista ärsykkeistä sekä tietoisesta erilaisten taitojen harjoittamisesta (Zhang & Wang, 2007). Näiden samojen mekanismien myötä yksilölliset aivojen plastiset muutokset jatkuvat läpi elämän (Oberman & Pascual-Leone, 2013). Aivot siis pystyvät myös vaurioitumisensa jälkeen palauttamaan ja organisoimaan uudelleen kielellisen hermoverkon toiminnan. Tähän paranemisnopeuteen ja -asteeseen pystytään merkittävästi vaikuttamaan oikein suunnatulla afasiaterapialla.