

Nils Sandman

Ajattelun kielen evoluutio

**Sosiaalisen älykkyyden hypoteesi ihmisen kognitiivisten
erityispiirteiden selittäjänä**

Kognitiotieteen pro gradu -tutkielma
29.5.2010

Jyväskylän yliopisto
Tietojenkäsittelytieteiden laitos
Jyväskylä

Tiivistelmä

Sandman, Nils Edward

Ajattelun kielen evoluutio: Sosiaalisen älykkyyden hypoteesi ihmisen kognitiivisten erityispiirteiden selittäjänä

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2010.

103 s.

Pro gradu -tutkielma

Tutkielman ohjaajat: Johanna Maksimainen ja Pauli Brattico

Tutkielmassa luodaan katsaus ihmisen evoluutioon ja hänet muista kädellisistä erottaviin kognitiivisiin erityispiirteisiin. Näitä piirteitä tarkastellaan komputationaalisen mielenteorian viitekehyksessä. Ihmisen kognitiiviset erityispiirteet pyritään määrittelemään ja niiden kehityksen selittäjäksi esitetään sosiaalisen preadaptaation hypoteesi.

Hypoteesi perustuu usean eri alojen tuottamaan tietoon ihmisen lajikehityksestä ja evoluution lainalaisuuksista sekä muiden kädellisten kognitiivisista kyvyistä. Tutkielman kannalta keskeisimmät teoriat ovat sosiaalisen älykkyyden hypoteesi, jonka mukaan kädellisten suuret aivot ovat kehittyneet vastauksena näiden eläinten monimutkaiseen sosiaaliseen ympäristöön, sekä Dorothy Cheney ja Robert Seyfarthin esittämä hypoteesi paviaanien sosiaaliseen kognition kehittyneestä ajattelun kielestä. Näitä teorioita tarkastellaan komputationaalisesta näkökulmasta ja päädytään esittämään, että myös ihmisen kognitiiviset erityispiirteet perustuvat preadaptaatioille, jotka ovat kehittyneet sosiaalista kognitiota varten.

Sosiaalisen preadaptaation hypoteesi on parsemoninen selitys ihmisen kognitiivisten erityispiirteiden evoluutiolle. Se on yhteensopiva fossiiliaineiston, lajimme geneettisen historian ja muista kädellisistä omaavamme tiedon kanssa. Kuten monien evolutiivisten selitysten kohdalla, sen suora testaaminen on kuitenkin vaikeaa. Tutkielma kuitenkin osoittaa, että komputationalistisesta näkökulmasta on mahdollista tutkia myös muita lajeja kuin ihmistä ja komparatiivisella kognition tutkimuksella on paljon annettavaa oman lajimme mielen tutkimukselle.

AVAINSANAT: evoluutio, kognitio, ihminen, kädelliset, ajattelu, kieli

Sisällys

1 Johdanto.....	4
2 Ihmisen evoluutio	6
2.1 Ihmisen lajikehitys.....	6
2.1.1 Kädelliset ja ihminen eliökunnassa.....	10
2.1.2 Varhaiset esi-isämme.....	13
2.1.3 Ihmisten suku.....	15
2.1.4 Nykyihmisen lyhyt historia.....	19
2.2 Ihmisen geneettinen evoluutio.....	22
2.2.1 Mikro- ja makroevoluutio sekä kehityksen tahti.....	22
2.2.2 Evodevo ja uusien ominaisuuksien kehittyminen.....	25
2.2.3 Ihmisen ja simpanssin geneettiset erot.....	27
2.3 Yhteenveto: ihmisen evoluutio.....	30
3 Älykkyyden evoluutio.....	34
3.1 Kädellisten aivojen kehitys.....	34
3.1.1 Sosiaalisen älykkyyden hypoteesi.....	37
3.1.2 Vaihtoehtoja sosiaalisen älykkyyden hypoteesille.....	39
3.1.3 Ihmisen aivojen kehitys.....	42
3.2 Komputationaalinen mielenteoria.....	45
3.2.1 Komputationalismi teoriana.....	45
3.2.2 Komputationalismi ja komparatiivinen tutkimus.....	48
3.2.3 Ajattelun kieli -hypoteesi.....	50
3.2.4 Ihmisen kielen evoluutio.....	51
3.3 Kädellisten kognitiiviset kyvyt.....	53
3.3.1 Paviaanien elämäntapa ja tutkimus	54
3.3.2 Paviaanien kommunikaatio ja sosiaalinen tietous.....	57
3.3.3 Paviaanien komputationaaliset prosessit.....	60
3.3.4 Kädellisten kognitiiviset kyvyt.....	63
3.4 Yhteenveto: älykkyyden evoluutio	66
4 Ihmisen erityispiirteiden evoluutio.....	69
4.1 Ihmisen erityispiirteet	69
4.1.1 Erityispiirteiden luokittelu.....	72
4.1.2 Ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteet.....	76
4.2 Sosiaalisen preadaptaation hypoteesi.....	81
4.2.1 Hypoteesia tukevat aineisto.....	83
4.2.2 Hypoteesin kritiikkiä.....	88
5 Yhteenveto.....	93
6 Lähteet.....	98

1 Johdanto

Tänä vuonna on kulunut 151 vuotta siitä kun Charles Darwin (1859) esitti luonnonvalinnan mekanismin ja evoluutioteoria syntyi. Näiden vuosien aikana evoluutiobiologia on tuonut ihmisen yksiselitteisesti osaksi luontoa, yhdeksi evoluution muovaamaksi lajiksi muiden joukossa. Tästä huolimatta kysymys siitä, mitkä lajimme piirteet mahdollistavat luonnossa ainutlaatuisen elämäntapamme ja miten nämä piirteet ovat kehittyneet ovat yhä avoinna.

Tässä tutkielmassa tutustutaan nykykäsitykseen ihmisen evoluutiosta ja muiden kädellisten kognitiivisista kyvyistä. Tutkielma pyrkii hahmottelemaan, mitä muista eläimistä poikkeavan elämäntapamme mahdollistavat ihmisen kognitiiviset erityispiirteet ovat ja miten ne todennäköisesti ovat kehittyneet. Kysymys on luonteeltaan monitieteinen ja sitä lähestytään hyödyntämällä tietoa evoluutiobiologiasta ja genetiikasta, eläinten käyttäytymisen tutkimuksesta, biolingvistiikasta ja kognitiotieteestä.

Nykykäsityksen mukaan lajimme evoluutio ei vaikuta poikkeukselliselta pienen populaatiokoon omaavalle nisäkkäälle. Olemme geneettisesti hyvin lähellä simpanssia ja 5–7 miljoonaa vuotta, jotka olemme simpanssin kanssa kehittyneet erillisinä lajeina riittää hyvin selittämään 1% eron genotyypeissämme (CASC 2005). Fenotyypin tasolla simpanssi ja ihminen muistuttavat kyllä toisiaan fyysisesti, mutta elämäntapamme poikkeaa merkittävästi. Kaikki ihmisen ainutlaatuisen elämäntavan taustalla olevat piirteet löytyvät kuitenkin yhdestä prosentista genomiamme, jossa eromme simpansseihin sijaitsee. Geno- ja fenotyypimme välillä näyttää olevan epäsymmetrinen suhde, joka kaipaa selitystä.

Voidaksemme selittää geno- ja fenotyypimme epäsymmetrian, on ensin määriteltävä mitkä ihmisen piirteet aiheuttavat fenotyypimme eron simpansseihin nähden. Tämä ei ole kognitiivisten piirteiden tapauksessa triviaali tehtävä, joka on mahdollista tehdä a priori tai tutkimalla vain ihmistä. Muiden kädellisten tutkimus on lajimme erityispiirteiden määrittelyssä avainasemassa. Dorothy Cheney ja Robert Seyfarth (2008a, 2008b) ovat tehneet tällaista tutkimusta paviaaneilla ja heidän mukaansa ero ihmisen ja muiden kädellisten tiedonkäsittelyssä on pienempi, kuin mitä aikaisemmin on uskottu. Muilla kädellisillä ei ole ihmisen kielen kaltaista kommunikaatiojärjestelmää, mutta tästä huolimatta niiden

tiedonkäsittely voi kuitenkin sisältää monia komputationaalisia prosesseja jotka toimivat myös ihmisen kielen taustalla. Cheney ja Seyfarthin mukaan paviaanien sosiaalisen kognition järjestelmä muistuttaa ihmisen kieltä enemmän kuin niiden kommunikaatio.

Cheney ja Seyfarthin näkemys on liittyy läheisesti sosiaalisen älykkyyden hypoteesiin, teoriaan, jonka mukaan kädellisten suuret aivot ovat kehittyneet niiden monimutkaisen sosiaalisen elämän vaikutuksesta (Dunbar 2007, Humphrey 1976). Myös Marc Hauserin, Noam Chomskyn ja Tecumseh Fitchin (2002, 2005) ehdottama idea ihmisen kielen jakamisesta alajärjestelmiin, joista osa on yhteisiä eläinten kanssa, sopii hyvin yhteen Cheney ja Seyfarthin näkemyksen kanssa. Osa ihmisen kielen taustalla vaikuttavista prosesseista on voinut kehittyä kädellisten evoluutiossa sosiaalisen ympäristön hahmottamista varten. Näistä lähtökohdista päädytään argumentoimaan, että ihmisen ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteet ovat itseasiassa hyvin suppea joukko komputationaalisia prosesseja ja ihmisen kognitiiviset erityispiirteet perustuvat preadaptaatioille, jotka ovat kehittyneet edeltäjissämme sosiaalisten valintapaineiden vaikutuksesta.

Tutkimus ihmisen evoluutiosta ja muiden eläinten kognitiivisista kyvyistä on monella tapaa kiinnostava aihe. Käsitys ihmisen ja muiden eläinten kognitiivisten kykyjen eroista ja lajimme alkuperästä ovat ihmistieteiden perustavanlaatuisia kysymyksiä, jotka luovat viitekehyksen kaikille tieteenaloille, jotka tutkivat ihmisen toimintaa. Konkreettisella tasolla tieto ihmisen eroista ja samankaltaisuudesta muihin eläimiin on arvokasta tietoa tutkijoille, jotka käyttävät eläimiä malliorganismeina ihmisen elimistön ja mielen toiminnasta. Filosofisella tasolla käsitys lajimme paikasta luonnossa voi määrittää suhtautumistamme muuhun eläinkuntaan. Nykytiedon mukaan simpanssi läheisempää sukua ihmiselle kuin rotta on hiirelle (Diamond 1992). Tämän tosiasian tulisi vaikuttaa asenteisiin muiden eläinten ja erityisesti muiden kädellisten kohtelua kohtaan.

Tutkielma rakentuu kolmesta osasta. Ensimmäisessä osassa tutustutaan nykykäsitykseen ihmisen evoluutiosta, perustuen sekä fossiiliaineistoon että genetiikkaan. Toisessa osassa esitellään teoriat kädellisten aivojen kehityksestä ja kognitiivisista kyvyistä sekä komputationaalinen mielenteoria. Viimeisessä osassa pyritään määrittelemään ihmisen erityispiirteet ja esitetään sosiaalisen preadaptaation hypoteesi.

2 Ihmisen evoluutio

Tässä luvussa luodaan katsaus lajimme historiaan ja paikkaan eliökunnassa. Luvussa 2.1 käsitellään nykykäsitys lajimme evoluutiosta. Pintapuolisesti käydään läpi myös kädellisten lahko, jotta lukija pystyy muodostamaan kuvan myöhemmin tutkielmassa mainittujen lajien sukulaisuudesta ihmiseen. Ihmisen evoluutio on hyvin nopeasti liikkuva tutkimusala: uudet fossiililöydöt ja geneettiset menetelmät muuttavat jatkuvasti käsitystä ihmiseen johtaneista lajeista ja näiden keskinäisistä suhteista. Tämän vuoksi tutkielmassa esitettävään ihmisen sukupuuhun ei ole yritetty sisällyttää kaikkia nykytieteen nimeämiä lajeja, vaan siinä keskitytään esi-isiiimme, joiden olemassaolosta ja sukulaisuhteista nykytiede on enimmäkseen yksimielinen.

Ymmärtääksemme paremmin ihmisen geno- ja fenotyypin välistä epäsymmetriaa, käsitellään luvussa 2.2 teorioita evoluution tahdistusta, geenien säätelyn roolista evoluutiosta ja ihmisen sekä simpanssin geneettisiä eroja. Lopuksi tehdään yhteenveto ihmisen biologisen evoluution tutkimuksen merkityksestä erityispiirteidemme selittämiseksi.

2.1 Ihmisen lajikehitys

Ennen lajimme kehityshistorian käsittelyä, käydään läpi muutamia keskeisiä käsitteitä ja metodeja. Ensimmäinen näistä on lajin määrittely. Ihmisellä on tapana kategorisoida maailmaa, ja siten eliöitäkin on kautta aikojen jaoteltu ryhmiin samanlaisuutensa perusteella. Vaikka tällainen toiminta on intuitiivista, on evoluution kannalta aina jossain määrin keinotekoisia erottaa lajit toisistaan, erityisesti tarkasteltaessa eliön kehityshistoriaa. Tämä johtuu siitä, että lajin muuttuminen toiseksi evoluution johdosta on jatkuva prosessi, ei selvärajainen tapahtuma. Myöskään eliöiden jako lajeihin pelkästään niiden fenotyypin ominaisuuksien, kuten rakenteen ja käyttäytymisen, perusteella ei välttämättä tuota todellista kuvaa niiden sukulaisuudesta, koska samankaltaiset ominaisuudet voivat kehittyä evoluutiosta toisistaan riippumatta.

Laji voidaan määritellä useilla tavoilla, mutta nykyisin vallalla on biologinen lajimääritelmä, jonka mukaan eliöt ovat eri lajia, jos niiden välillä ei voi olla geenivirtaa (mm. Campbell & Reece 2008, Klein 2009). Käytännössä tämä tarkoittaa, että eri lajin yksilöt eivät voi lisääntyä keskenään ja täten lajien evoluutio on toisistaan riippumatonta. Juuri evoluution riippumattomuus on tässä määritelmässä avainasemassa: jos kaksi populaatiota ei vaihda keskenään geenejä, toisessa tapahtunut mutaatio ei leviä toiseen ja populaatiot voivat kehittyä erilaisiksi. Kun populaatiot ovat kehittyneet niin erilaisiksi, etteivät enää voi lisääntyä keskenään, on tapahtunut lajiutuminen. Biologinen lajinmääritelmä toimii hyvin seksuaalisesti lisääntyvillä, elossa olevilla lajeilla. Valitettavasti sen soveltaminen sukupuuttoon kuolleisiin lajeihin on ongelmallista. Esi-isistämme on jäljellä vain fossiiliaineisto, eikä ole mahdollista testata, kuka pystyy lisääntymään kenen kanssa. Sen sijaan fossiilien perusteella tehtävä lajinmäärittäminen on väistämättä perustuttava luuston rakenteesta tehtyihin havaintoihin. Ideana on, että vertailemalla nykyisten lajien luustojen eroja, saadaan käsitys, kuinka suuret erot kertovat eri lajeista ja mitkä ovat normaalia vaihtelua. Tällä perusteella nykyihmistä edeltävät ihmislajit on jaettu sukuihin ja lajeihin, mutta nämä jaot ovat yhä kiistanalaisia ja muuttuvat uusien fossiililöytöjen tahdissa. (Klein 2009, Valste 2004.)

Toinen oleellinen käsite, joka käsitellään ennen lajimme historiaan perehtymistä, on tieteellinen luokittelu. Eliöiden luokittelujärjestelmän kehitti alunperin Carl Linnaeus 1700-luvulla, ja vaikka hänen kriteerinsä eliöiden jakamiseen eivät enää päde, on luokittelun peruslogiikka pysynyt samana. Eliökunta jaetaan luokkiin sen perusteella, mitä yhteisiä ominaisuuksia eliöt keskenään jakavat. Mitä alempaan luokkaan tullaan (alin luokka on laji), sitä erikoistuneemmista ominaisuuksista jako tehdään ja sitä vähemmän lajeja luokkaan kuuluu. Esimerkiksi kunnan tasolla sekä ihminen, *Homo sapiens*, että banaanikärpänen, *Drosophila melanogaster*, kuuluvat eläimiin, koska molemmat ovat monisoluisia, eikä kummallakaan ole soluseinää vaan kalvo. Luokan tasolla ihminen kuuluu nisäkkäisiin mm. maidonerityksen ja tasalämpöisyyden vuoksi ja banaanikärpänen hyönteisiin kolmen jalkaparinsa ja avoimen verenkiertonsa vuoksi. Tieteellisessä luokittelussa on 7 perustasoa, mutta tehdäkseen tarkempia kuvauksia lajien taksonomiasta, voivat tutkijat mielenkiintoisissa eliöryhmissä luoda lisää tasoja. Esimerkiksi ihmisen asema eliökunnassa voidaan kuvata yli kahdenkymmenen tason tarkkuudella. Taulukko 1. selventää tieteellistä luokittelua esittelemällä ihmisen ja banaanikärpäsen luokittelun perustasojen suhteen.

TAULUKKO 1. Tieteellinen luokittelu.

Kunta	Pääjakso	Luokka	Lahko	Heimo	Suku	Laji
Eläinkunta (<i>Animalia</i>)	Niveljakaiset (<i>Arthropoda</i>)	Hyönteiset (<i>Insecta</i>)	Kaksisiipiset (<i>Diptera</i>)	Mahlakärpäset (<i>Drosophilidae</i>)	<i>Drosophila</i>	<i>melanogaster</i>
Eläinkunta (<i>Animalia</i>)	Selkäjänteiset (<i>Chordata</i>)	Nisäkkäät (<i>Mammalia</i>)	Kädelliset (<i>Primates</i>)	Ihmisapinat (<i>Hominidae</i>)	<i>Homo</i>	<i>sapiens</i>

Evoluution kannalta luokittelu tarkoittaa, että kaikki luokan sisällä olevat lajit ovat toisilleen läheisempää sukua kuin minkään muun luokan edustajalle. Käytännössä kaikilla luokan lajeilla on siten ollut yhteinen kantamuoto. Esimerkiksi kaikki kädelliset ovat peräisin yhdestä kantamuodosta, joka on ollut nisäkäs. Myös jyrsijät ovat peräisin yhdestä kantamuodosta, joka on ollut nisäkäs. Jyrsijöillä ja kädellisillä on siten kaikki nisäkkäiden yhteiset ominaisuudet ja ryhmiä erottavat ominaisuudet ovat kehittyneet lahkojen kehityshistorian eroamisen jälkeen. On siten järkevää olettaa, että koska sekä jyrsijöillä että kädellisillä on maitorauhaset, on tämä ominaisuus kehittynyt niiden yhteisessä kantamuodossa ja periytynyt molemmille lahkoille sen sijaan, että maitorauhaset olisivat kehittyneet evoluution aikana kaksi kertaa sekä jyrsijöillä että kädellisillä. Tällainen tapaa luokitella eliöt ryhmiin, joilla on yhteinen kantamuoto, kutsutaan kladismiksi. Kladismissa eliöt luokitellaan niiden evolutiivisen historian, ei niiden fenotyypin yhdenmukaisuuden perusteella. (mm. Freeman & Herron 2007 Klein 2009.)

Historiallisesti eliöt on luokiteltu vertailemalla niiden fenotyyppejä ja usein tämä lähestymistapa onkin hyödyllinen. Mitä alemmalle luokittelun tasolle tullaan, sitä epäluotettavammaksi ja vaikeammaksi eliöiden luokittelu vain fenotyypin ominaisuuksien perusteella kuitenkin käy. Jos kahdella eliöllä on sama ominaisuus, se voi kertoa yhteisestä alkuperästä (tällöin ominaisuutta sanotaan homologiseksi), mutta on myös mahdollista, että ominaisuus on todellakin kehittynyt kaksi kertaa (analoginen ominaisuus). Tämä ilmiö on luonnossa melko yleinen, koska samanlainen elämäntapa asettaa eliölle samanlaisia ongelmia ja evoluutio näyttää usein vastaavan näihin samanlaisella ratkaisulla. Esimerkiksi hai ja delfiini näyttävät hyvin samankaltaisilta, koska molemmat ovat sopeutuneet nopeaan liikkumiseen veden alla. Kyseessä on kuitenkin joukko analogisia sopeumia – luokaltaan

delfiini on nisäkäs ja hai rustokala. Yhteinen kantamuoto näillä lajeilla oli lähes puoli miljardia vuotta sitten. Sen sijaan delfiinin ja virtahevon yhteinen kantamuoto eli vain 50-60 miljoonaa vuotta sitten (Boisserie Lihoreau & Brunet, 2005).

Analogioiden vuoksi eliöiden, erityisesti läheistä sukua olevien, luokittelu on vaikeaa. Luotettavimmat tulokset saadaan analysoimalla fenotyypin sijasta genotyyppiä. Tällä tavalla on saatu selvyys esimerkiksi ihmisapinoiden ja ihmisen sukulaissuhteisiin. Eliöiden genomit ovat täynnä vaihtelua, joka ei ilmene mitenkään fenotyypissä. Genotyypejä vertailemalla on siten mahdollista löytää hyvin pieniä eroja, joita eliöiden ilmiästä ei voi päätellä. Valitettavasti geneettisiä menetelmiä ei voida yleensä hyödyntää sukupuuttoon kuolleiden lajien luokittelussa, koska näistä on hyvin harvoin säilynyt perimää analysoitavaksi. Sukupuuttoon kuolleiden lajien luokittelu perustuu siten lähinnä mahdollisesti epäluotettavaan morfologisiin piirteisiin. (mm. Freeman & Herron 2007, Klein 2009.)

Geneettiset menetelmät mahdollistavat eliöiden luokittelun lisäksi lajiutumisen ajoittamisen. Tämä menetelmä, jota kutsutaan molekyyliseksi kelloksi, on oleellisessa osassa ihmisen evoluution tutkimusta, ja siksi kuvailen sen lyhyesti tässä. Eliöiden DNA:sta suuri osa on alueita, joita ei nykytiedon mukaan käytetä mihinkään. Tälle koodaamattomalle DNA-alueelle kerääntyy satunaisia mutaatiota tasaiseen tahtiin, ja nämä mutaatiot periytyvät yksilöltä toiselle, koska ne ovat kelpoisuuden kannalta neutraaleja, eli näkymättömiä valinnalle. Kahden populaation geenivirtojen katketessa lajiutumisen seurauksena alkavat niiden DNA:n koodaamattomat alueet eriytyä satunaisten mutaatioiden vaikutuksesta. Jos tunnetaan mutaatiotaajuus (joka voidaan kokeellisesti selvittää), voidaan tällaisia alueita vertailemalla päätellä, kuinka kauan sitten lajit erosivat toisistaan. (mm. Freeman & Herron 2007.)

Tällä menetelmällä on viime vuosina selvitetty, milloin ihminen ja muut kädelliset ovat eronneet toisistaan, ja lajiemme toisistaan riippumattoman evoluution lyhyys on yllättänyt monet tutkijat. Valitettavasti tätäkään tekniikkaa ei pystytä hyödyntämään suurimpaan osaan sukupuuttoon kuolleista lajeista. Tietoa näiden lajien elinajasta saadaan radiohiilimenetelmällä (ks. esim. Klein 2009, 19-64), mutta tarkkojen lajiutumisaikojen määrittäminen on käytännössä mahdotonta. Jollei toisin mainita, perustuvat ajat, jolloin yhä elävät lajit erosivat

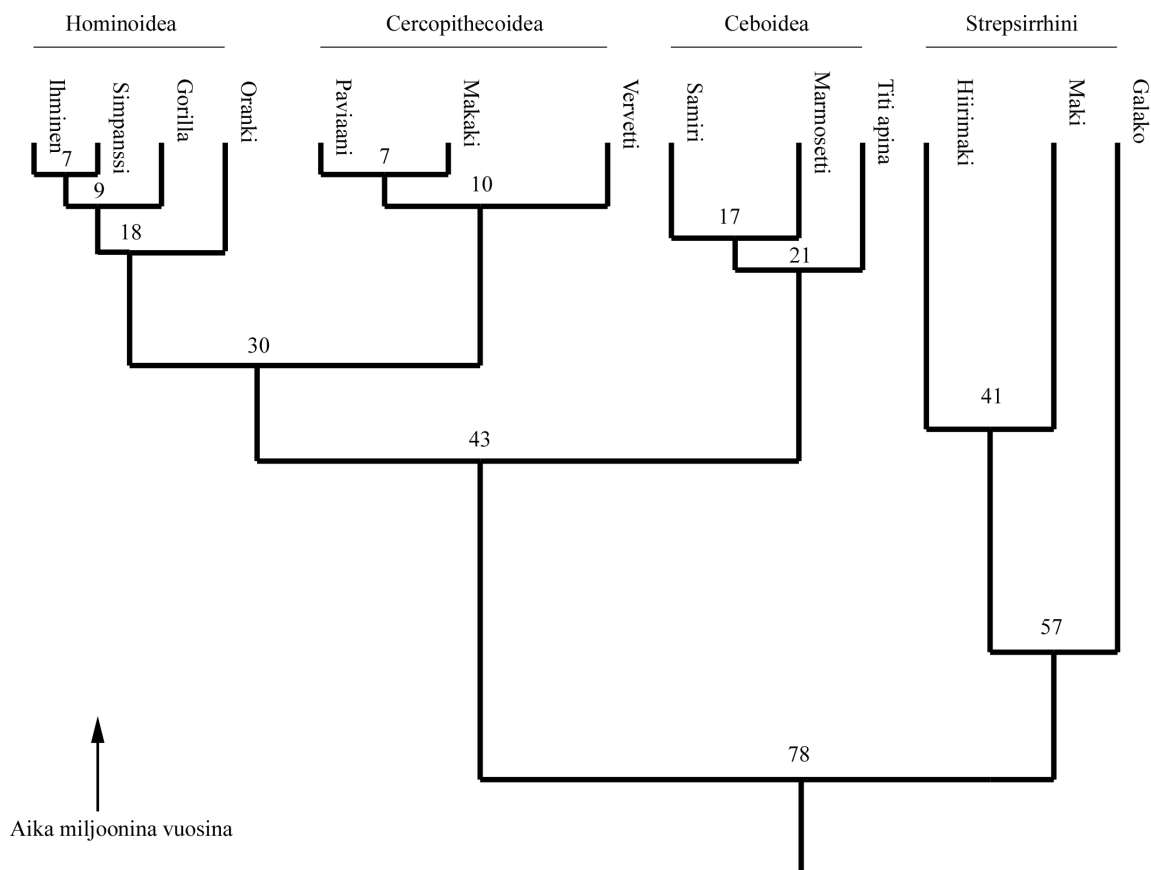
yhteisestä kantamuodostaan, molekyylikellon hyödyntämiseen. Arviot sukupuuttoon kuolleiden lajien esiintymisajasta perustuvat radiohiilimenetelmään.

Näiden taustatietojen käsittelemisen jälkeen voidaan alkaa hahmotella lajimme alkuperää ja historiaa.

2.1.1 Kädelliset ja ihminen eliökunnassa

Ihminen kuuluu kädellisten lahkoon, jonka erottaa muista nisäkkäistä mm. tarttumaraajat, joissa on yleensä viisi sormea tai varvasta, eteenpäin suuntautuneet silmät, jotka mahdollistavat hyvän kolmiulotteisuuden hahmottamisen ja kehon kokoon nähden suuret aivot (Klein 2009, 70-71). Kädelliset kehittyivät n. 65 miljoonaa vuotta sitten, jolloin niiden yhteinen kantamuoto erosi nykyisiin hyönteissyöjiin johtaneesta kehityslinjasta (Klein 2009, Valste 2004.)

Kädellisten lahko voidaan karkeasti jakaa neljään osaan. Nämä osat ovat alemmat kädelliset (*Strepsirrhini*), uuden maailman apinat (*Ceboidea*), vanhan maailman apinat (*Cercopithecidae*) sekä ihmisapinat (*Hominoidea*). Kuvioista 1 käy ilmi näiden ryhmien evolutiivinen historia. Alemmat kädelliset ja uuden maailman apinat ovat ihmiselle kaukaisempaa sukua kuin vanhan maailman apinat sekä ihmisapinat, ja siksi niitä ei tässä tutkielmassa juurikaan käsitellä.



KUVIO 1. Kädellisten sukupuu. Taksonomisten ryhmien eroamiskohtiin on merkitty eroamisen ajankohta miljoonina vuosina (Klein 2009).

Vanhan maailman apinoihin kuuluu n. 75 lajia, jotka elävät Afrikassa ja Etelä-Aasiassa. Ryhmään kuuluvilla eläimillä on useita piirteitä, jotka erottavat ne ihmisapinoista, kuten kykenemättömyys pystyasennossa liikkumiseen sekä häntä. Vanhan maailman apinat ovat ryhmänä kuitenkin läheisempää sukua ihmisapinoille kuin uuden maailman apinoille ja monia ryhmän lajeja, kuten makakeja, vervettiapinoita ja paviaaneja on tutkittu runsaasti. Monet vanhan maailman apinoista elävät laumoissa ja niiden sosiaalinen käyttäytyminen on varsin monimutkaista. Tässä tutkielmassa nimitän vanhan maailman apinoita yksinkertaisesti apinoiksi, mutta tarkoitan tällöin nimenomaan *Cercopithecoidea*, enkä uuden maailman apinoita ja alempia kädellisiä.

Ihmisapinoiden yläheimo jaetaan kahdeksi heimoksi, joista toiseen kuuluvat gibbonit ja toiseen suuret ihmisapinat, joita on neljä sukua: ihmiset (*Homo*), simpanssit (*Pan*), gorillat (*Gorilla*) ja orangit (*Pongo*). Näistä ihmiset, simpanssit ja gorillat ovat keskenään läheisempää sukua kuin yksikään niistä on orangeille. Itseasiassa ihmiset, simpanssit ja gorillat ovat niin läheistä sukua toisilleen, että näiden ryhmien sukulaissuhteiden selvittäminen on ollut hyvin vaikeaa. Yleisimmin hyväksytty ja uusimpaan geneettiseen tietoon perustuva käsitys kuitenkin on, että ihmisen ja simpanssin kantamuoto erosi ensin gorillojen kantamuodosta ja hiukan tämän jälkeen siitä kehittyivät ihmisiin ja simpansseihin johtaneet lajit (Steiper&Young 2006). Kaikki tämä tapahtui n. 6-8 miljoonaa vuotta sitten, evoluution kannalta siis aivan äskettäin. Tämän vuoksi kaikkien kolmen lajin genomit ovat erittäin samanlaiset ja jos kyseessä olisi mikä tahansa muu laji kuin omamme, biologit olisivat jo liittäneet simpanssit ja ihmiset samaan sukuun, *Homo* (Diamond 1992). Ihmisapinoiden yhteisiä piirteitä ovat mm. hännättömyys, mahdollisuus liikkumiseen pystyasennossa (joskin ainoastaan ihmiselle tämä on pääasiallinen liikkumamuoto) ja kehon kokoon suhteutettuna suuret aivot (Klein 2009.)

Lähimmät elossa olevat sukulaisemme ovat siis simpanssit, joiden kanssa meillä oli yhteinen kantamuoto n. 7 miljoonaa vuotta sitten. Simpansseja on elossa kaksi lajia, "tavalliset" simpanssit, *Pan troglodytes* ja kääpiösimpanssi *Pan paniscus*. Näiden lajien väliset fyysiset erot ovat hyvin pienet. Simpanssit elävät laumoissa, jotka koostuvat joistakin kymmenistä yksilöistä. Lauma rakentuu yhteistyötä tekevien urosten joukon ympärille, joka vartioi lauman resursseja ja naaraita muita simpanssiuroksia vastaan. Laumassa syntyvät urokset yleensä pysyvät lauman osana, naaraat voivat nuorena vaeltaa laumojen välillä. Simpanssien elämäntapaan kuuluu urosten yhteistyönä toteuttama metsästys ja saaliin jakaminen sekä yksinkertaisten työkalujen käyttö. Simpanssien teknologiaan kuuluu kivien käyttö pähkinöiden avaamiseen sekä (joskus teroitettujen) oksien käyttö pikkueläinten ja hyönteisten koloistaan kaivamiseen sekä lihan erottamiseen saaliseläinten luista. Työkalujen käyttö ja yhteistyössä tehtävän metsästyksen määrä vaihtelee laumojen välillä ja näitä käytäntöjä siirtyy sukupolvelta toiselle nuorten yksilöiden matkiessa vanhempia. (Goodall 1964, Klein 2009.)

Luonnonvaraisten simpanssien elämästä tiedetään itseasiassa varsin vähän. Näitä eläimiä on tutkittu enemmän vangittuina kuin luonnossa ja laboratorioissa saatava tieto ei välttämättä anna totuudenmukaista kuvaa näin monimutkaisten eläinten kognitiivisista kyvyistä (Cheney & Seyfarth 2008a). Kontrolloituja testejä luonnossa elävillä simpansseilla on alettu tehdä vasta aivan viime vuosina (Slocombe, Townsend & Zuberbühler 2009). Simpansseilla on piirteitä, joiden suhteen se muistuttaa enemmän *Homo sapiensia* kuin apinoita. Simpanssit esimerkiksi käyttävät alkeellisia työkaluja, kun taas muut ihmisapinat ja apinat eivät tätä paljonkaan tee. Emme tiedä tarkalleen, mitkä kognitiiviset kyvyt simpanssin kanssa jaamme, mutta verratessa elämäntapaamme on selvää, että ihmisen uniikin elämäntavan taustalla olevat kyvyt eivät kuitenkaan löydy simpanssilta. Tästä seuraa, että ne ihmisen erityispiirteet, jotka mahdollistavat uniikin elämäntapamme löytyvät *Homo sapiensin* ja simpanssien kognitiivisten kykyjen eroista. Nämä kognitiiviset kyvyt ovat kehittyneet siis viimeisen 7 miljoonan vuoden aikana, sen jälkeen kun meihin ja simpansseihin johtaneet kehityslinjat erosivat yhteisestä kantamuodostaan.

2.1.2 Varhaiset esi-isämme

Ajalta 5-8 miljoonaa vuotta sitten, jolloin ihmisiin ja simpansseihin johtavat kehityslinjat erosivat, ei ole löytynyt paljon fossiileja. Viimeistä yhteistä kantamuotoamme simpanssien kanssa ei todennäköisesti ole vielä löydetty, mutta kandidaatteja on muutama, kaikki Afrikasta.

Vanhimmalle tältä ajanjaksolta löydetylle lajille on annettu nimi *Sahelanthropus tchadensis* joka eli 6-7 miljoonaa vuotta sitten (Brunet 2002). Lajista on löydetty lähes kokonainen kallo ja hiukan muita luita ja näiden perusteella voidaan sanoa, että se oli simpanssin kokoluokkaa, mutta sen hampaisto ja kallon muoto olivat nykysimpanssia ihmismäisemmät. Tapa jolla sen kallo on liittynyt niskaan viittaa myös mahdolliseen pystyasentoon. Lajin aivojen tilavuus oli n. 360-370 cm³, hiukan pienempi kuin nykysimpanssin keskiarvo, 440 cm³ (Brunet 2005, Zollikofer 2005.)

Toinen potentiaalinen kantamuoto ihmisille ja simpansseille on n. 6 miljoonaa vuotta sitten elänyt *Orrorin tugenensis*. Tästä lajista on löytynyt riittävästi osia, jotta on mahdollista päätellä sen kyenneen liikkumaan pystyasennossa nykyisiä ihmisapinoita paremmin (Richmond & Jungers 2008). Laji oli nykysimpanssin kokoluokkaa. Kolmas laji, joka sijoittuu ajallisesti lähelle ihmisen ja simpanssin kantamuotoa, on *Ardipithecuss kadabba* joka eli 5.2-5.8 miljoonaa vuotta sitten (Haile-Selassie, Suwa & White 2004). Tästä lajista ei kuitenkaan ole löytynyt kuin hampaita, joissa on sekä simpanssimaisia että ihmismäisiä piirteitä.

Vaikka yksikään edellä mainituista lajeista ei olisi suoraa sukua ihmiselle tai simpansseille vaan ne edustaisivat sukupuuttoon kuolleita kehityslinjoja, ovat ne todennäköisesti olleet lähisukulaisia ihmisen ja simpanssin todellisen kantamuodon kanssa. Voimme siten päätellä, että tämä laji oli simpanssin kokoluokkaa niin kehonsa kuin aivojensa puolesta ja eli Afrikassa. Tiedeyhteisössä ollaan myös jotakuinkin yksimielisiä, että ensimmäisiä simpanssin ja ihmisen kehityslinjan erottavia tekijöitä on kyky kävellä kahdella jalalla tukeutumatta eturaajoihin (Klein 2009.)

Ensimmäiset varmasti pystyasentoon kykenevät ja simpanssien kehityslinjasta eronneet lajit löytyvät 4,5 miljoonan vuoden takaa. Tältä ajalta ovat ensimmäiset fossiilit, jotka kuuluvat ns. apinaihmiisiin. Apinaihmiisiin, entiseltä nimitykseltään etelän apinoihin, sijoitetaan kolme sukua *Ardipithecus*, *Australopithecus* ja *Paranthropus*. Näihin sukuihin kuului useita lajeja, mutta niitä kaikkia yhdisti kyky pystyasennossa liikkumiseen sekä ihmisapinoita litteämmät hampaat ja tämän vuoksi ne ovat läheisempää sukua ihmiselle kuin simpanssille. Apinaihmiset olivat kuitenkin kooltaan simpanssimaisia, niiden aivojen tilavuus oli vain 380-540 cm³ ja urosten ja naaraiden kokoero oli suuri. Nämä ominaisuudet erottavat apinaihmiset suvun *Homo* lajeista, jotka muistuttavat enemmän nykyihmistä kuin apinaihmiä. Apinaihmisiltä ei myöskään ole jäänyt fossiiliaineistoon merkkejä työkalujen käytöstä tai muista artefakteista. Jos nämä lajit hyödynsivät työkaluja, kyseessä lienee ollut simpanssimainen opportunistinen toiminta systemaattisen työkalujen valmistuksen sijaan. (Klein 2009, Valste 2004.)

Apinaihmissiä esiintyi ainakin aikavälillä 4,5 – 1,2 miljoonaa vuotta sitten ja tänä aikana niiden aivojen koko kasvoi vain hiukan ja elintapa pysyi todennäköisesti samanlaisena. Jotkin nykyään tunnetuista apinaihmislajeista ovat todennäköisesti suvun *Homo* suorina edeltäjiä, mutta kysymys siitä, kuka on kenenkin lähin sukulainen on yhä avoin. Tämän tutkielman tarpeisiin riittää kuitenkin todeta, että sukulaistemme evoluutio tuolla aikavälillä oli tahdiltaan tasaista ja modernien ihmisten tyypillisistä ominaisuuksista ei juuri ole merkkejä. Taulukossa 2 on esitetty muutamien apinaihmislajien ja mahdollisten ihmisen kantamuotolajien esiintymisaika, aivojen tilavuus ja ruumiinkoko.

TAULUKKO 2. Varhaisten ihmisen sukulaislajien koot ja esiintymisajat (Klein 2009, Carroll 2007).

Laji	Aivojen tilavuus (cm ³)	Ruumiinkoko (kg)	Esiintymisaika (miljoonaa vuotta sitten)
<i>Sahelanthropus tchadensis</i>	360-370	<i>ei tietoa</i>	6-7
<i>Orrorin tugenensis</i>	<i>ei tietoa</i>	<i>ei tietoa</i>	6
<i>Ardipithecuss kadabba</i>	<i>ei tietoa</i>	<i>ei tietoa</i>	5,2-5,8
<i>Australopithecus animensis</i>	<i>ei tietoa</i>	<i>ei tietoa</i>	3,5-4,1
<i>Australopithecus afarensis</i>	<i>ei tietoa</i>	<i>ei tietoa</i>	3,0-3,6
<i>Australopithecus Africanus</i>	457	36	2,6-3,0
<i>Paranthropus boisei</i>	510	44	1,2-2,2

2.1.3 Ihmisten suku

Apinaihmissien ja *Homo* suvun leikkauskohdassa on nykykäsityksen mukaan laji *Homo habilis*, käteväihminen, joka kehittyi n. 2,5 miljoonaa vuotta sitten. Käteväihmisen tieteellinen luokittelu on kiistanalainen: ensinnäkin aikaisemmin yhdeksi lajiksi ajateltu *H. Habilis* voitaisiin perustellusti jakaa lajeihin *H. habilis* ja *H. rudolfensis*, jotka taas voitaisiin liittää sukuun *Australopithecus* suvun *Homo* sijaan (ks. Wood & Collard 1999). Tässä tutkielmassa *H. habilis* käsitellään osana sukua *Homo* ensisijaisesti siksi, että he ovat ensimmäisiä esi-isistämme joiden tiedetään valmistaneen työkaluja.

Käteväihminen muistutti keholtaan apinaihmissä, eli hän oli nykyihmiseen verrattuna pieni ja pitkäkätinen, mutta lajin aivojen koko oli apinaihmissä suurempi, 510-750 cm³ (Klein 2009). Käteväihmisillä oli myös litteämmät kasvot ja pienemmät hampaat kuin apinaihmisillä. Löydettyjen fossiilien perusteella yksilöiden välinen vaihtelu hampaiden ja aivojen koossa oli suurta. Tämä voi tarkoittaa joko suurta seksuaalista dimorfismia tai sitten *H.habiliksen* fossiilit edustavat todellisuudessa kahta eri lajia, kuten edellä mainittiin. Jos kyseessä on kaksi eri lajia, *H.habilis* oli pienempiaivoinen, mutta sen hampaat olivat modernimmat, kun taas *H.Rudolfensis* omasi suuremmat aivot, mutta apinaihmissäiset hampaat. Lajien tarkkoja sukulaissuhteita kiinnostavampaa on tämän tutkielman puitteissa kuitenkin tosiasia, että käteväihmisen ajalta ovat peräisin ensimmäiset selvästi työstetyt kivityökalut. Joko *H.habilis* tai *H.rudolfensis* tai molemmat aloittivat siten työkalujen systemaattisen käytön. (Klein 2009.)

Nämä primitiiviset työkalut olivat ensisijaisesti lohkaistuja kiviä, joihin muodostui terävä leikkuupinta. Paleontologit nimittävät tällaisia kiviä käsikirveiksi. Lisäksi on löydetty ilmeisesti alasimena ja vasarana käytettyjä kiviä, sekä suurten eläinten luita, joita on käytetty sellaisinaan kaivamiseen. Tämänkaltaiset esineet muodostavat ns. Oldovan kulttuurin, jonka esineistöä löytyy ajalta 1,6 – 2,6 miljoonaa vuotta sitten (Klein 2009). Oldovan kulttuurin työkalut ovat vain hiukan kehittyneempiä kuin nykyisten simpanssien, jotka osaavat käyttää teräviä kiviä leikkaamiseen, mutta eivät osaa tuottaa niitä lohkaisemalla kivistä paloja. Merkittävää on, että Oldovan kulttuuri pysyi koko miljoonan vuoden esiintymisaikansa käytännössä samanlaisena paikasta ja ajasta riippumatta. Se siis heijasteli geneettistä valmiutta tietynlaisten työkalujen hyödyntämiseen, ei kykyä kehittää innovaatioita tai kumuloida tietoa (Diamond 1992, Klein 2009). Toistaiseksi ei voida sulkea pois mahdollisuutta, että osan Oldovan kulttuurin työkaluista on valmistanut apinaihmissen suku *Paranthropus*, joka oli edelleen yleinen Oldovan kulttuurin aikaan, mutta varmaa on, että ainakin *H. habilis* valmisti ja käytti näitä esineitä säännönmukaisesti.

Todennäköisesti *H. habilis* oli kantamuoto 1,7 miljoonaa vuotta sitten kehittyneelle ihmislajille, *H. ergaster* joka n. miljoona vuotta sitten jakautui lajeiksi *H. erectus* ja *H. heidelbergensis* (Klein 2009). Vielä jokin aikaa sitten edellä mainitut lajit sisällytettiin kaikkiin lajiin *H. erectus*, pystyihminen ja käytänkin heistä tästä eteenpäin yleisnimitystä pystyihmiset.

Pystyihmiset muistuttivat anatomialtaan paljon nykyihmistä. Pystyasento oli heidän pääasiallinen liikkumamuotonsa ja heidän ruumiinrakenteensa oli mittasuhteiltaan nykyihmisen kaltainen. Myös pystyihmisten koko saavutti käytännössä nykyihmisen, vaihdellen välillä 160-180cm. Eroina nykyihmiseen pystyihmiset olivat lihaksikkaampia, heidän kasvonsa olivat vähemmän litteät ja aivot olivat pienemmät. Varhaisten pystyihmisten aivojen tilavuus oli n.800 cm³ ja myöhäisten yli 1200 cm³ (Klein 2009). Pystyihmisen aikaan tapahtui siten ensimmäinen aivojen koon nopea kasvu kehityshistoriassamme. Suurimman osan pystyihmisen aivojen kasvusta verrattuna käteväihmiseen selittää kuitenkin heidän kehonsa kasvu – aivojen koon suhde kehoon ei juurikaan kasva.

Pystyihmisten kehittymistä seurasi myös Oldovan kulttuurin kehittyminen Acheulean kulttuuriksi n. 1,7 miljoonaa vuotta sitten. Työkalujen kehitys, jonka perusteella tämä jako tehdään ei ollut nykymittapuulla mitenkään vaikuttava: lohkaistujen kivien sijaan opittiin tekemään useasta suunnasta lohkottuja kiviä, joiden toinen pää oli terävä ja toinen pyöreähkö. Erona aikaisempiin käsikirveisiin oli siis vain jonkinlainen symmetrian tavoittelu. Myöhäisestä, noin puoli miljoonaa vuotta vanhasta, Acheulean kulttuurista jääneet jäljet viittaavat myös, että tämän ajan ihmiset osasivat hyödyntää tulta. Puisia esineitä ei tältä ajanjaksolta ole juurikaan säilynyt, mutta joitakin todistuskappaleita keihäistä ja mahdollisista varsista käsikirveille on löydetty. Kuten Oldova, myös Acheulean kulttuuri kesti lähes samankaltaisena yli 1,5 miljoonaa vuotta. (Klein 2009.)

Pystyihmiset levisivät Afrikasta myös Eurooppaan ja Aasiaan. Aasiassa säilyikin *H. erectus* populaatio pitkään vielä *H. sapiensin* kehittyttyä. Varmasti pystyihmisiä eli Aasiassa vielä n. 100 000 vuotta sitten, ehkä jopa myöhemmin (ks. keskustelu lajista *Homo floresiensis*, (mm. Morwood ym 2004)). Viimeisin pystyihmislaji Afrikassa ja Etelä-Euroopassa, *H. heidelbergensis*, kehittyi Afrikassa lajiksi *Homo sapiens* n. 100 000–300 000 vuotta sitten (Klein 2009) ja lajiksi *Homo neanderthal* 370 000–500 000 vuotta sitten (Noonan ym. 2006 & Green ym. 2006.)

Laji *H. neanderthal* on erityisen kiinnostava aikaisemmin eläneiden ihmislajien joukossa. Ensinnäkin *H. neanderthal* on lajin *H. sapiens* kaikkein läheisin sukulaislaji. Toiseksi neanderthalin ihmisistä tiedetään enemmän kuin muista sukulaisistamme, koska he elivät vain n.30 000- 500 000 vuotta sitten. Tämän vuoksi neanderthalin ihmisistä on säilynyt enemmän fossiileja kuin muista sukulaisistamme ja jopa heidän DNA:taan on löydetty ja pystytty sekvensoimaan (Noonan ym. 2006 & Green ym. 2006). Toukokuussa 2010 neanderthalin ihmisen genomia on sekvensoitu jo 4 miljardia emäsparia (Green ym. 2010). Kolmanneksi he elivät yhtä aikaa ja samoilla alueilla *H. sapiensin* kanssa ja tämä herättää kysymyksiä heidän sukupuutonsa syistä. Mitkä tekijät johtivat neanderthalin ihmisten häviämiseen samaan aikaan kuin oma lajimme valloitti maailman? (Klein 2009.)

Neanderthalin ihmiset olivat *H. sapiensia* voimakasrakenteisempia ja lyhytraajaisempia. Heidän kasvonsa olivat paljon vähemmän litteät kuin meidän. Heidän aivonsa olivat itseasiassa keskimäärin suuremmat kuin nykyihmisen, n. 1435 cm³. Neanderthalin ihmiset kehittyivät Euroopassa aikana, jolloin jääkaudet olivat yleisiä ja ilmasto viileä. Heidän raskasrakenteisuutensa lieneekin adaptaatio kylmään ilmastoon. Onkin perusteltua nähdä *H. sapiens* ja *H. neanderthal* pystyihmisistä kehittyneinä lajeina, joista toinen oli sopeutunut kylmään ja toinen lämpimään ilmastoon (Klein 2009.)

Esineistönsä puolesta neanderthalin ihmiset (ja varhainen *H. sapiens*) siirtyivät n. 200 000 vuotta sitten Acheuleanin kulttuurista Mousterianin kulttuuriin. Tämä on yksinkertaistus sillä siirtymä voidaan jakaa useampiin kausiin, mutta tämä tarkkuus on tutkielman kannalta riittävä. Mousterianin kulttuurin uusia innovaatioita olivat ainakin entistä valikoivampi kivilaatujen käyttö ja hienostuneemmat sekä erikoistuneemmat leikkuukivet. Kaikki Mousterianin kulttuurin edustajat myös käyttivät tulta ja onnistuivat ainakin ajoittain metsästämään suurriistaa. Tästä kulttuurista on säilynyt paljon enemmän esineistöä, kuin aikaisemmista kulttuureista ja siksi sen vertailu niihin ei ole yksiselitteistä, koska suuremmissa otoksissa on aina pientä otosta enemmän vaihtelua. Näyttää kuitenkin siltä että Mousterianin kulttuurin aikana oli enemmän vaihtelua eri populaatioiden käyttämässä esineissä kuin aikaisemmissa kulttuureissa (Klein 2009). Neanderthalin ihmisistä tiedetään myös, että he huolehtivat menestyksekkäästi vahingoittuneista lajitovereistaan, koska on

löydetty useita neanderthalin ihmisen luurankoja, joissa on ollut parantuneita luiden murtumia. Ilmeisesti joissakin olosuhteissa nämä ihmiset myös hautasivat vainajansa. Kuitenkin Mousterianin kulttuuri pysyi edeltäjiensä tavoin hyvin samankaltaisena koko 150 000 vuoden esiintymisaikansa. Sekin on siten tyypiltään staattinen kulttuuri, jossa rakentajien geneettinen valmius määrää teknologian tason.

H. neanderthal kuoli sukupuuttoon n. 30 000 vuotta sitten ja siitä tuli yksi ihmisen sukupuun katkennut haara (Klein 2009). Neanderthalin ihmisen katoamisen ajankohta liittyy kiinteästi *H. sapiensin* kehityshistoriaan ja käsittelemmekin teorioita neanderthalin ihmisen sukupuuton syistä seuraavassa, oman lajimme kehitystä käsittelevässä luvussa. Yhteenveto yleisimmin mainituista suvun *Homo* lajeista löytyy taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Suvun *Homo* lajien koot ja esiintymisajat.

Laji	Aivojen tilavuus (cm ³)	Ruumiinkoko (kg)	Esiintymisaika (miljoonaa vuotta sitten)
<i>Homo habilis</i>	552	34	1,6-2,3
<i>Homo ergaster</i>	854	58	1,5-1,9
<i>Homo erectus</i>	1016	57	0,2-1,9
<i>Homo heidelbergensis</i>	1198	62	0,3-0,4
<i>Homo neanderthal</i>	1512	76	0,3-0,03
<i>Homo sapiens</i>	1350	53	0-0,2

2.1.4 Nykyihmisen lyhyt historia

Anatomisesti moderni ihminen, *Homo sapiens*, kehittyi Afrikassa n. 200 000 vuotta sitten. Morfologisesti lajimme erosi edeltäjistään hiukan sirompien luiden, litteämpien kasvojen ja suurempien aivojen perusteella. Varhaisten *H. sapiensien* aivojen tilavuus oli n. 1500 cm³. Aivojemme keskitilavuus on ajan saatossa pienentynyt ja on nykyään n. 1350 cm³, joskin populaation sisäinen vaihtelu on suurta. *H. sapienssin* kehittyessä Euroopassa asui neanderthalin ihmisiä ja Aasiassa kehittyneitä pystyihmisiä. Kaikkien ihmislajien saatettiin sanoa edustavan Mousterianin kulttuuria (Klein 2009). Anatomisesti modernin *H. sapiensin*

kehittyminen ei muuttanut tätä tilannetta mitenkään. Varhaiset lajitoverimme elivät harvalukuisina Afrikassa Mousterianin kulttuurin edustajina vielä reilut 100 000 vuotta.

50 000-100 000 vuotta sitten kaikki kuitenkin muuttui. *H. sapiens* alkoi levitä Afrikasta, ensin Eurooppaan, sitten Aasiaan, Australiaan, Pohjois-Amerikkaan ja saapui viimeiseksi Etelä-Amerikkaan n. 30 000 vuotta sitten. Levitessään nykyihminen syrjäytti neanderthalin ihmiset Euroopassa sekä pystyihmiset Aasiassa ja lajimme levittyä Antarktista lukuun ottamatta kaikille mantereille olimme ainoa elossa oleva ihmislaji (Klein 2009). On epäselvää, millä tavalla *H. sapiens* syrjäytti aikaisemmat ihmislajit. Rauhanomaisin vaihtoehto on, että *H. sapiens* alkoi uusille alueille siirtyessään lisääntyä paikallisen ihmispopulaation kanssa ja lopulta sulautti sen itseensä. Tällaisesta sulautumisesta jäisi nykyihmisten perimään merkkejä ja näyttää siltä, että pystyihmisen kohdalla sulautuminen ei ole poissuljettua. Aivan viime aikoihin asti on uskottu, että nykyihmisellä ei ole ollut neanderthalin ihmisen kanssa geenivirtaa, mutta juuri julkaistu tutkimus, jossa neanderthalin ihmisen ja nykyihmisen genomia vertaillaan esittää vastakkaisen näkemyksen (Green ym. 2010). Tässä tutkimuksessa kävi ilmi, että neanderthalin ihmisen genomi muistuttaa enemmän eurooppalaisten ja aasialaisten nykyihmisten genomia kuin afrikkalaisten. Tämä tulos tarkoittaisi, että nykyihmisen alettua levitä Afrikasta, olisi Eurooppaan ja Aasiaan vaeltaneilla ihmisillä ollut geenivirtaa neanderthalin ihmisten kanssa, kun taas afrikkalaiset nykyihmiset eivät olisi koskaan kohdanneet sisarlajiaan. *H. sapiens* on todennäköisesti suoraan kilpaillut samoista resursseista neanderthalin ihmisen kanssa ja ollut merkittävä tekijä lajin häviämisessä. Toisin kuin aikaisemmin on uskottu, lajit ovat kuitenkin saattaneet myös lisääntyä keskenään (Green 2010).

Samaan aikaan kun *H. sapiens* levisi Afrikasta, muuttui lajimme kulttuuri radikaalisti. Aikaisempia ihmisen kulttuureita leimannut staattisuus loppui ja teknologiamme alkoi kehittyä kiihtyvää vauhtia. Eri alueilla elävien populaatioiden kulttuuri alkoi myös kehittyä eri suuntiin ja populaatioiden välillä ilmaantui jonkinlaista kaupankäyntiä – esineiden raaka-aineet saattoivat olla peräisin satojen kilometrien päästä esineen käyttöpaikasta. Aikavälillä 10 000–40 000 vuotta sitten keksittiin mm. heittokeihäs, ongenkoukku, rasvaa polttava lamppu, neula ja lanka sekä jousi ja nuoli. Teknologian kehityksen lisäksi ihminen alkoi tuottaa

taidetta ja musiikkia. 40 000 vuoden takaa alkaa löytyä luolamaalauksia, koruja, jäänteitä väriaineista, patsaita ja soittimia, kuten luisia huiluja. 15 000 vuotta sitten ihminen kesytti suden ja alkoi jalostaa koira. Tämän ajanjakson ihmisen elintapa oli keräilijä-metsästäjä, yhteiskuntarakente, jonka viimeiset edustajat ovat enemmän tahtomattaan kuin omasta tahdostaan näinä päivinä integroitumassa nyky-yhteiskuntaan esimerkiksi Uudessa-Guineassa (Diamond 1992). Noin 10 000 vuotta sitten syntyi maatalous ja sen mukana pysyvä asutus ja kirjoitettu kieli. Tämä oli historiallisen aikakauden alku ja tämän tutkielman aikajanan loppu (Diamond 1992).

Tämä muutos arkeologisessa aineistossa on laajuudeltaan ja nopeudeltaan suurin ihmisen lajikehityksen historiassa ja sitä kutsutaankin nimityksellä "The great leap forward", suuri hyppäys. Ymmärtääksemme tämän muutoksen mittakaavan on huomattava, että esi-isiltämme meni n. 2 200 000 vuotta kehittää yksinkertaisesta lohkaistusta kivistä symmetrinen tiettyyn käyttöön tarkoitettu käsikirves ja suuren hyppäyksen jälkeen 50 000 vuotta kehittää tästä käsikirveestä mm. ydinsukellusvene, internet ja funktionaalinen magneettikuvaus. On perusteltua sanoa, että kognitioltaan moderni nykyihminen syntyi vasta suuren hyppäyksen aikaan. Mitkä tekijät suuren hyppäyksen aiheuttivat? Tästä on muutamia vastakkaisia näkemyksiä.

Jos oletetaan, että suuren hyppäyksen aikaan ei tapahtunut merkittävää muutosta ihmisen kognitiivisissa kyvyissä, voidaan hyppäystä selittää demografisilla tai ekologisilla tekijöillä. Tällöin ajatellaan, että ihmisellä oli kyky tuottaa kaikki hyppäyksen jälkeinen kulttuuri jo pitkään, mutta se oli käytännössä mahdollista vasta kuin ihmispopulaatio oli kasvanut tarpeeksi suureksi tai järjestäytynyt uudellaisiksi laumoiksi. Vasta suuri määrä ihmisiä saattoi alkaa kumuloida tietoa ja sisälsi riittävän määrän lahjakkaita yksilöitä, että kulttuurinen räjähdys oli mahdollinen. Ihmispopulaatiota saattoi kasvattaa jääkausien loppuminen Euroopassa 25 000-60 000 vuotta sitten, joka mahdollisti nykyihmisen leviämisen pohjoiseen (Klein 2009). Tässä näkemyksessä on kuitenkin ongelmia. Nykyihmisen populaatio alkoi hyppäyksen aikana kasvaa voimakkaasti, mutta jollei tämä ole hyppäyksen seuraus vaan syy, jää populaation kasvun selittäminen ongelmaksi. Jääkausien väheneminen ei ole uskottava selitys siksi, että Neanderthalin ihmiset, jotka asuttivat niiden aikana Eurooppaa, olivat

aikaisemmin selvinneet jääkausien välisistä lämpimistä jaksoista ilman että etelän ihmislajit olisivat siirtyneet heidän alueelleen. (Klein 2009.)

Toinen vaihtoehto hyppäyksen selittäjäksi on ihmisen hermostossa tapahtunut muutos, joka ei pehmytkudosmuutoksena näy fossiiliaineistossa, mutta joka muutti *H. sapiensin* käyttäytymistä siten, että kulttuurirajähdys saattoi tapahtua. Monet asiantuntijat ovat sitä mieltä, että tämä vaihtoehto on uskottava ja hyppäyksen aikana kehittynyt kyky liittyy nykyihmisen kieleen (Brattico 2010, Bickerton 2007, Chomsky 2005, Diamond 1992). Avoimeksi kysymykseksi jää, millä aikavälillä tämä muutos tapahtui ja mikä tarkalleen oli se kriittinen uusi ominaisuus, joka mahdollisti hyppäyksen. Näihin kysymyksiin palataan ihmisen erityispiirteitä käsittelevässä luvussa 4.1.

2.2 Ihmisen geneettinen evoluutio

Fossiiliaineisto ei ole nykyään ainoa lähde, jonka perusteella ihmisen evoluutiosta voidaan saada tietoa. Tutkimalla nykyihmisen perimää on mahdollista tehdä lajimme kehityksestä päätelmiä, joita ei fossiiliaineistosta voida havaita.

Tässä luvussa luodaan katsaus siihen, millaista tietoa genetiikka on tuottanut ihmisen evoluutiosta. Aluksi tarkastellaan modernin evoluutioteorian käsityksiä uusien ominaisuuksien kehittymisestä ja evoluution tahdista. Sitten luodaan katsaus ihmisen ja simpanssin geneettisiin eroihin ja niiden implikaatioihin ihmisen lajikehitykselle ja erityispiirteille.

2.2.1 Mikro- ja makroevoluutio sekä kehityksen tahti

Klassinen Darwinilta peräisin oleva käsitys evoluution tahdista on seuraavanlainen: luonnonvalinta toimii jatkuvan pienen geneettisen muuntelun pohjalta ja nostaa eliön kelpoisuutta sen ympäristön suhteen hitaasti, mutta tasaiseen tahtiin. Tätä prosessia voidaan kutsua mikroevoluutioksi. Jos ympäristö pysyy samanlaisena, siinä elävä populaatio kehittyy

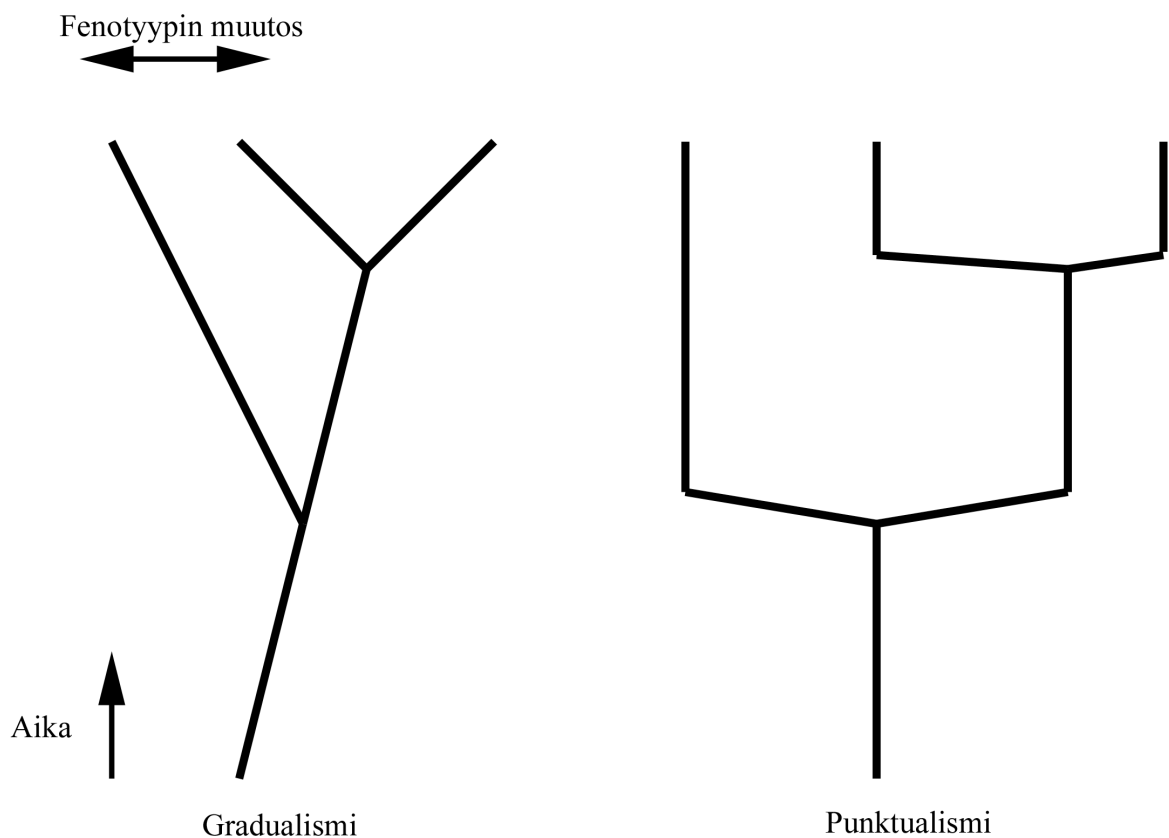
vähitellen yhä sopeutuneemmaksi ja siten muuttuu. Jos populaatio on jossain vaiheessa jakautunut eri ympäristöissä asuviin alapopulaatioihin, kehittyvät ne vähitellen niin erilaisiksi, että tapahtuu lajiutumisen. Voidaan sanoa, että mikroevoluutio on aiheuttanut makroevoluutiota. Tätä käsitystä evoluution tahdistusta kutsutaan gradualisimiksi. (Campbell & Reece 2008)

Gradualismin on kokeellisesti osoitettu toimivan mikroevoluution tasolla. Jos bakteeriviljelmän annetaan kasvaa petrimaljassa, jonka ravintoliuos pidetään samanlaisena, bakteerien lisääntymisnopeus kasvaa vähitellen niiden sopeutuessa luonnonvalinnan voimasta paremmin ympäristöönsä. Toinen esimerkki gradualistisesta evoluutiosta on patogeenien ja immuunijärjestelmän jatkuva yhteisvalinta. Taudinaiheuttajat tulevat sukupolvi sukupolvelta vastustuskykyisemmiksi sitä immuunijärjestelmää kohtaan, joka niiden isännällä on. Vastaavasti patogeenit aiheuttavat isännilleen valintapaineen ja immuunijärjestelmä kehittyy luonnonvalinnan seurauksena tehokkaammaksi. (Freeman & Herron 2007.)

Jos gradualismi olisi ainoa tapa, jolla evoluutio tapahtuisi, tulisi fossiiliaineiston sisältää eliöitä, jotka muuttuisivat morfologialtaan tasaiseen tahtiin alkukantaisemmista moderneimmiksi. Kuten ihmisen evoluutiota käsittelevästä luvusta kävi ilmi, näin ei kuitenkaan ole. Sen sijaan fossiiliaineistossa on pitkiä, vuosimiljoonien pituisia, jaksoja, jolloin jonkin lajin fossiilit ovat melko samankaltaisia, kunnes ne lyhyen ajan sisällä muuttuvat erialisiksi. Jatkuvuuden sijaan evoluutio näyttää liikkuvan hyppäyksin staattisten jaksoiden välillä. (Gould & Eldredge 2000.)

Fossiiliaineiston epäsopevuuden gradualismiin huomasivat Stephen J. Gould ja Niles Eldredge (Eldredge & Gould 1972). He esittivät teorian, jota kutsutaan punktualismiksi. Punktualismin ideana on, että suurimman osan olemassaolostaan lajit pysyvät melko samankaltaisina, mutta silloin tällöin niissä tapahtuu suuria muutoksia suhteellisen nopeasti ja nämä muutokset aiheuttava nopeaa lajiutumista. Punktualismia on helppo tulkita väärin, jollei huomioi kahta oleellista seikkaa. Ensinnäkin evoluutiota toki tapahtuu staattisten jaksoiden aikana, jolloin mikroevoluutio parantaa yksilöiden kelpoisuutta. Kasautuva mikroevoluutio ei kuitenkaan tuota suuria, fossiiliaineistossa näkyviä muutoksia. Makroevoluution mekanismit siis

poikkeavat mikroevoluutiosta. Toiseksi nopeat muutoksen jaksot ovat nopeita vain geologisella aikaskaalalla. Nopeakin lajiutuminen voi viedä kymmeniätuhansia vuosia, mutta tällaiselta ajanjaksolta löytyy paljon vähemmän todennäköisesti fossiileita kuin sitä edeltäneeltä ja seuranneelta miljoonien vuosien ajalta. Tämän vuoksi fossiiliaineistossa uudet lajit näyttävät ilmestyvän yhdessä hyppäyksessä, vaikka todellisuudessa välimuotoja on ollut olemassa. Punktualismin mukaan evoluutio siis liikkuu epätasaiseen tahtiin, mutta se ei tarkoita, etteivätkö nykyiset teoriat evoluution mekanismeista toimisi. Kuvassa X esitetään gradualismin ja punktualismin käsitys lajien kehityksestä graafisessa muodossa. (Gould & Eldredge 1972, 2000.)



KUVIO 2. Fenotyypin evoluutio graduaalisesti tai punktuaalisesti.

Punktualismin ongelma on, että tiedeyhteisö ei ole yksimielinen siitä, mikä mekanismi mahdollistaa nopean makroevoluution. Mutaatiot ovat uusia ominaisuuksia tuottava evoluution mekanismi, mutta koska ne ovat satunaisia muutoksia perimään, on todennäköisempää, että ne ovat haitallisia tai neutraaleja kuin hyödyllisiä. Lisäksi mitä suurempi mutaatio on, sitä todennäköisemmin se on haitallinen. Tämän vuoksi voidaan olettaa, että sellainen evolutiivinen skenaario, joka edellyttää mahdollisimman vähän muutoksia on kaikkein todennäköisin eli parsimonisin (mm. Freeman & Herron 2007). Genetiikan ja alkionkehitysopin edistys tarjoaa kuitenkin nykyisin uudenlaisia näkökulmia uusien ominaisuuksien evoluutioon ja siten myös evoluution tahtiin. Näihin näkökulmiin tutustumme seuraavassa luvussa.

2.2.2 Evodevo ja uusien ominaisuuksien kehittyminen

Viime vuosina syntynyt tutkimussuuntaus, evolutiivinen alkionkehitysoppi eli evodevo, on muuttanut käsitystä makroevoluutiosta. Evodevon ideana on, että tutkimalla perimän vaikutusta kehittyvään alkioon, voidaan alkaa selvittää miten genotyyppi muodostaa fenotyypin. Alan merkittävä löydös on, että hyvinkin kaukaiset lajit, kuten ihminen ja banaanikärpänen käyttävät lähes samoja geenejä fenotyyppinsä muodostamiseen. Erot eliöiden välillä johtuvat siitä, miten ja missä alkionkehitystä ohjaavat geenit toimivat. Sean Carrollin (2005) mukaan eläimillä on lajista riippumatta hyvin samankaltainen geneettinen "työkalupakki", joka sisältää kehon eri osien valmistamiseen vaadittavat geenit. Tätä työkalupakkia ohjaavat säätelygeenit ja geneettiset kytkimet, jotka vaihtelevat lajien välillä. Pienikin muutos näissä säätelygeeneissä aiheuttaa alkionkehityksessä monimutkaisten vuorovaikutusten ketjun, joka voi tuottaa suuresti alkuperäisestä poikkeavan fenotyypin. Toisin sanoen eri eläimet perustuvat pitkälti samoihin geeneihin, mutta näitä geenejä käytetään eri tavalla. (Carroll 2005.)

Evodevon tuloksilla on evoluution kannalta joitakin oleellisia implikaatioita. Ensinnäkään eliöiden välinen geneettinen eroavaisuus ei ole yksiselitteinen mittari niiden fenotyypin eroista. Muutokset säätelygeeneissä voivat aiheuttaa suuria eroja fenotyyppissä, kuin taas

muutokset proteiineja koodaavissa geneeissä aiheuttavat paljon pienemmän muutoksen. Toiseksi, evoluutio luo äärimmäisen harvoin mitään todella uutta. Suurin osa työkalupakin geneeistä on yli puoli miljardia vuotta vanhoja. Vanhoja rakenteita otetaan uuteen käyttöön sekä geno- että fenotyypin tasolla. Muokkaamalla saman geenikompleksin säätelyä, on mahdollista tuottaa myyrän lapiomainen eturaaja, ihmisen jalka tai linnun siipi. Nämä rakenteet eivät siten ole geneettisesti uusia, vaan niitä edeltää jokin toimiva rakenne, joka saa uuden käyttötarkoituksen. Dinosaurusten eturaajat ovat olleet toimivia raajoja, mutta myös preadaptaatioita lintujen siiville. (Carroll 2005.)

Evodevon merkitys makromutaatiohypoteesille on ristiriitainen. Makromutaatiolla tarkoitetaan yksittäistä suurta mutaatiota, joka tuottaa suuren muutoksen fenotyypissä. Todennäköisesti tällainen muutos on vähentää yksilön kelpoisuutta radikaalisti tai on fataali, mutta joissakin tapauksissa se saattaisi tuottaa fenotyypin, jonka kelpoisuus olisi entistä parempi jonkin uuden ominaisuuden vuoksi. Eliötä, joka saisi onnekkaan makromutaation ansiosta uuden, hyödyllisen ominaisuuden, kutsutaan termillä *hopefull monster*, toiveikas hirviö. Tunnetuimpia makromutaation puolestapuhujia on Stephen Gould (1977). Hän ajatteli sen sopivan punktualismiin, makroevoluution selittäjäksi. Evodevon voi tulkita joko tukevan makromutaatioiden mahdollisuutta tarjoamalla mekanismin, jossa pieni geneettinen muutos voi aiheuttaa suuren muutoksen fenotyypissä (Theißen 2009) tai sitten sen voidaan nähdä tekevän makromutaation käsitteen tarpeettomaksi spekulatioksi (Carroll 2005). Joka tapauksessa evodevo antaa punktualismille uskottavuutta – muutokset säätelygeneeissä voisivat olla makroevoluution käyttövoima mikroevoluution vaikuttaessa proteiineja koodaaviin geneihin.

Fossiiliaineiston perusteella ihmisen evoluution on ollut punktualistista. Nykyihmisen piirteet ovat ilmaantuneet nopeissa hyppäyksissä, joiden välillä on ollut staattisempia kausia. Eri piirteet ovat myös kehittyneet eri tahdissa, ihmisen piirteiden evoluutio on ollut mosaiikkimaista. Pystyasento on saavuttanut nykyisenkaltaisen asteen jo *Homo erectuksen* aikaan kun aivojen koko saavutti nykytason vasta *H. sapiensin* ja *H. neanderthalin* myötä. Seuraavassa luvussa tarkastellaan niitä konkreettisia muutoksia perimässämme, joiden täytyy olla erityispiirteidemme kehityksen taustalla.

2.2.3 Ihmisen ja simpanssin geneettiset erot

Ihmisen ja simpanssin (*Pan troglodytes*) genomit on sekvensoitu, eli tunnemme koko genomien DNA:n emäsjärjestyksen. Emäsparitasolla ihmisen ja simpanssin genomit eroavat noin yhden prosentin (The Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium, CSAC, 2005). Lajimme erottavat piirteet ja siten myös ihmisen uniikin elämäntavan mahdollistavat erityispiirteet löytyvät siis tämän prosentin sisältä. Vaikka eromme simpanssiin onkin pieni, on 1% genomia silti yli 36 miljoonaa emäsparia, josta suurin osa on fenotyyppiin vaikuttamatonta kohinaa. Lisäksi fenotyypin ominaisuuksien päättely genotyypistä on hyvin vaikeaa, joten lajimme fenotyypisten erojen etsimisessä pelkkä genomien sekvensointi ei ole riittävä tutkimustapa. Tästä huolimatta lajimme geneettisten erojen tuntemus on välttämätön askel ihmisen erityispiirteiden etsinnässä. Seuraavaksi käydään lyhyesti läpi nykyisin tunnetut erot ihmisen ja simpanssin genomissa.

Kromosomitasolla ihmisen sukulinjassa on tapahtunut yksi kromosomien yhdistyminen, jota ei ole tapahtunut muilla ihmisapinoilla. Lisäksi ihmisen ja simpanssin kromosomistoissa on tapahtunut ainakin yhdeksän merkittävän kokoista perisentristä inversiota eli kromosomin keskikohdan kääntymistä ympäri. Erot kromosomistossamme ovat rakenteellisesti suuria, mutta ne eivät sinällään vaikuta geenien toimintaan. Ne ovat kuitenkin osaltaan vaikuttaneet lajimme perimän eroamiseen, koska teleomeerit, eli kromosomien reuna-alueet, ovat herkempiä mutaatioille kuin keskiosa. (CSAC 2005.)

Yksittäisten emäsparimuutosten lisäksi ihmisen ja simpanssin genomia erottavat merkittävä määrä insertioita ja deleetioita, eli DNA-pätkien siirtymistä paikasta toiseen tai katoamista. Näitä on tapahtunut lajimme yhteisestä kantamuodosta eroamisen jälkeen n. 5 miljoonaa kummassakin kehityslinjassa. Insertiot ja deleetiot muokkaavat DNA:n järjestystä ja voivat potentiaalisesti vaikuttaa fenotyyppiin. (CSAC 2005.)

Insertioiden erikoistapaukset, transposomit eli DNA-pätkät, jotka kykenevät liikkumaan genomien sisällä, ovat olleet ihmisen kehityslinjassa aktiivisempia kuin simpanssin. Lajeilla on myös eri määrä retroviruksista peräisin olevia transposomeja. Ainakin yksi transposomi, joka

molemmilta lajeilta löytyy, sisältää geenien säätelyyn liittyvän alueen, ja sen liike genomeissa on voinut vaikuttaa lajimme geenien säätelyn eroihin ja siten fenotyyppiin. (CSAC 2005.)

Yksittäisten proteiineja koodaavien geenien tasolla ihmisen ja simpanssin erot ovat hyvin vähäpätöisiä. Keskimäärin lajien geenien välillä on kaksi tuotettavaan proteiiniin vaikuttavaa muutosta. Ihmisen ja simpanssin geenien mutaatiotaajuus on samankaltainen, mutta korkeampi kuin hiiren ja rotan. Tämä tarkoittaa, että ihmisapinoiden perimä on muuttunut viime vuosimiljoonina jyrksijöitä nopeammin. CSAC (2005) esittää tämän eron taustatekijäksi ihmisapinoiden pienempää populaatiokokoa, jonka vuoksi negatiivinen luonnonvalinta on toiminut niillä heikommin kuin jyrksijöillä. (CSAC 2005.)

CSAC (2005) etsi genomien vertailussa myös merkkejä positiivisesta ja negatiivisesta luonnonvalinnasta ja löysi joitakin satoja mahdollisesti valinnan kohteena olleita genejä. Näistä osan tiedetään liittyvän immuunipuolustukseen, lisääntymiseen ja hajuaistiin. Nämä kolme ominaisuutta ovat kaikilla nisäkkäillä positiivisen valinnan kohteena, joten ne eivät sinällään kerro mitään ihmisen ja simpanssin erityispiirteistä (Nielsen ym. 2007). Mielenkiintoisempia löydöksiä olivat kuitenkin keskushermoston rakentumiseen ja välittäjäaineiden toimintaan liittyvät geenit, jotka vaikuttivat olleen positiivisen valintapaineen alla. On tosin mahdollista, että näiden alueiden konservoituminen johtuu vahvasta negatiivisesta valinnasta, positiivisen sijaan. Tämä tarkoittaisi, että mutaatiot näillä alueilla olisivat hyvin vahingollisia ja siksi geenit ja niiden ympäristö sisältäisivät vähemmän satunaismuutoksia kuin muu genomi. Ihmisten ja simpanssien välillä näyttää olevan joitakin genejä, joista osa on alkionkehityksen säätelygenejä, jotka ovat ihmisen kehityslinjassa olleet valinnan alaisina ja poikkeavat simpansseista. Nämä tulokset eivät kuitenkaan ole yksiselitteisiä ja osa valinnan merkeistä on voinut syntyä valinnan vaikutuksen sijasta sattumalta. (CSAC 2005, Nielsen ym. 2007.)

Populaatiogeneettinen ihmisen ja simpanssin genomien tarkastelu on tuottanut seuraavanlaisia tuloksia: Ensinnäkin nykyihmisen geneettinen varianssi on odotettua pienempää variaation ollessa suurinta Afrikassa ja pienempää Euroopassa ja Aasiassa. Tämä viittaa siihen, että lajimme historiassa on ollut pullonkaulailmiöitä, joissa koko lajin populaatio on ollut hyvin pieni, ja tämä on karsinut geneettistä variaatiota. Tämä tulos tukee käsitystä, että nykyihminen

on kehittynyt Afrikassa ja levinnyt sieltä muualle maailmaan. Toinen populaatiogeneettinen löydös oli ainakin kuuden potentiaalisen valintapyyhkäisyyn (selective sweep) jäljen löytyminen. Valintapyyhkäisyllä tarkoitetaan ilmiötä, jossa jokin DNA:n alue muuttuu kelpoisuuden kannalta erittäin tärkeäksi, ja valinta aiheuttaa sen nopean yleistymisen populaatiossa. Yksi potentiaalisista valintapyyhkäisyistä liittyy alueeseen, joka sisältää kieleen liittyvän geenin FOXP2. (CSAC 2005.)

FOXP2 on alkionkehitykseen liittyvä geeni, jonka vaurioituminen johtaa moniin kieleen liittyviin ongelmiin, joiden perusta on hermoston kehityksessä (Lai ym. 2001). FOXP2, kuten monet hermostoon vaikuttavat geenit, on erittäin konservoitunut. Ihmisen ja hiiren FOXP2-alleeli eroaa vain kolmen emäsparimuutoksen verran. Näistä muutoksista kaksi on kuitenkin tapahtunut ihmisen kehityslinjassa, sillä muiden ihmisapinoiden alleeli eroaa hiiren vastaavasta vain yhden muutoksen verran. Viimeisen 70 miljoonan vuoden aikana FOXP2:ssa on siis tapahtunut kolme pistemutaatiota, joista kaksi on tapahtunut ihmisen kehityslinjassa viimeisen 7 miljoonan vuoden aikana. Lisäksi nykyihmisen FOXP2-alleeli on ihmisellä fiksoitunut viimeisen 200 000 vuoden aikana (Enard ym. 2001). Nykyiseen FOXP2-alleeliin on siten kohdistunut positiivinen valintapaine ajallisesti lähellä suurta hyppäystä. Osia FOXP2 geenistä on löydetty neanderthalin ihmisiltä ja näiden löydösten perusteella myös neanderthalin ihmisellä on saattanut olla nykyihmisen FOXP2-alleeli (Krause ym. 2007). On kuitenkin mahdollista, että neanderthalin ihmisen FOX2P-alleeli on peräisin *Homo sapiensilta*, koska näillä lajeilla on aikaisemmasta käsityksestä poiketen ollut geeninvaihtoa (Green ym. 2010).

FOXP2 on vanha geeni, joka vaikuttaa hermoston ja nimenomaan kommunikaation kehittymiseen monilla lajeilla. Hiiret, joiden FOXP2-geeniä on vaurioitettu, kärsivät useista kehitysongelmista, joista ultraäänikommunikaation puute on huomattavin (Shu ym. 2005). Yhden kieleen liittyvän geenin tunnistaminen ja tutkimus ei vielä ratkaise kysymyksiä kielen kehittymisen ajankohdasta tai kielen geneettisestä taustasta, mutta kaikki FOXP2:een liittyvät tulokset ovat sopusoinnussa käsityksen kanssa, että kieli olisi voinut syntyä aikaisempien geenien pienten muutosten vaikutuksesta suuren hyppäyksen aikaan, vain 200 000 – 30 000 vuotta sitten (Fisher & Marcus 2005.)

Yhteenvetona voidaan sanoa, että nykyihmisen genomien perusteella hänen evoluutionsa ei näytä mitenkään poikkeukselliselta. Kuten muillakin nisäkkäillä, immuunipuolustus ja lisääntymiseen liittyvät toiminnot ovat suurin valinnan kohde. Ihmisen genomien kehityksen nopeus on suurempi kuin jyrksijöillä, mutta samankaltainen muiden ihmisapinoiden kanssa. Merkkejä mahdollisista säätelygeenien ja hermoston rakenteeseen vaikuttavien geenien tuoreesta kehityksestä on olemassa, joten valinta on vaikuttanut ihmisen kehitykseen. Valinnan kohteena olleiden alueidenkaan kehitysnopeus ei kuitenkaan ole poikkeavaa muihin nisäkkäisiin verrattuna ja valinnan kohteena olevien fenotyypisten ominaisuuksien paikantaminen on vielä alkutekijöissään. FOXP2 on toistaiseksi ainoa geeni, joka osataan yhdistää molekyyllitasolta edes karkeasti fenotyypin kognitiiviseen toimintoon.

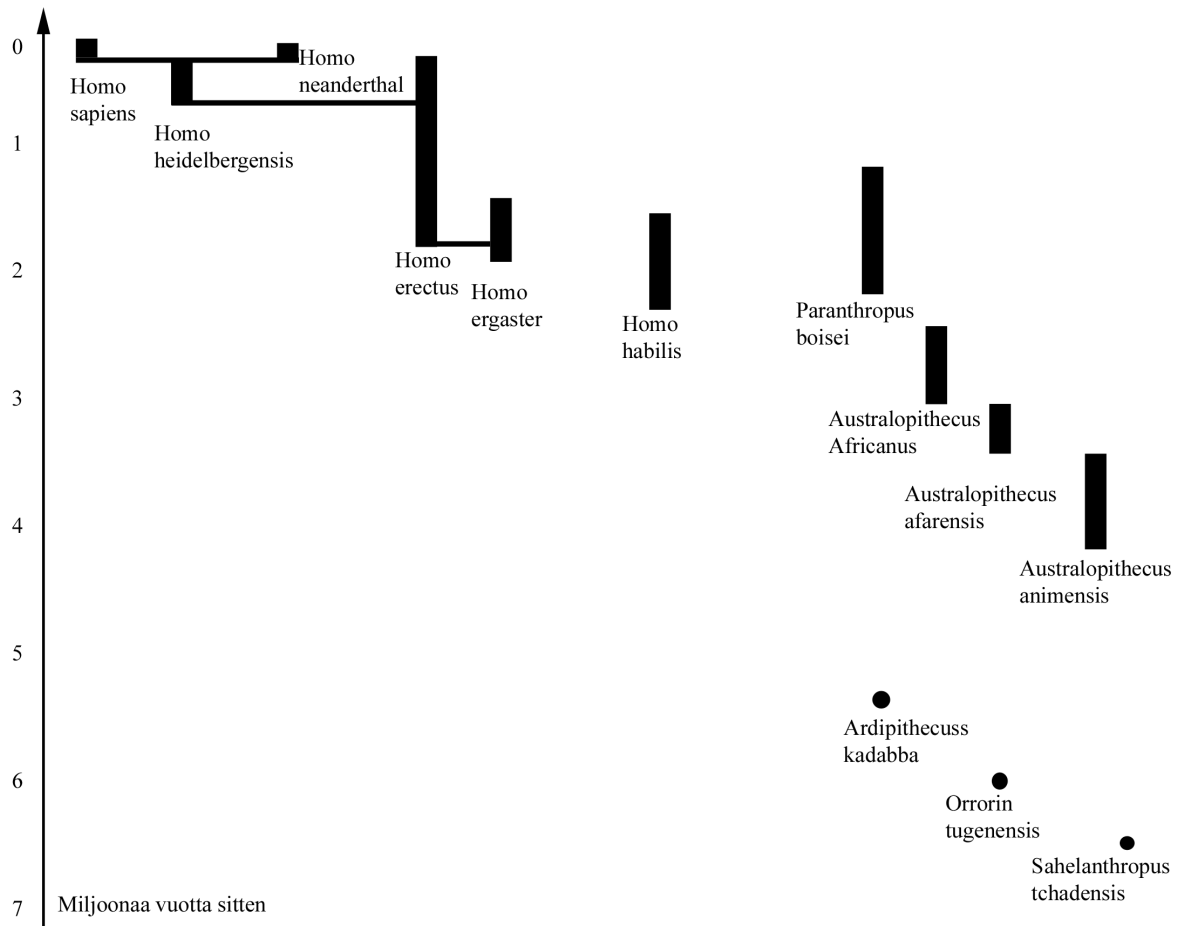
Geneettinen eromme simpanssiin on erittäin pieni – absoluuttinen emäsparien eroavaisuus on n. 36 miljoonaa muutosta, mutta ne muutokset, jotka aiheuttavat ihmisen ja simpanssin fenotyypisten erot, ovat vain pieni osa tästä määrästä. Sean Carroll (2007) esittää valistuneen arvauksen, että todellisuudessa ihmisen ja simpanssin merkitsevät geneettiset erot ovat vain muutaman tuhannen emäsparin luokkaa ja ne vaikuttavat ennen kaikkea geenien säätelyyn.

Oleellinen kysymys ihmisen erityispiirteiden suhteen on siis seuraava: syntyvätkö ihmisen erityispiirteet pienestä geneettisestä erosta simpanssiin, joka aiheuttaa suuren fenotyypisten eron lajimme välille? Vai jakavatko lajimme itse asiassa suurimman osan ihmisen erityispiirteiden taustalla olevista kyvyistä siten että pieni geneettinen muutos aiheuttaa pienen fenotyypisten muutoksen, joka mahdollistaa suuren muutoksen käyttäytymisessä?

2.3 Yhteenveto: ihmisen evoluutio

Nykyihminen, *Homo sapiens*, on kädellisten lahkoon kuuluva nisäkäs, jonka lähimmät elossa olevat sukulaislajit ovat simpanssit. Nykyihmiseen johtanut kehityslinja erosi simpansseihin johtaneesta linjasta n. 5 – 8 miljoonaa vuotta sitten ja geneettisesti olemme simpanssin kanssa erittäin samanlaisia. Lajimme eroaa kuitenkin kaikista muista eläimistä korkeaan teknologiaan perustuvan elämäntapansa ja sen mahdollistavien kognitiivisten erityispiirteiden vuoksi.

Koska lähimmät sukulaisemme, simpanssit, eivät omaa näitä erityispiirteitä, on niiden täytynyt kehittyä ihmisen kehityslinjassa evolutiivisesti lyhyessä ajassa. Kuviossa 3 on esitetty tässä tutkielmassa mainitut ihmisen sukulaislajit kantamuotomme erottua simpanssien kantamuodosta.



KUVIO 3. Ihmisen sukupuu (Klein 2009).

Nykytietämyksemme ihmisen evoluutiosta perustuu fossiiliaineistoon sekä geneettiseen tutkimukseen. Nykyihmiseen johtanut kehityslinja sisältää useita lajeja, joiden sukulaissuhteet eivät ole selvät. Fossiiliaineistosta voidaan erottaa evoluutiostamme muutamia käännekohtia. Pystyasentoa pidetään selvänä merkinä siitä, että laji kuuluu nykyihmiseen johtaneeseen kehityslinjaan simpanssin kehityslinjan sijaan. Viimeistään apinaihmiisiin kuuluvat lajit, jotka kehittyivät noin 4,5 miljoonaa vuotta sitten kykenivät liikkumiseen pystyasennossa. Näiden

lajien aivot olivat simpanssimaisen pienet ja ne eivät valmistaneet työkaluja. Aivojen koon ensimmäinen merkittävä kasvu tapahtui pystyihmisen ilmaantuessa noin 2 miljoonaa vuotta sitten. Tällöin esi-isämme alkoivat myös systemaattisesti hyödyntää yksinkertaisia kivityökaluja, jotka eivät kuitenkaan kehittyneet mainittavasti tulevina vuosimiljoonina. Toinen aivojen koon merkittävä kasvu tapahtui 300 000 – 500 000 tuhatta vuotta sitten, kun lajit *Homo sapiens* ja *Homo neanderthal* kehittyivät myöhäisestä pystyihmisestä. Työkalukulttuurikin kehittyi, mutta ei erityisen paljon. Viimeinen suuri muutos ihmisen evoluutiossa oli suuri hyppäys n. 200 000 – 50 000 vuotta sitten, kun *Homo sapiens* levisi ympäri maailmaa ja samalla lajin teknologia ja kulttuuri alkoi kehittyä räjähdysmäisesti.

Nykyihmisen evoluutio oli siten punktuaalista sekä fyysisten ominaisuuksien että kulttuurin kehityksen suhteen. Esi-isämme eivät poikenneet merkittävästi elämäntavaltaan muista isoihmisapinoista ennen suurta hyppäystä, vaikka työkalujen käyttö olikin muita ihmisapinoita kehittyneempää ja pystyasento muutti elinympäristömme savannimaisemmaksi. Suurta hyppäystä edeltävä teknologia ei kuitenkaan, tulen käyttöä lukuun ottamatta, ollut radikaalisti simpansseista poikkeavaa. Esi-isämme elivät ja todennäköisesti myös hankkivat ravintoa ryhmissä. Nykyihmiseen verrattuna he aikuistuivat nopeasti ja elivät lyhyen aikaa. (Diamond 1992, Klein 2009).

Lajimme perimän tarkastelu antaa evoluutiostamme kuvan tyypillisenä nisäkkäänä, jolla on pieni populaatiokoko. Lähihistoriassamme on tapahtunut pullonkaulailemista ja valintapyyhkäisyjä, jotka ovat mahdollistaneet joidenkin uusien geneettisten ominaisuuksien nopean yleistymisen varhaisessa populaatiossamme. Perimässämme ei kuitenkaan ole suuria eroja simpanssiin, joten todennäköisesti ihmisen erityispiirteiden taustalla ovat muutokset ovat pieniä eroja geenien säätelyssä ja näennäisen suuri poikkeama simpanssien ja lajimme fenotyypissä on pienen eron tuottama genotyypissä. (CSAC 2005, Carroll 2007)

Nykykäsitys evoluutiostamme ei anna viitteitä uniikista kehityksestä ennen suurta hyppäystä, mutta nykyihmisen elintapa on kuitenkin selvästi luonnossa poikkeuksellinen. Miten tämä epäsymmetria on selitettävissä? Mielestäni parsemonisin vastaus tähän kysymykseen on, että eromme simpansseihin ja muihin isoihmisapinoihin on käytännössä niin pieni, ettei

erityispiirteidemme evoluutio vaadi selittäjäkseen mitään poikkeavaa kehityshistoriassamme. Ehkä fenotyyppi- ja genotyyppi-suhde ei ole epäsymmetrinen, vaan jaamme geeniemme lisäksi suuren osan kognitiivisista prosesseistamme simpanssin kanssa?

Tällöin uniikin elämäntapamme mahdollistavat erityiskyvyt ovat hienovaraisia muutoksia isoihmisapinoiden tai laajemmin ajateltuna kädellisten jakamiin kognitiivisiin kykyihin, jotka toimivat preadaptaatioina esimerkiksi ihmisen kielelle ja luovuudelle. Evodevo on näyttänyt, että käyttötarkoitukseltaan uudet rakenteet syntyvät evoluutiossa usein tällä tavalla.

Huomionarvoista on, että tämä ajatusmalli ei vaadi, että eromme muihin eläimiin täytyisi olla vain määrällinen eikä laadullinen. On mahdollista, että erityispiirteemme ovat todella eläinmaailmassa uniikkeja, mutta tämä ei tarkoita että niiden täytyisi olla geneettisesti tai fyysisesti suuria.

Jotta voisimme omaksua tällaisen näkökulman ihmisen erityispiirteiden kehitykseen, on ensin vastattava kolmeen oleelliseen kysymykseen. Ensinnäkin, mikä on kognitiivisten kykyjen olemus ja miten evoluutio vaikuttaa niihin? Toiseksi, mitkä ovat ne kädellisten yhteiset kognitiiviset kyvyt, jotka voisivat toimia preadaptaatioina ihmisen erityispiirteille? Ja lopuksi, mitkä ovat ne ihmisen kognitiiviset erityispiirteet, jotka mahdollistavat uniikin elämäntapamme ja erottavat meidät muista kädellisistä? Seuraavassa luvussa pyritään vastaamaan näihin kysymyksiin.

3 Älykkyyden evoluutio

Tämän luvun aikana perehdytään kädellisten aivojen kehitykseen ja kognitiivisiin kykyihin sekä kognitiotieteen klassiseen tapaan käsittää kognitiiviset prosessit. Aluksi esitellään ekologisen ja sosiaalisen älykkyyden hypoteesit. Seuraavaksi käydään läpi komputationaalinen näkemys mielen toiminnasta ja kognitiivisten prosessien olemuksesta. Lopuksi tutustutaan tutkimukseen luonnossa elävien kädellisten kognitiivisista kyvyistä ja erityisesti Dorothy Cheney ja Robert Seyfarthin tutkimukseen paviaanien sosiaalisesta kognitiosta.

3.1 Kädellisten aivojen kehitys

Luonnonvalinta suosii eliöitä, joilla on kelpoisuutta lisääviä adaptaatioita. Eliökunnasta löytyykin valtava määrä hyödyllisiä sopeumia, mutta millään eliöllä ei ole niitä kaikkia. Looginen kysymys on, miksi ihmisellä ei ole siipiä tai oravalla suuria aivoja? Nykybiologia antaa tähän kysymykseen kaksi vastausta. Ensinnäkin, evoluutiolla on kehitysrajoitteita (development constraints). Geneettisen variaation määrä ja aikaisemmat evolutiiviset ratkaisut rajoittavat eliön mahdollista tulevaa kehitystä. Esimerkiksi tetrapodin, eli neliraajaisen eliön, geneettinen perusta syntyi satoja miljoonia vuosia sitten ja tämän ominaisuuden muuttuminen vaatisi nykyisiltä tetrapodeilta valtavia muutoksia genomiinsa. Tämä vuoksi siivellinen ihminen on hyvin epätodennäköinen – se vaatisi 6 raajaa tai käsiemme uhraamisen uuteen käyttötarkoitukseen. (mm. Campbell & Reece 2008, Diamond 1992.)

Toinen evoluutiota rajoittava tekijä on ominaisuuksien hyödyn tasapainottaminen niistä aiheutuvien kustannusten kanssa (trade-off). Valinta suosii siksi sellaisia eliöitä, joiden kokonaiskelpoisuus on paras mahdollinen, ja koska mikään ominaisuus ei ole pelkästään hyödyllinen, tällaiset eliöt ovat aina kompromisseja. Esimerkiksi riikinkukkouroksen valtava pyrstö lisää kantajansa kelpoisuutta, koska se houkuttelee naaraita. Se kuitenkin myös laskee kantajansa kelpoisuutta vaatimalla paljon energiaa ylläpitoon ja tekemällä linnusta kömpelömmän sekä helposti huomattavan, ja siten helpomman saaliin pedoille. Useiden sukupolvien aikana pyrstön koko alkaa approksimoida optimaalista kompromissia

näyttävyyden ja ylläpidettävyyden välillä. Tällaisten kompromissiratkaisujen tutkiminen luonnossa on yksi evoluutiobiologian tutkituimmista aiheista. (mm. Campbell & Reece 2008, Diamond 1992.)

Aivot ovat adaptaatio, josta on suuria kustannuksia. Aivokudos kuluttaa erittäin paljon energiaa: aikuisen ihmisen aivot muodostavat vain 2% hänen massastaan, mutta kuluttavat n. 20% kehon energiasta (Dunbar 1998). Ihmisen tapauksessa suuret aivot myös vaikeuttavat synnytystä. Ihmislapsen pää on aivojen koon vuoksi syntymähetkellä niin suuri, että synnytystapahtuma aiheuttaa sekä äidille että lapselle kuolemanvaaran. Tämä on eläinkunnassa harvinaista. Edes muilla kädellisillä synnytys ei aiheuta suurta vaaraa emolle tai poikaselle (Diamond 1992). Aivot ovat luonnollisesti erittäin hyödyllinen adaptaatio niille eliöille, jotka sellaiset omistavat. Ne ohjaavat eliön kehon toimintaa ja käyttäytymistä. Tähän tarkoitukseen riittävät kuitenkin pienet, energiaa säästeliäästi kuluttavat aivot. Ei ole triviaali kysymys, mitä hyötyä suurista aivoista on.

Suurin aivojen kokoon vaikuttava tekijä on kehon koko. Elefantin aivot ovat absoluuttisesti suuremmat kuin ihmisen. Aivojen ja kehon koon suhde ei kuitenkaan ole vakio eri eliöryhmien välillä. Koska aivojen rakenne vaihtelee lajista toiseen, ei ole yleispätevää tapaa vertailla aivojen tilavuuksia tai suhteellisia kokoeroja. Esimerkiksi neokorteksi, aivojen evolutiivisesti uusin osa, löytyy ainoastaan nisäkkäiltä, ja nisäkkäillä neokorteksin koko voi olla aivojen absoluuttista kokoa parempi mittari älykkyydelle. Yksi yleisesti käytetty tapa aivojen koon vertailuun nisäkkäiden kesken on Harry Jerisonin (1973) kehittämä tunnusluku EQ (encephalization quotient). EQ lasketaan vertaamalla eläimen kehon massaa sen aivojen massaan ja suhteuttamalla tämä luku muiden nisäkkäiden vastaaviin tuloksiin. EQ-arvo yksi on nisäkkäiden keskiarvo ja tätä suuremmat luvut kuvaavat kehon kokoon suhteutettuna suuria aivoja. Koska EQ ei ota huomioon aivojen rakenteellisia eroja, ei sitä voida pitää kuin suuntaa-antavana mittarina aivojen kehittyneisyydestä. Lisäksi eri lähteet antavat samoille eläinryhmille hiukan erilaisia EQ-arvoja otoksesta ja tarkasta laskutavasta riippuen. Tämän tutkielman puitteissa EQ on kuitenkin riittävä tunnusluku aivojen ja kehon koon suhteen vaihtelun demonstroimiseksi eri taksonomisten ryhmien välillä. Taulukossa 4 on muutamien nisäkäslajien EQ-luku.

TAULUKKO 4. EQ-arvoja nisäkkäillä (Connor 2006, Kolb & Whishaw 2003, Shoshhani, Kupsky & Marchant 2006).

Eläin	Aivojen tilavuus	EQ	Lähde
Rotta	2 ml	0.40	Kolb ym. 2003
Kissa	25 ml	1.00	Kolb ym. 2003
Afrikan Elefanti	4783 ml	1.88	Shoshhani ym. 2006
Resusapina	106 ml	2.09	Kolb ym. 2003
Simpanssi	440 ml	2.48	Kolb ym. 2003
Pullonokkadelfiini	1588 ml	6.00	Connor 2006
Nykyihminen	1350 ml	7.30	Kolb ym. 2003

Kädellisten aivot ovat kehon kokoon suhteutettuna suuremmat kuin muiden nisäkkäiden lukuun ottamatta delfiinejä. Lisäksi ihmisapinoiden aivot ovat suhteessa suuremmat kuin apinoiden. Ihmisellä ja delfiineillä on suhteellisesti suurimmat aivot. Hermokudoksen kustannusten vuoksi suuriaivoisille lajeille, kuten kädellisille, tulee olla merkittävä valintaetu suurista aivoistaan. Mikä tämä valintaetu on? Emme voi vastata tähän kysymykseen ihmisen erityispiirteiden, kuten kielen ja työkalujen käytön adaptiivisuuden pohjalta, koska suurin osa kädellisistä ei omaa näitä piirteitä (Seyfarth & Cheney 2002). Huomionarvoista on myös, että nykyiset erityispiirteemme ovat lajimme kehityshistoriassa uusia innovaatioita. Työkaluja olemme valmistaneet muutamia miljoonia vuosia ja kieltä todennäköisesti käyttäneet paljon lyhyemmän aikaa. Siksi myöskin nykyihmisen aivojen kehitykseen ovat vaikuttaneet suurimman osan evoluutiostamme valintapaineet, jotka eivät liity erityispiirteisiimme.

Delfiinit ovat erittäin mielenkiintoinen erikoistapaus suurista aivoista kädellisten lahkon ulkopuolella. Emme tämän tutkielman puitteissa kuitenkaan pysty paneutumaan näihin eläimiin. Huomionarvoista kuitenkin on, että delfiinien käyttäytymien ja kommunikaatio on erittäin kehittyntä ja niiden sosiaalinen vuorovaikutus on monimutkaisempaa kuin monella kädellisillä (Connor 2006). Delfiinien evoluutiota ovatkin saattaneet ajaa samankaltaiset valintapaineet kuin kädellisten evoluutiota.

Teoriat suurten aivojen tuottamasta valintaedusta voidaan karkeasti jakaa sosiaalisen ja ekologisen älykkyyden hypoteeseihin. Viime vuosikymmeninä sosiaalisen älykkyyden hypoteesi kädellisten suurten aivojen selittäjänä on saanut ekologista hypoteesia enemmän suosiota. Seuraavaksi tutustumme tarkemmin sosiaalisen älykkyyden hypoteesiin ja sen vaihtoehtoihin.

3.1.1 Sosiaalisen älykkyyden hypoteesi

Ennen 1970-lukua tieteessä oli vallalla käsitys, että älykkyys oli itsessään adaptiivista. Se määriteltiin, hiukan tautologisesti, olion kyvyksi toimia järkevällä tavalla ympäristössään ja eläimillä tämä tarkoitti ennen kaikkea ravinnonhankintaa ja navigointia. Koska suuret aivot korreloivat korkeamman älykkyyden kanssa, ne olivat adaptiivisia, eivätkä vaatineet erityistä selitystä. Nicholas Humphrey (1976) haastoi tämän näkemyksen. Hän huomasi edellä esitetyn päättelyn virheen: jo orava pystyy pienillä aivoillaan tekemään järkeviä ravinnonhankintaan ja navigointiin liittyviä ratkaisuja. Miksi samankaltaisessa ympäristössä elävän apinan aivot ovat paljon suuremmat kuin oravan? Näyttää siltä, että kädelliset eivät tarvitse suuria aivoja ympäristössään toimimiseen ja koska aivokudos on kallista, täytyy suurten aivojen tuottaa jokin muu merkittävä valintaetu. Sosiaalisen älykkyyden hypoteesi esittää, että tämä valintaetu on kyky toimia monimutkaisissa sosiaalisissa ryhmissä, joissa suurin osa kädellislajeista elää. (Byrne & Whiten 1988, Dunbar 1998, Humphrey 1976, Seyfarth & Cheney 2002, 2008a.)

Sosiaalisen älykkyyden hypoteesin tueksi on esitetty monia tutkimustuloksia. Yksinkertaisin tapa tutkia sosiaalisuuden ja aivojen koon suhdetta on verrata pienissä ja suurissa ryhmissä elävien lajien aivojen kokoja. Tällainen tutkimus on näyttänyt, että kädellisillä suuret aivot ja erityisesti suuri neokorteksi korreloi suuren ryhmäkoon kanssa (Dunbar 1998, Whiten & Byrne 1997). Tulos voidaan tulkita siten, että mitä suurempi lajin ryhmä on, sitä monimutkaisempi sen sosiaalinen ympäristö on, ja siten suuret aivot ovat adaptaatio monimutkaiseen sosiaaliseen ympäristöön.

Jos suuressa ryhmässä eläminen luo valintapaineen suurille aivoille, miksi kädellisten aivot ovat suuremmat kuin esimerkiksi antilooppien, jotka myös elävät suurissa ryhmissä? Korrelaatio aivojen koon ja ryhmäkoon välillä on olemassa muissakin taksonomisissa ryhmissä kuin kädellisissä, mutta se ei ole yhtä voimakas, ja ryhmäkoon sijaan oleellinen korrelaatio aivojen koon kanssa vaikuttaa olevan pysyvien lisääntymisparien muodostus (Dunbar 2007). Jotta sosiaalisen älykkyyden hypoteesi olisi uskottava, kädellisillä tulisi siis olla monimutkaisempaa sosiaalista käyttäytymistä kuin muilla eläinryhmillä. Olisi perusteetonta väittää, että meillä olisi olemassa tarkat kuvaukset kaikkien nisäkkäiden sosiaalisesta käyttäytymisestä, mutta nykytiedon valossa vaikuttaa siltä, että kädellisten sosiaalisessa toiminnassa todella on piirteitä, jotka ovat ryhmälle uniikkeja. Tällaisia ovat ainakin simpansseilla ja pavianaaneilla havaitut liittoumat, joissa yksilö, joka on konfliktissa toisen eläimen kanssa, pyrkii rekrytoimaan avukseen kolmannen yksilön, joka on sen vastustajaa korkeammalla lauman arvojärjestyksessä (Seyfarth & Cheney 2002, Cheney & Seyfarth 2008a). Tällaista arvojärjestyksiin perustuvaa taktikointia ei ole havaittu ei-kädellisillä. Toinen nykykäsityksen mukaan vain kädellisten sosiaalinen kyky on toisten yksilöiden huijaaminen perusteettomalla varoitushuudolla (Cheney & Seyfarth 2008a). Todisteet tällaisesta toiminnasta tosin ovat anekdoottimaisia. Lisäksi kädellisillä on esitetty olevan useita lauman arvojärjestyksen hahmottamiseen käytettäviä kehittyneitä kognitiivisia kykyjä, joita käsitellään tarkemmin luvussa 3.3.

Minkä tahansa evolutiivisen teorian todellinen testi on, voidaanko hypoteettisen adaptaation osoittaa vaikuttavan yksilön kelpoisuuteen. Sosiaalisen älykkyyden hypoteesi on saanut tällaista tukea. Silk, Alberts ja Altmann (2003) julkaisivat tuloksia 16 vuotta kestäneestä luonnonvaraisten pavianaanien seurantalutkimuksesta. He olivat havainneet, että sellaisten naaraiden, jotka osallistuivat keskimääräistä enemmän ystävällisiin interaktioihin (sukiminen, toisten lähellä vietetty aika ja toisten tukeminen konflikteissa) poikaset selvisivät keskimääräistä useammin yhden vuoden ikään. Tutkimuksessa oli kontrolloitu eläinten arvoasema laumassa ja ympäristön resurssien saatavuus. Poikaskuolleisuus on pitkäikäisillä ja hitaasti lisääntyvillä lajeilla, kuten pavianaaneilla, suuri komponentti eliniän aikaista kelpoisuutta. Silkin ja kollegoiden tulos antaa siten vahvaa tukea käsitykselle, että ainakin pavianaaneilla sosiaalinen menestys nostaa kelpoisuutta ja siten eläimillä on valintapaine toimia sosiaalisesti (Dunbar 2003, Silk 2003, 2007.)

Silkin tutkimuksessa on vielä osaksi avoinna, mikä oli sosiaalisen menestyksen ja poikaskuolleisuuden välinen mekanismi. Sosiaalisen tuen vaikutusta yksilön terveyteen on kuitenkin tutkittu paljon myös ihmisellä ja ei-kädellisillä eläimillä (esim. House, Landis & Umberson 1988). Näissä tutkimuksissa on havaittu, että vähäiset ja epätyytyttävät sosiaaliset suhteet korreloivat huonon terveyden ja kohonneen kuolleisuuden kanssa. Välittävänä tekijänä on stressi. Seyfarth ja Cheney (2008a & 2008b) tutkivat osana omaa paviaanien pitkittäistutkimustaan eläinten stressistä kertovaa glukokortisoonitasoa. Heidän tutkimuksestaan kävi ilmi, että hyvin stressaavan kokemuksen jälkeen, esimerkiksi eläimen läheisen kumppanin jouduttua leijonan syömäksi, paviaaninaaraat käyttivät enemmän aikaa sukimiseen ja pyrkivät lisäämään sukimakumppaneidensa määrää. Tämän käyttäytymisen aikana eläimen glukokortisoonitaso laski melko pian tavalliselle tasolle. Lisäksi jos paviaaninaaraan poikanen oli vaarassa tulla vasta laumaan muuttaneen uroksen surmaamaksi, naaraan glukokortisoonitaso nousi huomattavasti vähemmän, jos tällä oli läheisiä suhteita poikasta puolustamaan kykeneviin uroksiin verrattuna tilanteeseen, jossa naaraalla ei ollut tällaisia suhteita. Tällöin vaikutus naaraan kelpoisuuteen oli sekä suora (poikasen puolustus) että epäsuora (alentunut stressi). Näiden hienovaraisempien vaikutusmekanismien lisäksi on huomattava, että esimerkiksi paviaanien tapauksessa eläimet eivät selviä yksinään elossa kovin pitkään, koska lauma antaa oleellista suojaa petoja vastaan ja on tehokkaampi ravinnon etsimisessä kuin yksittäinen eläin. (Cheney & Seyfart 2008a.)

3.1.2 Vaihtoehtoja sosiaalisen älykkyyden hypoteesille

Sosiaalisen älykkyyden hypoteesilla on muutamia kilpailevia teorioita. Ensinnäkin, ekologisen älykkyyden hypoteesi on kehittyneempi versio ajatuksesta, että älykkyys ja suuret aivot ovat hyödyllisiä ensisijaisesti ympäristössä toiminnan kannalta. Toiseksi, suurien aivojen kehitys voidaan pyrkiä selittämään muun kehon kehityksen sivutuotteena. Näiden sosiaalisen älykkyyden hypoteesille vastakkaisten teorioiden lisäksi viime vuosina on alettu tutkia suurien aivojen merkitystä uuden keksimiselle, innovaatioille. Tämä tapa selittää kädellisten suuret aivot pitää sisällään sekä sosiaalisia että ekologisia tekijöitä.

Ekologisen älykkyyden hypoteesin mukaan kädellisten suuret aivot ovat kehittyneet ensisijaisesti siksi, että niistä on hyötyä ravinnonhankinnassa, suunnistuksessa, uuteen ympäristöön sopeutumisessa ja muissa ympäristön hyödyntämiseen liittyvissä toiminnoissa. Kuten sosiaalisen älykkyyden hypoteesia, ekologistakin hypoteesia perustellaan korrelaatiolla aivojen koon ja elintapaan liittyvien tekijöiden välillä. Kädellisillä, joilla on suuri reviiri ja jotka syövät lehtien sijaan ensisijaisesti hedelmiä, on suuremmat aivot kuin pienireviirisillä ja lehtiä syöville lajeilla (Clutton-Brock & Harvey 1980). Hedelmien etsiminen suurelta alueelta onkin epäilemättä haastavampaa kuin lehtien löytäminen pieneltä alueelta ja tällainen ero ekologiassa aiheuttaa valintapaineen hermoston kehitykselle. Ongelma ekologisen älykkyyden hypoteesissa kuitenkin on, että monet pieniaivoiset lajit, kuten oravat, pystyvät menestyksekkäästi etsimään epätasaisesti jakautunutta ruokaa suurelta alueelta (Dunbar 2007).

Koska ekologisen älykkyyden hypoteesi ei pysty tyydyttävästi vastaamaan orava-argumenttiin, sitä ei pidetä vahvana vaihtoehtona kädellisten suurten aivojen selittäjäksi. Sen sijaan se on erinomainen selittäjä monien muiden eläinryhmien kognitiivisille erikoiskyvyille. Esimerkiksi pensasnärhet (scrub jay, *Aphelocoma coerulescens*) varastoivat ruokaa laajalle alueelle ja löytävät omat kätöksensä pitkienkin aikojen kuluttua. Tutkimuksissa nämä linnut ovat osoittaneet omaavansa vaikuttavan spatiaalisen muistin ja jonkinasteista kykyä suunnitella tulevaa (Raby ym. 2007). Närhet eivät kuitenkaan ole erityisen sosiaalisia tai muilta kognitiivisilta kyvyiltään poikkeuksellisia eläimiä. Monilla lintulajeilla on myös havaittu positiivinen korrelaatio aivojen koon ja uudenlaisissa ympäristöissä menestymisen välillä (Sol ym. 2005). Evoluutio toimiikin siten, että monilla lajeilla on vain yksi tai muutama pitkälle kehittynyt kognitiivinen kyky, jolla ne vastaavat ympäristönsä vaatimuksiin. Muihin taksonomisiin ryhmiin verrattuna nisäkkäiden ja erityisesti kädellisten kognitiivinen repertuaari on luonnossa harvinaisen laaja. Näyttääkin siltä, että ekologiset valintapaineet ajavat ennen kaikkea erikoistuneiden sosiaalisten kykyjen kehitystä, kuin taas sosiaaliset valintapaineet suosivat laaja-alaisempaa ongelmanratkontakykyä (Cheney & Seyfart 2008a).

Toinen vaihtoehto sosiaalisen älykkyyden hypoteesille on, että kädellisten suuret aivot eivät ole kehittyneet valinnan vaikutuksesta, vaan sivutuotteena muun kehon kehittyessä. Aivojen kokoa on voinut kasvattaa kehon koon kasvun lisäksi esimerkiksi siirtyminen

energiapitoisempaan ruokavalioon, jolloin eliöllä on ollut mahdollisuus ylläpitää suurempaa määrää hermokudosta (Armstron 1983, Martin 1981). Tämä tutkimussuuntaus on hyödyllinen, koska se tuottaa tietoa aivojen kehityksen kehityksellisistä rajoituksista. Evoluutiossa ei kuitenkaan riitä, että suurten aivojen kehittyminen on mahdollista – aivojen energiankulutuksen vuoksi niistä on oltava todellista valintaetua, muuten negatiivinen luonnonvalinta toimisi aivojen kasvua vastaan (Dunbar 2007).

Ekologisen ja sosiaalisen älykkyyden hypoteesien asettaminen toisensa kokonaan poissulkeviksi vaihtoehtoiksi ei ole järkevää. Todennäköisesti sekä sosiaaliset että ekologiset tekijät ovat olleet tärkeitä kädellisten aivojen kehitykselle. On myös mahdollista, että aivojen koon kasvun taustalla on jokin valintapaine, jota ei voida luonnehtia pelkästään sosiaaliseksi tai ekologiseksi. Simon Reader ja Kevin Laland (2002) ovat ehdottaneet, että eliön kyky innovaatioihin olisi parempi mittari niiden älykkyydestä kuin sosiaalisuuden aste tai ekologiset korrelaatit. He tekivät metatutkimuksen, jossa käytiin läpi suuri määrä kädellisiä koskevaa tutkimusta ja etsittiin tapauksia, joissa eläimet keksivät uusia toimintatapoja, oppivat toisilta eliöiltä tai käyttivät työkaluja. Näiden toimintojen Reader ja Laland esittivät edustavan innovatiivista älykkyyttä, joka mahdollistaa joustavan toiminnan muuttuvissa ympäristöissä. Kädellislajeilla, joilla oli paljon esimerkkejä innovaatioälykkyydestä oli myös suuremmat aivot kuin vähemmän innovatiivisilla kädellislajeilla. (Reader & Laland 2002). Tämä korrelaatio havaittiin myös useilla muilla taksonomisilla ryhmillä (Lefebvre & Reader 2004). Innovaatioälykkyyys liittyy kädellisillä selvästi sosiaalisuuteen (työkalun käytön sosiaalinen oppiminen), mutta siitä on usein hyötyä ekologisten ongelmien ratkaisemisessa (työkalun käyttö ravinnon hankintaan). Innovaatioälykkyyden teoria ei siten ole niinkään sosiaalisen älykkyyden hypoteesin vaihtoehto, vaan tapa tuoda ekologiset tekijät mukaan sosiaaliset valintapaineet huomioivaan teoriaan. Readerin ja Lalandin tulokset voidaankin tulkita siten, että samat kognitiiviset prosessit toimivat kädellisillä sosiaalisen kognition ja innovaatioälykkyyden taustalla. Tällöin saman järjestelmän kehityksestä on valintaetua sekä sosiaalisesti, että innovaatiokyvyn kautta. Toinen mahdollisuus on, että sosiaalisen älykkyyden sivutuotteena kehittyy innovatiivista älykkyyttä tai päinvastoin.

3.1.3 Ihmisen aivojen kehitys

Sosiaalisen älykkyyden hypoteesi on vahva teoria kädellisten suurten aivojen kehityksen selittämiseksi. Soveltuuko se myös ihmisen aivojen kehityksen selittämiseen? Nykyihmisen aivot ovat vielä huomattavasti suuremmat kuin muiden ihmisapinoiden ja erityisesti neokorteksin otsa- ja ohimolohkot ovat ihmisellä erittäin suuret. *Homo erectuksen* kehityttyä, aivojemme koko kasvoi yli 250% alle kolmessa miljoonassa vuodessa. Aivojemme kehityksen on täytynyt viime vuosimiljoonina poiketa muiden kädellisten aivojen kehityksestä, mutta tämä ei tarkoita, etteikö sosiaalisen älykkyyden hypoteesi olisi sovellettavissa omaan lajiimme. (Flinn ym. 2005, Klein 2009).

Ne 5-7 miljoonaa vuotta, jonka kehityslinjamme on ollut erillään muista kädellisistä edustaa vain kymmentä prosenttia evoluutiostamme kädellisten erottua omaksi taksonomiseksi ryhmäkseen. Suurimman osan lajimme evoluutiosta kehitykseemme ovat siten vaikuttaneet samankaltaiset valintapaineet kuin muihin kädellisiin. Jo ihmisen ja simpanssin kantamuoto oli ryhmässä elävä, sosiaalinen laji ja taipumuksemme sosiaalisuuteen on siten paljon kehityslinjaamme vanhempi ominaisuus. Kantamuotomme kehitykseen ovat siten vaikuttaneet sosiaaliset valintapaineet ja niiden merkitys ei ole vähentynyt kehityslinjamme erottua simpansseista. Nykyihminen on nimittäin erittäin sosiaalinen laji, joka muodostaa monentasoisia ryhmiä ja on riippuvainen ryhmästä sekä selviytymisensä että lajityypillisten ominaisuuksiensa kehittymisessä. On siis todennäköistä, että sosiaalisen kognition kykymme ovat tärkeä osa erityispiirteitämme. Tälle intuitiiviselle ajatukselle on myös tieteellistä tukea.

Esther Herrmann kollegoineen (Herrmann ym. 2007) on suorittanut vaikuttavan komparatiivisen tutkimuksen, jossa simpansseille, orangeille ja 2,5-vuotiaille ihmisille teetettiin laaja kognitiivisia kykyjä mittaava testipatteri. Herrmannin idea oli, että 2,5-vuotiaan lapsen ei pitäisi vielä hyötyä juurikaan formaalista opetuksesta ja kulttuuriimme kumuloituneesta tiedosta ja siten tutkimuksessa pystyttäisiin vertailemaan ennen kaikkea geneettistä pohjaa olevia kykyjä. Tulokset olivat selvät: yleisiä kognitiivisia kykyjä kuten spatiaalista hahmottamista, lukumäärien arvioimista ja kausaliteetin ymmärtämistä mittaavissa testeissä ihmiset ja simpanssit suoriutuivat samantasoisesti orankien menestyessä

hiukan heikommin. Sen sijaan sosiaalista älykkyyttä kuten sosiaalista oppimista, nonverbaalista kommunikaatiota ja mielen teoriaa mittaavissa tehtävissä sekä simpanssit että orangit saavuttivat huomattavasti ihmislapsia heikomman tuloksen.

Tutkimustulos viittaa siihen, että merkittävä osa ihmisen muista kädellisistä erottavista kognitiivisista kyvyistä liittyy sosiaaliseen älykkyyteen. Todennäköisesti sosiaalisilla valintapaineilla on siten ollut suuri merkitys ihmisen erityispiirteiden evoluutiossa. Lisäksi on hyvin epätodennäköistä, että varhaisten ihmislajien evoluutiota on ajanut kognitiivisten kykyjemme nykyisenkaltainen käyttö. Kielestä ja työkaluista on hyötyä vasta kuin eliö osaa niitä käyttää – kuitenkin valinta on todennäköisesti suosinut ominaisuuksia, joille nämä taidot perustuvat ennen niiden nykyisen käyttötarkoituksen kehittymistä, toisin sanoen ominaisuuksilla on ollut preadaptaatiot (Seyfarth & Cheney 2005, Hauser ym. 2007).

Jos sosiaalisuuteen liittyvät valintapaineet ovat ohjanneet sekä ihmisen että muiden kädellisten evoluutiota, herää kysymys, miksi ihmisen erityispiirteitä ei ole kehittynyt muilla kädellisillä? Tämän kysymyksen vastaukseksi on tarjolla ainakin kolme teoriaa.

Herrmann kollegoineen (2007) ehdottaa, että ihmisten tapauksessa sosiaalinen älykkyyks olisi vahvasti sidoksissa kulttuurin omaksumiseen ja eteenpäin välittämiseen. Kun ihmisen kulttuuri on kehittynyt, on siitä tullut yhä tärkeämpi tekijä yksilön menestymiselle. Samalla valintapaineet sellaisten sosiaalisten kykyjen kehittymiselle jotka mahdollistivat kulttuurin yhä tehokkaamman omaksumisen (kuten mielen malli ja kieli), kasvavat. Kulttuuri ja ihmisen sosiaalinen kognitio olisivat siten yhteisevoluutiossa kehittyneet ominaisuudet. Tämän selityksen ongelma on, että se ei esitä selitystä miksi ihmisen kulttuuri alkoi kehittyä simpanssien kulttuuria nopeammin. Kuitenkin, ainakin suuren hyppäyksen jälkeisellä ajalla Herrmannin hypoteesi tuntuu uskottavalta ja on todennäköisesti osatekijä lajimme viimeaikaista kehitystä.

Toinen selitys, miksi sosiaaliset valintapaineet olisivat olleet ihmisen kehityslinjassa muita kädellisiä voimakkaammat, on Richard Alexanderin (1989) esittämä ja Flinnin ja kumppaneiden (2005) eteenpäin kehittämä ekologisen dominanssin malli. Tämän hypoteesin mukaan esi-isiemme teknologia ja kyky yhteistyöhön alkoi jo varhain evoluutiossamme

merkittävästi vähentää lajiimme kohdistuvia ekologistia valintapaineita. Tulen ja keihäiden käytön oppimisen myötä petoeläimet eivät enää olleet vakava uhka esi-isillemme ja ravinnon hankinta tuli tehokkaammaksi. Tästä syystä esi-isiemme pääasialliseksi valintapaineiksi nousivat kilpailu oman lajin edustajien kanssa sekä ryhmän sisällä että eri ryhmien välillä. Erityisesti ryhmien välisen kilpailun merkitys kelpoisuudelle oli merkittävä ja sotimisesta aiheutuva kuolleisuus on todennäköisesti ollut esihistoriallisella ajalla riittävän suurta, jotta se on toiminut valintapaineena sotamenestystä tuottavien ominaisuuksien kehittymiselle (Bowles 2009). Tällaisessa lajin sisäisessä kilpailussa tärkeää on suhteellinen, ei absoluuttinen älykkyys. Tärkeää on olla kilpailijaansa älykkäämpi ja tämän vuoksi valinta suosii älykkyyden jatkuvaa kasvua. Ekologiset valintapaineet sen sijaan suosivat vain tarpeeksi hyvän ratkaisun kehittymistä käsillä olevaan ongelmaan ja riittävän kognitiivisen kapasiteetin kehittymisen jälkeen valinnan voimakkuus vähenee. Siten ekologisen dominanssin mallin mukaan vähäiset ekologiset valintapaineet ja ankara kilpailu lajin sisällä aiheuttivat valintapaineen sosiaaliselle älykkyydelle ja Flinnin (2005) mukaan myös monille muille ihmisen lajityypillisille piirteille.

Ekologisen dominanssin malli toimii ainakin nykyaikana. Modernin länsimaisen ihmisen lisääntymismenestykseen ekologisilla tekijöillä on häviävän pieni vaikutus ja tämä tosiasia tekee mallista on uskottavan teorian. Avoimeksi kuitenkin jää, miten esi-isämme alunperin saavuttivat muista ihmisapinoista poikkeavan ekologisen dominanssin asteen.

Edellä esitetyt hypoteesit ovat mahdollisia selittäviä tekijöitä ihmisen poikkeuksellisten sosiaalisten kykyjen kehitykselle. Teoriat eivät kuitenkaan ota kantaa siihen, miksi kulttuuri tai ekologinen dominanssi alunperin kehittyi. Voi olla, että uskottavan hypoteesin esittäminen tämän kysymyksen ratkaisuksi on nyky menetelmillä ja aineistolla mahdotonta.

Konservatiivinen hypoteesi on, että satunnaiset mutaatiot ovat olleet avainasemassa lajiimme erotessa simpanssien kehityslinjassa, *Homo*-suvun ilmaantuessa ja suuren hyppäyksen tapahtuessa. Näiden muutosten ei kuitenkaan ole tarvinut olla suuria makromutaatioita jos oletamme, että ne ovat olleet hienovaraisia säätelygeenimuutoksia ja kaikilla uusilla ominaisuuksilla on ollut preadaptaatio. Nämä preadaptaatiot ovat todennäköisesti olleet sosiaalisten valintapaineiden kehittämä.

3.2 Komputaationaalinen mielenteoria

Termiä kognitiivinen kyky on tähän asti tutkielmassa käytetty naturalistisesti, ottamatta kantaa näiden kykyjen täsmälliseen olemukseen. Voidaksemme käsitellä tarkemmin kädellisten kognitiivisia prosesseja ja ihmisen erityispiirteitä, on kognitiivisten kykyjen olemus kuitenkin määriteltävä. Kognitiotieteen sekä psykologian eri suuntaukset lähestyvät mielen selittämistä eri näkökulmista ja eri filosofisten traditioiden pohjalta. Oltaessa kiinnostuneita kielestä ihmisen erityispiirteestä ja komparatiivisesta kognition tutkimuksesta on kognitiotieteen klassinen teoria, komputationalismi, kuitenkin varteenotettavin lähestymistapa. Tutkielmassa sitoudutaankin komputaationaaliseen mielenteoriaan kognitiivisten kykyjen selittämisen viitekehyksenä. Tässä luvussa tutustutaan komputationalismiin teoriana, ajattelun kielen hypoteesiin ja komputationalismiin pohjaavaan tapaan lähestyä ihmisen kielen olemusta ja evoluutiota.

3.2.1 Komputationalismi teoriana

Komputaationaalinen mielenteoria eli komputationalismi on kattokäsite joukolle mielenfilosofisia teorioita, jotka näkevät mielen järjestelmänä joka representoi tietoa ja käsittelee sitä laskennallisesti. Tämän näkemyksen mukaan aivoissa on sisäisiä tiloja, jotka edustavat tietoa, ja prosesseja, joilla näitä tiloja voidaan manipuloida toisten tilojen aikaansaamiseksi. Sekä aivojen sisäiset tilat, että niitä manipuloivat prosessit toteutuvat fysikaalisesti hermoston rakenteessa. Järjestelmää, joka representoi ja käsittelee tietoa algoritmisesti ja jolla on fysikaalinen toteutus kutsutaan fysikaaliseksi symbolisysteemiksi ja aivojen lisäksi tietokoneet ovat tämänkaltaisia järjestelmiä (Newell & Simon 1976). Alan Turing osoitti 1930-luvulla (Turing 1936), että fysikaalisen symbolisysteemin kaltainen järjestelmä pystyy representoimaan ja ratkaisemaan minkä tahansa algoritmisesti ratkaistavissa olevan ongelman. On todennäköistä, että suurin osa tai mahdollisesti kaikki ihmisen kognitiiviset kyvyt on mahdollista toteuttaa algoritmisesti ratkaistavina ongelmina. Siten on uskottavaa, että aivojen olemus voi olla jonkinlainen fysikaalinen symbolisysteemi. On kuitenkin kognitiivisia kykyjä, esimerkiksi tietoisuus ja intentionaalisuus, joiden komputaationaalinen selittäminen vaikuttaa hyvin vaikealta. Komputationalismi heikossa

muodossaan kuitenkin hyväksyy, että vaikka komputationaalinen tiedonkäsittely näyttää merkittävää osaa kognitiossa, voi aivoissa olla myös muilla mekanismeilla toteutuvia kykyjä. Komputationaalinen prosessointi on siten välttämätön, muttei välttämättä riittävä ehto mielen toiminnalle. (Piccini 2009.)

Seuraavaksi määritellään kaksi oleellista termiä, jotka liittyvät komputationalismiin ja kognitiivisiin kykyihin. Nämä ovat representaatio ja komputationaalinen prosessi.

Representaatiolla tarkoitetaan jonkin asian esitystä mielessä, mentaalista symbolia, joka liittyy ulkomaailman olioön. Esimerkiksi jos Matti kuulee rakastettunsa Maijan äänen kulkiessaan kaupungilla, hänen mielessään aktivoituu representaatio Maijasta. Representaatio sisältää tiedon mm. rakastamisesta ja voi vaikuttaa Matin käyttäytymiseen – hän saattaa alkaa esimerkiksi etsiä Maijaa lähiympäristöstään. Myös Maijan näkeminen tai ajatteleminen aiheuttaa Matissa Maijan representaation aktivoitumisen. Oleellista on, että Matti pystyy toimimaan representaationsa pohjalta – hän voi käsitellä Maijaan liittyvää tietoa ilman, että Maija on läsnä. (Brattico 2008, Piccini 2009.)

Representaatio on löyhästi määritelty käsite. Sekä yksittäisen sanan että kokonaisen kaupungin kartan voidaan sanoa olevan representaatio, vaikka näiden asioiden muistiedustusten modaaliteetti ja laajuus ovat hyvin erilaiset. Lisäksi representaatioiden implementoituminen aivoissa on avoin kysymys. Representaation käsite on kuitenkin psykologiassa yleisesti hyväksytty ja ihmisten uskotaan käsittelevän tietoa tällaisten tietuedustusten avulla. Komputationalistisessa viitekehyksessä representaatiot ovat tietuedustuksia, joita voidaan tuottaa ja manipuloida komputationaalisilla prosesseilla. (Cheney & Seyfarth 2008a.)

Komputationaalisella prosessilla tarkoitetaan aivojen kykyä käsitellä tietoa tietyllä tavalla ja käytän termiä tässä tutkielmassa laajassa merkityksessä kuvaamaan sellaisia hermostollisia rakenteita, jotka mahdollistavat tiedon käsittelyn tietyllä, säännönmukaisella tavalla. Koska komputationaalisella prosessilla on fyysinen toteutus aivoissa, on se fenotyypin ominaisuus,

jolla on geneettinen pohja. Siksi on perusteltua sanoa, että valinta voi suosia tietynlaista komputationaalista prosessia.

Esimerkki komputationaalisesta prosessista on ihmisen kielen ominaisuus, jota kutsutaan referentiaalisuudeksi. Referentiaalisuus tarkoittaa, että kielessä on mahdollista viitata asiaan, joka on yksilön ulkopuolella, eikä välttämättä läsnä. Sana paviani viittaa lajiin vanhan maailman apinoita, jotka todennäköisesti eivät ole paikalla kun lukija lukee sanan, mutta herättää kuitenkin lukijassa representaation pavianeista. Referentiaalisuus on siten komputationaalinen prosessi, jolla pystytään liittämään representaatio kielelliseen symboliin. (Brattico 2008.)

Referentiaalisuus on yksi ihmisen kieltä määrittävistä tekijöistä, mutta sen lisäksi kieleen vaikuttavat monet muut komputationaaliset prosessit, kuten kompositionaalisuus ja generatiivisuus. Kognitiivinen kyky luonnollinen kieli voidaankin nähdä monen alajärjestelmän yhteisvaikutuksesta syntyvänä kokonaisuutena. Millään muulla lajilla ei ole kiellemme kaltaista järjestelmää, mutta se ei tarkoita, etteikö muilla lajeilla voisi olla osaa kielen taustalla vaikuttavista komputationaalisista prosesseista (Hauser, Chomsky & Fitch 2002). Viime aikoina eläinten käyttäytymisen tutkimuksessa onkin alettu käyttää komputationalismia muistuttavaa lähestymistapaa kognitiivisten kykyjen tutkimiseen. Tästä näkökulmasta ei ole erityisen kiinnostavaa miten esimerkiksi eläinten kommunikaatiojärjestelmä kokonaisuutena poikkeaa ihmisen kielestä. Sen sijaan oleellista on, mitä komputationaalisia prosesseja eläinten toiminnan taustalla näyttää olevan (Hauser, Barner & O'Donnell 2007). Luvussa 3.3 palaamme tähän ajatukseen.

Vaihtoehtona komputationalismille on tavattu pitää konnektionismia. Konnektionismi esittää, että hermoverkkojen assosiativiset yhteydet saavat aikaan aivojen tiedonkäsittelyn. Sen sijaan, että aivoissa olisi komputationaalisia, algoritmisia prosesseja, tiedonkäsittely tapahtuu assosiativisesti ärsykkeeseen tuottaessa tietynlaisen aktivaatiokuvion hermoverkoissa. Nykyään konnektionismia ja komputationalismia ei yleensä esitetä vastakkaisina näkemysinä, vaan konnektionismia pidetään implementaatiotason teoriana, joka on yhteensopiva komputationalismin kanssa. (Medler 1998.)

3.2.2 Komputationalismi ja komparatiivinen tutkimus

Komputationalismi on mielen tutkimuksen historiassa ollut tärkeä osa kognitiivista vallankumousta, joka tapahtui viime vuosisadan keskivaiheilla. Tällöin näkemys ihmisestä aktiivisesti tietoa käsittelevänä olentona, jonka mentaaliset tilat vaikuttavat käyttäytymiseen syrjäytti behavioristisen näkemyksen ihmisestä täysin ympäristön ärsykkeiden ajamana olentona. Radikaaleimmillaan behaviorismi kielsi kokonaan korkeiden kognitiivisten prosessien kuten representaatioiden tai tietoisuuden olemassaolon. Tieteellisesti behaviorismilla oli pätevät syyt tällaiseen linjavetoon: korkeita kognitiivisia prosesseja, toisin kuin ehdollistumista, ei voitu objektiivisesti tutkia tai todentaa. Tämän vuoksi vaikutti perustellulta kieltää niiden olemassaolo tai jättää ne ainakin tieteellisen tutkimuksen ulkopuolelle. Behaviorismi kaatui selitysvoiman puutteeseen näiden korkeiden kognitiivisten kykyjen selittäjänä. Objektiivisesti voitiin todentaa, että ihmisillä oli generatiivinen kieli ja valtaosa tutkijoista uskoi myös tietoisuutensa olemassaoloon. Behaviorismi ei kyennyt tarjoamaan tällaisille ilmiöille tyydyttäviä selityksiä.

Behaviorismin lisäksi on toinenkin tapa selittää älykästä toimintaa, olettamatta monimutkaisesta tiedonkäsittelyä. Tämä tapa on assosiationismi, antiikin Kreikan ajoilta peräisin oleva näkemys, jonka mukaan älykästä toimintaa voidaan kuvata mekaanisesti assosiaatioiden ketjuna. Assosiativisten mallien perusajatus on, että asia X aiheuttaa asian Y joka aiheuttaa Z ja niin edelleen. Toisin kuin behaviorismissa, assosiativisten olentojen olemusta ei ole määritetty tiukasti ei-mentaaliseksi ja assosiativisessa ketjussa voi olla takaisinkytkentöjä ja haaraumia. Assosiationismia on hyödynnetty mm. konnektionismissa ja kielen tutkimuksessa. Kielen tutkimuksessa on käynyt ilmi, että assosiativiset mallit ovat matemaattisesti heikompia kuin komputationaaliset, eivätkä ne pysty selittämään luonnollisen kielen kykyä tuottaa käytännössä loputtomasti erilaisia lauseita. Tämä johtuu siitä, että assosiativisessa mallissa ilmiön monimutkaisuus heijastuu vaadittavien assosiaatioiden määrään. Koska assosiaatiot ovat fyysisesti toteutuneita hermostossa, luonnollisen kielen kyky tuottaa loputtomasti erilaisia sanojen kombinaatioita vaatisi siten valtavan suuret aivot. Jo melko pienestä määrästä sanoja tai muita vapaasti yhdisteltäviä yksiköitä syntyy erittäin suuri määrä mahdollisia kombinaatioita. (Brattico 2008.)

Tämän tutkielman kannalta merkittävin assosiationismin muoto on assosiatiivinen oppiminen. Tällä tarkoitetaan oppimista, jossa olio tuottaa ärsykkeeseen reaktion, joka on siihen assosioitunut joko kokemuksen tai geneettisen valmiuden pohjalta. Koska assosiatiivinen oppiminen sallii takaisinkytkennät ja haarautumisen, voidaan sillä selittää monimutkaisempaa käyttäytymistä kuin ehdollistumisella, mutta assosiatiiviseen oppimiseen perustuva käyttäytyminen ei vaadi komputationaalisuutta tai korkeita kognitiivisia kykyjä (Barret 2007 ym.). Koska assosiatiivisella oppimisella voidaan selittää monimutkaistakin käyttäytymistä, voidaan kaikelle eläinten toiminnalle tarjota selitykseksi assosiatiivisia malleja.

Eläinten käyttäytymisen tutkimusta, joka vetoaa kognitiivisiin prosesseihin ja komputationalismiin onkin kritisoitu antroposentriseksi eläinten inhimillistämiseksi. Koska eläimillä ei ole kieltä emmekä voi todentaa niiden tietoisuutta tai muita mentaalisia kokemuksia, voidaan argumentoida, ettei eläinten käyttäytymistä pitäisi selittää kognitiivisilla termeillä. Näiden sijaan eläimiä pitäisi tutkia yksinomaan assosiatiivisen oppimisen, ehdollistumisen ja geneettisten käyttäytymisohjelmien pohjalta toimivina olioina. Tällaisen lähestymistavan puolesta ovat viime aikoina argumentoineet Louise Barret (2007), Derek Penn (2008) ja heidän kollegansa.

Kritiikki antroposentrisyydestä on kiistaton. Kaikessa tutkimuksessa tutkijan oma kokemus maailmasta vaikuttaa tutkimuskysymyksiin, ja jollei myös suoraan tuloksiin, niin ainakin niiden tulkintaan. Kädellisten kognition tutkimuksessa antroposentrisyyden vaikutus voi olla suurempi kuin luonnontieteissä, koska kädelliset muistuttavat tutkijoitaan niin paljon. Tähän yhteneväisyyteen perustuu kuitenkin myös eläinten kognitiivisen tutkimuksen paras puolustus: muut kädelliset eivät muistuta ihmistä sattumalta – lajimme ovat evolutiivisesti hyvin lähellä toisiaan. Geneettisten ja kehityshistoriallisten faktojen valossa voidaan perustellusti pitää samankaltaisuuttamme nollahypoteesina ja erojamme selitystä vaativina poikkeamina. Vaihtoehto, että kaikki muut eläimet ovat vain assosiatiivisen oppimisen pohjalta toimivia olioita ja ihminen on ainoa kognitiivinen laji, ei ole lainkaan parsimoninen. Tällaisten väitteiden esittäjillä tulisi olla todistusvastuu selittää, miksi ihmisen evoluutio ja aivojemme toiminta poikkeaisivat niin totaalisesti kaikista muista eläimistä. (Cheney & Seyfarth 2008a, De Waal 2007, Dunbar 2007, Hauser ym. 2002.)

3.2.3 Ajattelun kieli -hypoteesi

Komputationaalinen mielenteoria esittää, että aivot representoivat tietoa ja komputationaaliset prosessit manipuloivat näitä representaatioita. Computationalismista siten seuraa, että aivoissa on jokin järjestelmä, jossa representaatiot esitetään ja niitä voidaan manipuloida. Jerry Fodor (1975) esitti 1970-luvulla vaikutusvaltaisen hypoteesin, että tämä representationaalinen järjestelmä on ominaisuuksiltaan luonnollisen kielen kaltainen, ajattelun kieli (language of thought, LOT). Kuten luonnollinen kieli, LOT on järjestelmä, joka sisältää systemaattisen ja kombinatorisen syntaksin, jonka avulla primitiivisiä representaatioita voidaan yhdistellä monimutkaisempien representaatioiden tuottamiseksi. LOT:in syntaksi myös määrää, miten erillisistä representaatioista voidaan koostaa "lauseita", joilla on osiensa suhteista riippuva merkitys. Vaikka LOT onkin kielen kaltainen järjestelmä, se on Fodorin mukaan puhutuista kielistä erillinen, todennäköisesti geneettisesti määräytyvä ja siten kaikilla ihmisillä samankaltainen kieli. Mikään puhuttu kieli ei vastaa suoraan LOT:ia, mutta puhuttujen kielten yhteiset piirteet, kuten kombinatorisuus ja systemaattisuus johtuvat siitä, että puhujan ajattelu perustuu LOT:iin. (Fodor 1975.)

Ajattelun kielen hypoteesin voidaan esittää koskevan kaikkea tiedonkäsittelyä tai ainoastaan ajattelua. Hypoteesia on ensisijaisesti sovellettu propositionaalisten ajatusten selittämiseen. Propositionaalisella ajatuksella tarkoitetaan olion sisäisiä tiloja, joissa tämä esimerkiksi uskoo tai toivoo jonkin asian olevan tietyllä tavalla. Tällaiset lauseet ovat muotoa $S A P$, jossa S on lauseen subjekti, A asenne, joka subjektilla on ja P mikä tahansa lause, mitä asenne koskee. Esimerkiksi lause: "Sylvia uskoo perheensä arvovalta vähentyvän" on propositionaalinen lause, jossa S on Sylvia, A on uskoo ja P on perheen arvovalta vähenee. LOT-hypoteesin mukaan S ja P ovat representaatioita ja A on komputationaalinen relaatio, jolla voidaan tuottaa representaatioista S ja P lause, jonka merkityksen A määrittää. Toisin sanoen ajattelun kielessä on sääntöjä, joilla voidaan yhdistellä representaatioita uusien, merkitykseltään osistaan poikkeavien representaatioiden tuottamiseksi. Nämä tuotetut representaatiot voivat ohjata käyttäytymistä tai niistä voidaan luoda uusia representaatioita. (Fodor 1975, 1983)

Kuten koko komputationaalinen mielenteoria, myös ajattelun kielen hypoteesi on kehitetty teoriaksi ihmisen kognitiosta. Koska LOT muistuttaa rakenteeltaan puhuttuja kieliä, on sen ominaisuuksista mahdollista tehdä päätelmiä tutkimalla puhutun kielen ominaisuuksia. Tämä logiikka pätee kognition tutkimuksessa yleisemminkin: puhuttu kieli heijastelee ihmisten kognitiota ja sitä tutkimalla voidaan tehdä päätelmiä mielen toiminnasta (Brattico 2008). Jos hyväksymme ajatuksen, että komputationalistista lähestymistapaa voi hyödyntää eläinten kognition tutkimuksessa ja ihminen voi jakaa osan komputationaalisista prosesseistaan muiden eläinten kanssa, myös ajattelun kielellä saattaa olla vastine eläinmaailmassa. Vaikka Fodor ei ollut kiinnostunut eläinten tutkimuksesta, hän itseasiassa piti ajatusta kognitiosta ja ajattelun kielestä eläimillä triviaalisti totena (Fodor 1975, s.56). Luvussa 3.3 perehdymme Cheney ja Seyfarthin (2008a) tuoreeseen väitteeseen, että ihmismäinen ajattelun kieli olisi itseasiassa ainakin kädellisten yleinen ominaisuus, jonka ihminen on perinyt muiden kädellisten kanssa yhteiseltä kantamuodolta.

3.2.4 Ihmisen kielen evoluutio

Ennen kuin voimme perehtyä kädellisten kommunikaatioon ja ihmisen erityispiirteisiin, tulee huomio kiinnittää tarkemmin ihmisen ehkä merkittävimpään kognitiiviseen kykyyn, luonnolliseen kieleen. Ihmisen käyttämä kieli poikkeaa muualla luonnossa esiintyvistä kommunikaatiojärjestelmistä sekä kvantitatiivisesti että kvalitatiivisesti. Keskivertoihmisen sanavarasto sisältää kymmeniätuhansia sanoja ja näitä voidaan yhdistellä tuhansien sääntöjen mukaisesti loputtoman moniksi yhdistelmiksi. Muiden eläinten kommunikaatiossa mahdollisia signaaleja on vain muutamia eikä niitä juurikaan yhdistellä toisiinsa. Kvalitatiivisesti ihmisten sanojen mahdolliset abstraktit tai metatason merkitykset ja lauseiden muodostamista ohjaava kieliooppi ovat monimutkaisuudeltaan ja joustavuudeltaan aivan omaa luokkaansa. Linnuilla ja delfiineillä on jonkinlaisia kommunikaatiota ohjaavia sääntöjä, mutta niiden monimutkaisuus ja käyttötiheys eivät vastaa lainkaan ihmisen kieltä. (Fisher & Marcus 2005, Brattico 2008.)

Kieli on siten yksi nykyihmisen erityispiirteistä. Se on lajillemme uniikki, ja välttämätön nykyisen korkeateknologisen elämäntapamme olemassaololle. Kieli ei kuitenkaan ole yhtenäinen, selvästi rajattavissa oleva ominaisuus. Itseasiassa se koostuu useista alajärjestelmistä. Marc Hauser, Noam Chomsky ja Tecumseh Fitch (2002, 2005) ovat esittäneet, että kielikyvyn taustalla täytyy olla kolme toisistaan poikkeavaa alajärjestelmää. Nämä järjestelmät ovat sensoris-motorinen, konseptuaalis-intentionaalinen ja komputationaalinen alajärjestelmä.

Sensoris-motorinen järjestelmä sisältää kielen havaitsemiseen ja tuottamiseen vaadittavat kyvyt, konseptuaalis-intentionaalinen järjestelmä vastaa semanttisen sisällön liittämistä kielen syntaksiin ja komputationaalinen järjestelmä sisältää ne komputationaaliset prosessit, jotka mahdollistavat syntaksin. Yhdessä näitä järjestelmiä kutsutaan kielikyvyksi (faculty of language) laajassa mielessä, ja ne kaikki ovat välttämättömiä nykyihmisen kielelle. Hauser kollegoineen (2002, 2005) kuitenkin argumentoi, että kielikyky laajassa mielessä ei ole ainoastaan ihmisen ominaisuus, vaan jopa suurin osa siitä voi perustua muiltakin eläimiltä löytyviin kognitiivisiin kykyihin. Jokin osa kielikyvystä laajassa merkityksessä kuitenkin löytyy vain nykyihmiseltä, koska kielemme on uniikki. Tätä osaa kielikyvystä kutsutaan kielikyvyksi kapeassa merkityksessä ja Hauserin ja kumppaneiden (2002, 2005) mukaan se saattaa sisältää vain komputationaalisen järjestelmän, osan tästä järjestelmästä, tai jopa paljastua tyhjäksi. Merkittävin komputationaalinen prosessi, joka todennäköisesti kuuluu kielikykyyn suppeassa merkityksessä on rekursio. Rekursiolla tarkoitetaan kognitiivisessa viitekehyksessä mentaalisen prosessin kykyä käyttää omaa tulostettaan uutena syötteenään (Brattico 2010). Nykyihmisen kyky tuottaa käytännössä loputtomasti kielellisiä ilmauksia perustuu lauseiden upottamiseen toistensa sisään. Tämä kyky ei ole selitettävissä assosiatiivisilla malleilla, vaan se vaatii rekursion (Brattico 2010, Chomsky 1957).

Ihmisellä komputationaalinen kyky rekursioon on todennäköisesti kielen lisäksi myös muissa modaaliteeteissa esiintyvän luovuuden taustalla. Teknologiamme ja taiteemme koostuu samojen osien erilaisista yhdistelmistä. Rekursio on siten todennäköisin generatiivisuuden taustalla vaikuttava komputationaalinen prosessi ja oleellinen ihmisen erityispiirteiden selittäjä. (Brattico 2010, Hauser 2009.) Rekursion esiintymistä eläinkunnassa on tutkittu

esittämällä eläimille äänisarjoja, joiden taustalla olevan säännön oppimiseen vaaditaan kykyä rekursioon, sekä äänisarjoja joiden oppiminen ei vaadi rekursiota. Valkotöyhtötamariini (*Saguinus oedipus*), joka kuuluu uuden maailman apinoihin, ei pystynyt erottamaan tällaisia äänisarjoja toisistaan mikä on osoitus, että ainakaan kaikki kädelliset eivät kykene rekursiiviseen prosessointiin (Fitch & Hauser 2004). Sen sijaan Suomessakin yleinen laululintu kottarainen (*Sturnus vulgaris*) pystyi intensiivisen harjoittelun jälkeen erottamaan rekursiivisen äänisarjan ei-rekursiivisesta (Gentner ym. 2006). Rohkea tulkinta tästä tuloksesta olisi, että tietynlainen kommunikaatiotapa toimii valintapaineena rekursiivisen komputationaalisen prosessin kehittymiselle. Ehkä ihmisen esi-isät ovat olleet laululintujen tapaan hyvin ahkeria kommunikoimaan jo ennen kuin nykyisenkaltainen kieli on kehittynyt. Joka tapauksessa mahdollinen kyky rekursiiviseen prosessointiin linnuissa on analoginen, ei homologinen ominaisuus. Ominaisuuden analogisuutta alleviivaa se tosiasia, ettei linnuilla ole lainkaan neokorteksia, aivojen rakennetta, jonne ihmisen kielikyky vaikuttaa lokalisoituvan (Brattico 2008).

Nykyihmisen kielikyky on yksi hänen määrittävimmistä piirteistään, mutta on mahdollista että suuri osa sen taustalla vaikuttavista järjestelmistä esiintyy jossakin muodossa muualla eläinkunnassa. Komputationaaliset prosessit, joita nykyihminen käyttää kielikykyyn, voivat esiintyä muilla eläimillä eri käyttötarkoituksessa tai eri yhdistelminä. Soveltamalla komputationaalista mielenteoriaa ja hypoteesia ihmisen kielen alajärjestelmistä kädellisten tutkimukseen on mahdollista lähestyä lajimme erojen määrittelyä uudella, hedelmällisellä tavalla. (Cheney & Seyfarth 2005, Fisher & Marcus 2005, Hauser, Chomsky & Fitch 2002, 2005.)

3.3 Kädellisten kognitiiviset kyvyt

Komparatiivinen tutkimus oman lajimme ja muiden kädellisten välillä on ainoa tapa selvittää, mitkä kognitiiviset kykymme todella ovat erityispiirteitämme ja mitkä niistä jaamme muiden kädellisten kanssa. Hyödyntämällä komputationaalista näkökulmaa eläinten tutkimuksessa, on lajimme yhtäläisyyksistä ja eroista muihin eläimiin alettu saada uudenlaista tietoa. Vaikka

tässä tutkielmassa olemme kiinnostuneita komparatiivisesta tutkimuksesta nimenomaan nykyihmisen evoluution kannalta, on tieto kädellisten ja muiden eläinten kognitiivisista kyvyistä merkityksellistä jo itsessään. Tiedämme jo, kuinka pieni geneettinen ero muuhin isoihmisapinoihin on ja jos tuntisimme tarkemmin näiden eläinten kognitiivisen kapasiteetin, voisi lähisukulaistemme asianmukaisesta kohtelusta ja suojelusta tulla nykyistä paljon arvostetumpi hanke.

Tässä luvussa tutustutaan tuoreisiin tutkimuksiin kädellisten kognitiivisista kyvyistä. Pääosassa on Dorothy Cheney'n ja Robert Seyfarthin laaja paviaanien seurantatutkimus, jonka pohjalta he ovat tehneet rohkeita väitteitä paviaanien ja yleisesti kädellisten kognitiosta. Aloitamme tutustumalla tämän tutkimuksen taustaan ja paviaanien elämäntapaan. Seuraavaksi esitellään Cheney'n ja Seyfarthin tulokset ja lopuksi tutustutaan muuhun kädellisillä tehtyyn tutkimukseen.

3.3.1 Paviaanien elämäntapa ja tutkimus

Cheney'n ja Seyfarthin tutkimukset paviaaneilla ovat laajuutensa ja komputationaalisen näkökulmansa vuoksi keskeisessä asemassa seuraavissa luvuissa. Näiden tutkimusten ymmärtämistä helpottaa pohjatietämys paviaaneista lajina ja metodeista, joilla niitä tutkitaan. Paviaanit, suku *Papio*, ovat Afrikassa eläviä vanhan maailman apinoita. Siten ne ovat ihmiselle kaukaisempaa sukua kuin ihmisapinat ja läheisempää sukua kuin uuden maailman apinat ja puoliapinat. Ihmiseen ja ihmisapinoihin johtaneen kehityslinjan arvioidaan eronneen vanhan maailman apinoihin ja paviaaneihin johtaneesta linjasta n. 30 miljoonaa vuotta sitten (Steiper & Young 2006). Verrattaessa ihmistä paviaanin kaltaiseen, hiukan kaukaisempaa sukua olevaan lajiin, on tärkeää ymmärtää että paviaani ei ole ihmisen alkeellisempi muoto. Se on laji joka on käynyt viimeisten vuosimiljoonien aikana läpi oman evoluutionsa ja sopeutunut erilaiseen elämäntapaan kuin ihminen tai yhteinen kantamuotomme (Cheney & Seyfarth 2008a). Tästä huolimatta on perustelua olettaa, että ihmisen ja paviaanin yhteiset ominaisuudet ovat periytyneet molemmille lajeille niiden yhteiseltä kantamuodolta, sen sijaan että kyseessä olisi analoginen evoluutio.

Vaikka paviaanit eivät ole ihmiselle yhtä läheistä sukua kuin ihmisapinat, on niillä useita ominaisuuksia, jotka tekevät niiden tutkimisesta mielekäästä. Ensinnäkin paviaanit elävät suurissa, jopa sadan yksilön laumoissa, joissa asuu yhtä aikaa useita aikuisia uroksia ja naaraita. Tämän vuoksi paviaanien sosiaalinen ympäristö on hyvin monimutkainen ja ne soveltuvat hyvin sosiaalisen älykkyyden hypoteesin tutkimukseen. Toiseksi, paviaanit eivät ole uhanalaisia ja niitä elää useissa erilaisissa ympäristöissä. Savannimaisessa ympäristössä elävien paviaanin tutkiminen on helpompaa kuin sademetsässä asuvien ihmisapinoiden. (Cheney & Seyfarth 2008.)

Cheney ja Seyfarth (2008a) ovat tutkineet Okavangon suistossa Botswanassa luonnonvaraisena eläviä paviaaneja (*Papio hamadryas ursinus*) vuodesta 1992 alkaen. Tätä ennen samaa laumaa oli seurattu vähemmän systemaattisesti jo 14 vuotta, joten kaikki lauman yksilöt olivat tottuneet ihmisen läsnäoloon syntymästään asti. Cheney ja Seyfarthin seurantalutkimukseen kuului lauman eläinten päivittäinen laskeminen, yksilöiden seuraaminen ja ääntelyn nauhoittaminen sekä viikoittaiset testosteroni- ja glukokortisonimittaukset eläinten ulosteista. Eläinten seuraaminen niiden luonnollisessa ympäristössä on kognition tutkimuksen kannalta oleellista. Paviaanien tapauksessa ei olisi mahdollista tehdä päätelmiä niiden sosiaalisen kognition laajuudesta seuraamalla vain muutamaa yksilöä. Keinotekoinen ympäristö ei myöskään tee oikeutta eläinten älykkyydelle. Laboratoriossa voidaan testata eläinten kykyä ratkaista spesifisiä ongelmia, mutta jää epäselväksi mihin eläimet kognitiivisia kykyjään todellisuudessa käyttävät. (Cheney & Seyfarth 2008a.)

Paviaanien elämä luonnossa koostuu ruuan etsimisestä, syömisestä, saalistajien välttelystä ja suuresta määrästä sosiaalisia kohtaamisia toisten yksilöiden kanssa. Kaikki paviaanien toiminta tapahtuu laumassa ja niiden kyky hankkia ravintoa ja puolustautua ovat riippuvaisia laumaan kuulumisesta. Paviaanien sukupuolet erottuvat selvästi toisistaan: urokset ovat suurempia ja niillä on seksuaaliseen kilpailuun liittyviä adaptaatioita, kuten harja ja suuret kulmahampaat. Myös sukupuolten rooli laumassa on varsin erilainen. Lauman ytimen muodostavat naarat, jotka syntyvät ja kuolevat samassa laumassa. Urokset vaeltavat nuorina laumasta toiseen ja niiden määrä laumassa on naaraita pienempi ja vaihtelee jatkuvasti. Toisen

sukupuolen vaeltaminen pois syntymälaumastaan on tyypillinen laumaeläinten ominaisuus. Se on adaptiivista, koska se lisää laumojen geneettistä vaihtelua.

Lauman sisällä eläimillä on tarkka arvojärjestys. Urosten kesken on oma järjestyksensä, jonka ratkaisevat yksilöiden väliset teatraaliset, mutta harvoin väkivaltaiseksi yltyvät kilpailut. Urosten järjestys voi vaihdella päivästä toiseen, mutta se vaikuttaa aina olevan selvä lauman kaikille jäsenille. Vain korkea-arvoisimmat urokset pääsevät parittelemaan ja siksi menestyksellä urosten välisessä kilpailussa on suuri merkitys uroksen kelpoisuudelle. Suuren kokonsa vuoksi urokset ovat naaraita korkeammalla arvojärjestyksessä. Naaraiden arvojärjestyksessä on kaksi ulottuvuutta. Ensinnäkin naaraat jakautuvat perhekuntiin, joilla on oma järjestyksensä. Korkea-arvoiseen perheeseen syntyvä yksilö on "synnyinoikeutenaan" kaikkia alempiarvoisiin perheisiin kuuluvia yksilöitä korkeammalla arvojärjestyksessä. Lisäksi perheiden sisällä yksilöillä on oma järjestyksensä, jonka määrää suurimmaksi osaksi yksilön ikä. Nuoremmat sisarukset asettuvat aikuistuttuaan vanhempia sisaruksiaan korkeammalle, mutta äitinsä alapuolelle. Toisin kuin uroksilla, naarailla yksilön fyysisellä kunnolla ei ole juurikaan tekemistä arvoaseman kanssa. Naaraiden arvojärjestys on hyvin stabiili. Perheiden välinen arvojärjestys saattaa pysyä muuttumattomana vuosikymmeniä. Koska naaraiden sosiaalinen elämä on monimutkaisempaa ja stabiilimpaa kuin urosten, suurin osa paviaanien sosiaalista tietoutta koskevista kokeista on tehty nimenomaan naaraille. (Cheney & Seyfarth 2008a.)

Paviaanien elämä sisältää runsaasti sosiaalisia tilanteita, joissa arvojärjestys määrää eläinten käyttäytymisen. Esimerkiksi alempiarvoisen apinan tulee väistyä korkea-arvoisemman tieltä ruokapaikalla. Jollei näin tapahdu, korkea-arvoinen käyttäytyy uhkaavasti alempiarvoista kohtaan ja tämän tulee ilmaista alistumisensa. Jollei alempiarvoinen apina sittenkään käyttäydy asemansa vaatimalla tavalla, seuraa eläinten välillä fyysinen yhteenotto. Näissä avoimissa konflikteissa toisen korkea-arvoisemman yksilön avuksi saattaa tulla tämän sukulaisia tai muita paikalla olevia apinoita. Arvojärjestyksestä koskeviin interaktioihin liittyy stereotyyppistä ääntelyä. Paviaaneilla on kymmenkunta erilaista äännähdystä, joita ne käyttävät säännönmukaisesti tietyssä tilanteessa. Uhkaamiseen on murahdus ja alistumiseen kirkaisu. Lisäksi pavიაaneilla on joitakin saalistajakohtaisia hälytyshuutoja ja muutama äännähdys, joita käytetään liikkumisen yhteydessä.

Cheney ja Seyfarth nauhoittivat eri yksilöiden äännähdyksiä ja käyttivät niitä playback-kokeissa. Näissä kokeissa muodostetaan nauhoitetuista äännähdyksistä narratiivi, jolla on tietty sosiaalinen merkitys, kuten yksilö 1 uhkaa yksilöä 2 ja tämä alistuu. Tällainen nauhoitus toistettiin sitten piilotetusta kaiuttimesta yksilölle 3 ja seurata sen reaktioita. Nämä kokeet suunniteltiin usein violation of expectation metodin mukaisesti. Tätä metodia on yleisesti käytetty tutkittaessa vastasyntyneitä ihmisiä. Metodissa koehenkilölle esitetään kaksi ärsykettä, joista toinen vastaa koehenkilön odotusta siitä, miten maailma toimii ja toinen ei. Nonverbaalisista eleistä, kuten katseen kestosta, päätellään pitikö koehenkilö toista tapahtumaa yllättävämpänä kuin toista. Cheney ja Seyfarth suorittivat pavianeilla useita tällaisia kokeita ja suurin osa heidän väitteistään perustuu näistä kokeista saatuun aineistoon. (Cheney & Seyfarth 2008a.)

Cheney ja Seyfarth kuvaavat pitkittäistutkimuksensa tulokset kirjassa *Baboon metaphysics* (2008a). Havaintojensa pohjalta he argumentoivat, että paviaanien käyttäytyminen viittaa siihen, että ne jakavat ihmisen kanssa suuren määrän komputationaalisia prosesseja ja on perusteltua sanoa niillä olevan ajattelun kieli. Cheney ja Seyfarthin mukaan paviaanien kommunikaatio ja kognitio ovat epäsymmetrisessä suhteessa – apinoiden kyky ymmärtää ja käsitellä tietoa on paljon kehittyneempi kuin niiden kyky kommunikoida ajatuksiaan toisille yksilöille. Seuraavaksi tarkastelemme joitakin Cheney ja Seyfarthin väitteistä ja niiden perusteluja. (Cheney & Seyfarth 2003, 2005, 2008a, 2008b.)

3.3.2 Paviaanien kommunikaatio ja sosiaalinen tietous

Paviaanien ja muiden kädellisten kommunikaatiojärjestelmä poikkeaa selvästi ihmisen kielestä. Pavianeilla tunnetaan noin 20 erilaista äännähdystä eli vokalisaatiota, joiden akustiikka ja käyttökonteksti ovat geneettisesti määräytyneitä. Kaikki paviaanit elinpaikastaan riippumatta käyttävät samankaltaista vokalisaatiota esimerkiksi alempiarvoisen yksilön uhkaamiseen tai varoituksena krokotiilista. Kädellisten vokalisaatiot ovat niin suurelta osin geneettisesti määräytyneitä, että toisen makakilajin laumassa kasvatetut makakit eivät omaksu tämän lajin tapaa käyttää vokalisaatioita, vaan käyttävät vokalisaatioitaan lajityypillisellä

tavallaan (Owren 1993). Oppimisella ei siten ole juurikaan roolia vokalisaatioiden tuottamisessa eivätkä apinat pysty keksimään uusia vokalisaatioita. Vokalisaatiot ovat yksittäisiä signaaleja, joita ei juurikaan yhdistellä ja apinoilla ei myöskään ole mitään kieliopin kaltaista sääntöjärjestelmää kommunikaatiossaan. Nämä rajoitukset koskevat nykytiedon mukaan ihmistä lukuunottamatta kaikkia kädellisiä. (Cheney & Seyfarth 2005, 2008a).

Toisin kuin vokalisaatioiden tuottaminen, kädellisten kyky ymmärtää viestejä ei ole lainkaan jäykkää ja rajoittunutta. Paviaanit pystyvät tekemään lajitovereidensa rajoittuneista vokalisaatioista monimutkaisia tulkintoja lauman sosiaalisesta rakenteesta (Cheney & Seyfarth 2008a, 2008b). Tutkimukset vervettiapinoilla ovat paljastaneet, että niillä on erilliset varoitushuudot eri tyyppisille saalistajille. Esimerkiksi varoitushuuto kotkasta saa apinat katsomaan taivaalle ja varoitushuuto kissapedosta saa ne kiipeämään puuhun. Vaikka näiden huutojen akustiikka on geneettisesti määrätynyt, niiden oikeaoppinen käyttö ja niihin reagoiminen vaatii nuorilta apinoilta harjoittelua. Oman lajinsa varoitusten lisäksi vervettiapinat osasivat reagoida asianmukaisesti myös muiden eläinten varoitushuutoihin. (Cheney & Seyfarth 1990.) Varoitushuutoja on tutkittu eniten vervettiapinoilla, mutta niitä käyttävät myös paviaanit ja varoitushuudot vaikuttavat olevan yleinen kädellisten ominaisuus (Cheney & Seyfarth 2008a). Varoitushuutojen käytön voidaan nähdä viittaavan kädellisten kykyyn representoida tietoa. Looginen selitys apinoiden asianmukaiselle toimimiselle varoitushuudon jälkeen on, että huuto on aktivoinut niissä saalistajan mentaalisen representaation. Tällöin varoitushuutojen voidaan ajatella olevan referentiaalisia, kuten ihmisen substantiivit. Ihmisen opettamana kädelliset pystyvät oppimaan käytännössä loputtomasti erilaisia symbolien ja sanojen merkityksiä. Itseasiassa jopa koirat voivat oppia satoja sana-esine pareja (Kaminski ym. 2004). (Cheney & Seyfarth 2005, 2008b.)

Kädellisillä ja myös muilla eläimillä vaikuttaa olevan paljon suurempi kyky tulkita viestejä kuin lähettää niitä. Tätä epäsymmetriaa on helpompi ymmärtää, kun ottaa huomioon, että evoluution kannalta signaalin lähettäjällä ja vastaanottajalla on erilainen rooli. Valinta suosii sellaisten signaalien tuottamista, jotka vaikuttavat muihin eläimiin ja lisäävät signaalin lähettäjän kelpoisuutta. Esimerkiksi urossammakon kurnutus houkuttelee naaraita. Sen

tuottaminen on uroksen kelpoisuuden kannalta ensiarvoisen tärkeää. Lepakolle, joka metsästää sammakoita, on taas adaptiivista tulkita sammakon kurnutus merkinä sen sijainnista. Lepakko saa sammakon lähettämästä signaalista tietoa, jota sammakko ei tarkoittanut lähettää. Tästä syystä vokalisaatioiden tuottamisen ja ymmärtämisen valintapaineet ovat toisistaan riippumattomat. Tämän vuoksi on mahdollista, että esimerkiksi paviaaneilla on suuri valintapaine ymmärtää toistensa vokalisaatioita, mutta pieni valintapaine tulla ymmärretyksi. Siksi signaalien tuottamiseen ja lähettämiseen käytettävien järjestelmien evoluutio voi olla epäsymmetristä. Ihmisen kieli ei toimi tällä tavalla – koska puhujan tarkoitus on välittää informaatiota kuulijalle, samat valintapaineet vaikuttavat puheen tuottamisen ja ymmärtämisen kehitykseen (Seyfarth & Cheney 2003.)

Paviaaneilla viestien lähettämisen ja ymmärtämisen epäsymmetria tulee esiin niiden sosiaalisessa toiminnassa. Cheney ja Seyfarthin (2008a, 2008b) mukaan paviaanit ovat tietoisia sekä omasta asemastaan että muiden yksilöiden asemasta lauman arvojärjestyksessä, ja tämä tieto on representaationaalista. He testasivat tätä oletusta playback kokeilla, jossa paviaanille soitettiin muiden yksilöiden aikaisemmasta ääntelystä rakennettuja nauhoituksia. Ensimmäinen nauhoitus simuloi tavanomaista arvojärjestykseen liittyvää interaktiota, jossa korkea-arvoisemman yksilön uhkausmurahdusta seurasi alempiarvoisen yksilön alistumiskirkaisu. Toinen nauhoitus simuloi epätavallista tapahtumaa, jossa alempiarvoinen yksilö uhkasi korkea-arvoisempaa ja tämä alistui. Tällainen tapahtuma on harvinainen, mutta mahdollinen ja se voi johtaa yksilöiden arvojärjestyksen muutokseen. Testatut apinat katsoivat huomattavasti pidempään kaiutinta kohti tilanteessa, jossa nauhoitus simuloi epätavallista tapahtumaa. Tämä viittaa siihen, että paviaanit tietävät lauman kaikkien yksilöiden arvojärjestyksen, eivätkä vain omaa suhdettaan muihin. (Cheney ym. 1995.)

Edellä mainitun kokeen toisessa versiossa testieläimelle soitettiin nauhoituksia, jossa tapahtui arvojärjestyksen muutos saman perheen apinoiden välillä, eri perheiden apinoiden välillä ja kontrollina nauhoitus tavanomaisesta korkeampiarvoisen eläimen uhkauksesta alempiarvoiselle. Koska paviaanien arvojärjestys perustuu sekä perheiden väliseen että perheiden sisäiseen hierarkiaan, on tapaus jossa alempiarvoisesta perheestä oleva yksilö uhkaa ylempiarvoisen perheen alistuvaa yksilöä merkittävämpi tapahtuma kuin arvojärjestyksen

vaihdos perheen sisällä. Jos alempiarvoisen perheen yksilö nujertaa ylempiarvoisesta perheestä olevan yksilön, perheet vaihtavat paikkaa arvoasteikolla. Kokeessa havaittiin, että testieläimet katsoivat kaiutinta kohti huomattavasti kauemmin tapauksessa, jossa simuloitiin perheiden välistä arvojärjestyksen vaihdosta, kuin muissa tapauksissa. (Bergman ym. 2003.) Muissa arvojärjestyksietoutta tutkivissa kokeissa on lisäksi saatu näyttöä siitä, että paviaanit ovat tietoisia omista ja muiden yksilöiden sukulaissuhteista (Cheney & Seyfarth 1997, 1999).

Näistä kokeista voidaan päätellä, että paviaanit vaikuttavat olevan tietoisia lauman kaikkien yksilöiden arvojärjestyksestä toisiinsa nähden sekä perheiden välisestä arvojärjestyksestä kuten myös yksilöiden välisistä sukulaisuussuhteista ja kuulumisesta tiettyyn perheeseen. Lisäksi paviaanit näyttävät ymmärtävän erilaisten arvojärjestykseen liittyvien interaktioiden merkityksen jo pelkästään kuulemalla siihen viittaavia vokalisaatioita, jotka ovat hyvin "köyhä ärsyke". Cheney ja Seyfarthin (2008a) mukaan yksinkertaisin selitys näille kyvyille on, että paviaanit pystyvät kategorisoimaan toiset yksilöt hierarkkisesti perheen sisäisen ja perheiden välisen arvojärjestyksen mukaan sekä representoimaan mielessään sosiaalisen tilanteen, johon arvojärjestyksen muutokseen liittyvä ääntely viittaa. Kuullessaan kahden paviaanin arvojärjestyksen muutokseen liittyvät vokalisaatiot ja ymmärtäessä niiden merkityksen itsensä kannalta, paviaani käsittelee kolmen eläimen välistä suhdetta. Jos paviaanilauman koko on 80 yksilöä, on tällaisia kolmen eläimen mahdollisia kombinaatioita 82 160. Vaikuttaa epätodennäköiseltä, että paviaanit olisivat yksinkertaisesti oppineet kaikkien mahdollisten kombinaatioiden merkitykset arvojärjestyksen suhteen. Sääntöpohjainen ja representaatioihin perustuva kognitiivinen prosessi on parsemonisempi selitys (Cheney & Seyfarth 2008a, 2008b).

3.3.3 Paviaanien komputationaaliset prosessit

Paviaanit ovat vokalisaatioiltaan rajoittuneita, mutta niiden kyky toimia sosiaalisessa ympäristössään viittaa useisiin komputationaalsiin kykyihin, jotka esiintyvät myös ihmisen kielessä ja kognitiossa. Cheney ja Seyfarth (2008b) listaavat artikkelissaan: Primate social knowledge and the origins of language kuusi tällaista paviaanien kognition piirrettä:

Ensinnäkin, paviaanien kognitio on representaationaalista. Apina tulkitsee kuulemansa vokalisaation tarkoittavan spesifisesti tiettyä asiaa, jonka ei tarvitse olla sen välittömässä läheisyydessä. Esimerkiksi varoitushuuto krokotiilista aktivoi vastaanottajassa representaation vaarallisesta ranta-alueiden saalistajasta ja muiden yksilöiden sosiaalisen interaktion kuunteleminen saa vastaanottajassa aikaan käsityksen käynnissä olevasta sosiaalisesta tilanteesta. Kädellisten tiedonkäsittelyn representationaalisuudelle on saatu myös aivokuvantamiseen perustuvaa tukea. Makakiapinoilla on suoritettu PET kuvaus, jossa havaittiin, että käsitellessään sosiaalisesta tilanteesta kertovaa signaalia, apinan aivoissa aktivoituvat alueet, jotka ihmisellä liittyvät mielikuvien käsittelyyn (Gil da costa 2004 ym.).

Toiseksi, paviaanien representaatiot ovat diskreettejä. Paviaanin mielessä toisilla yksilöillä on uniikki, täysin muista irrallinen "identiteetti". Myöskään lauman sisäisen arvojärjestyksen rajat eivät ole liukuvia – yksilö on toista korkeammalla, tai se ei ole. Lisäksi akustisesti liukuvat vokalisaatiot tulkitaan tarkoittavan ensin yhtä asiaa ja tietyn rajan jälkeen toista.

Näitä diskreettejä yksiköitä paviaanit voivat luokitella hierarkkisesti useamman ominaisuuden perusteella. Paviaanit ovat tietoisia yksilön asemasta sekä perheen sisällä, että perheiden välisestä arvojärjestyksestä. Tiedon hierarkkinen organisaatio on Cheney'n ja Seyfarthin mukaan yksinkertaisin tapa tällaisen kyvyn perustaksi.

Paviaanien sosiaalinen toiminta on sääntöjen ohjaama ja avoin järjestelmä. Arvojärjestys asettaa tiukat säännöt siitä, miten eläimet kohtelevat toisiaan ja paviaanit reagoivat voimakkaasti näiden sääntöjen rikkomiseen. Lisäksi lauman rakenne on avoin, uusia yksilöitä saapuu ja vanhoja poistuu, mutta sääntöjärjestelmä ja perhekuntien arvojärjestys säilyy.

Sosiaalinen tietous on propositionaalista. Eläimet tulkitsevat kuulemansa interaktiit siten, että ne representoivat osallistuvat yksilöt ja jossain määrin näiden intention. Siten ne tulkitsevat havaitsemiensa signaalien edustavan narratiivista tapahtumaa.

Lopuksi, paviaanien sosiaalinen tietous on modaaliteetti riippumatonta – saman informaation voi saavuttaa usealla eri aistilla erikseen tai yhtä aikaa. Tämä havainto tukee paviaanien tiedonkäsittelyn representationaalisuutta.

Kaiken tämän Cheney ja Seyfarth (2008a) tulkitsevat tarkoittavan, että paviaanien kognitio perustuu representaatiojärjestelmään, jossa komputationaaliset prosessit operoivat representaatioita. Paviaaneilla on siis omanlaisensa ajattelun kieli, joka on kehittynyt sosiaalista älykkyyttä varten. Cheney ja Seyfarth (2008a) uskovat, että tällainen representaatiojärjestelmä on kädellisten yleinen ominaisuus ja ihminen on perinyt sen jossakin määrin kädellisten yhteiseltä kantamuodolta.

Ei tarvitse hyväksyä kaikkia Cheney ja Seyfarthin väitteitä voidakseen hyväksyä heidän ajattelutapansa implikaatiot ihmisen evoluutiolle. He kirjoittavat seuraavaa:

"We are not suggesting that all of the syntactic properties found in language are present in primate social knowledge. Such a claim would be entirely unjustified..."

... Instead, focusing on the early, prelinguistic stages of language evolution, we suggest that primates – including Old world monkeys, apes, and our hominid ancestors – evolved in an environment characterized by social challenges and that such competition created selection pressures that favored structured, hierarchical, rule-governed intelligence." (Cheney & Seyfarth 2008b).

Cheney ja Seyfarth siis esittävät, että monimutkainen sosiaalinen ympäristö aiheuttaa eliölle sellaisia ongelmia, joiden ratkaiseminen on mahdollista ajattelun kielen kaltaisella järjestelmällä, joka sisältää useita ihmisen kielessä esiintyviä komputationaalisia prosesseja. Tämä alunperin sosiaalisen ympäristön hahmottamiseen kehittynyt representaatiojärjestelmä on voinut toimia ihmisen kielen preadaptaationa. Hauserin, Chomskyn ja Fitchin (2002) termeillä kielikyvyn konseptuaalis-intentionaalinen alajärjestelmä ja jotkin komputationaaliset prosessit ovat kehittyneet sosiaalisten valintapaineiden vaikutuksesta ja kielikyky suppeassa mielessä sekä osa sensoris-motorisesta järjestelmästä ovat kehittyneet myöhemmin ihmisen kehityslinjassa. Jos hyväksymme kaikki Cheney ja Seyfarthin argumentit, kädellisten rajoittunut kommunikaatiokyky johtuu niiden kyvyttömyydestä lähettää konseptuaalis-intentionaalisen järjestelmän käsitteet sensoris-motoriselle järjestelmälle, minkä vuoksi niiden kommunikaatio ei pysty heijastamaan niiden käsitteitä ja ajatuksia kuten ihmisellä. Cheney ja Seyfarth (2008a) esittävät hypoteesin, että tämän kyvyn puuttuminen johtuu puutteellisesta mielen mallista – koska apinoilla ei ole käsitystä siitä että

muilla ei ole pääsyä niiden omaavaan tietoon, ei niillä ole tarvetta tai ymmärrystä tuottaa vokalisaatioita, jotka olisivat yhtä monimutkaisia kuin niiden ajatukset. Cheney ja Seyfarth eivät tarkenna, miten tämä proksimaalinen selitys vaikuttaa kädellisten evoluutioon ja saa aikaan vokalisoinnin ja ymmärtämisen epäsymmetrian.

Cheney ja Seyfarth (2008a, 2008b) eivät ota kantaa hypoteesiin rekursion merkityksestä ihmisen kielelle ja generatiivisuudelle, mutta heidän väitteensä paviaanien kyvystä lauman arvojärjestyksen hierarkkiseen kategorisointiin ja sosiaalisten representaatioiden kompositionaalisuus viittaa mahdolliseen rekursiiviseen prosessiin. Tästä huolimatta ihmistä lukuun ottamatta yksikään kädellinen ei osoita merkkejä generatiivisuudesta millään käyttäytymisensä alueella. Ilman vahvempaa näyttöä on siten perusteltua uskoa, etteivät paviaanit tai muut kädelliset käytä rekursiota tiedonkäsittelyssään. Tällainen näkemys tukisi myös Hauserin ja kumppaneiden (2002) hypoteesia, että rekursio olisi oleellinen osa kielikykyä suppeassa merkityksessä ja jos lähes kaikki muut kielikykyyn vaadittavat järjestelmät ovat olemassa ennen rekursiota, kielikyvyn ei tarvitsisi olla adaptatio. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että kielikyky olisi saattanut syntyä sattuman vaikutuksesta pienellä muutoksella aikaisempaan järjestelmään, jonka alkuperäinen käyttötarkoitus oli jotain muuta, kuten sosiaalinen kognitio. Valintapaine kielen kehitykseen olisi silloin alkanut vaikuttaa vasta kun kieli olisi jo hyvin nykyisen kaltainen.

3.3.4 Kädellisten kognitiiviset kyvyt

Cheneyn ja Seyfarthin esittävät, että paviaaneilla on hyvin samankaltainen tapa käsitellä tietoa kuin ihmisellä. Kielikyvyn lisäksi on kuitenkin myös muita kognitiivisia kykyjä, joissa paviaanit ja muut kädelliset näyttävät poikkeavan suorituskyvyltään ihmisestä. Näitä ovat ainakin mielen malli, tulevaisuuden suunnittelu, toisten yksilöiden imitaatio ja työkalujen käyttö.

Jo aikaisemmin mainittu mielen malli tarkoittaa kognitiivista kykyä erottaa oma tietoutensa toisten yksilöiden tietoudesta ja ymmärtää, että toiset eliöt ovat intentionaalisia. Tämä

ymmärrys on taustalla esimerkiksi sellaisissa kyvyissä kuten tietoinen tiedon salaaminen, huijaaminen, toisen yksilön motiivien ja toiminnan ennustaminen. Mielen mallia tarvitaan myös oivallukseen, että koska yksilön oma tieto on yksityistä, tulee se selittää muille, jos heidän halutaan se ymmärtävän. Ihmislapsi tarvitsee mielen mallia kielen kehittymiseen, koska hänen täytyy ymmärtää, että käyttäessään tiettyä sanaa jostakin asiasta, aikuinen tarkoittaa, että sana on asian nimitys. (Cheney & Seyfarth 2008a.)

Mielen mallin olemassaoloa on tutkittu useilla kädellislajeilla ja tulokset ovat ristiriitaisia. Esimerkiksi playback-kokeissa on käynyt ilmi, että ainakin paviaaneilla ja simpansseilla vaikuttaa olevan kyky ymmärtää, onko toisen eläimen vokalisaatiot suunnattu niille vai jollekulle toiselle (Engh ym. 2006, Slocombe ym. 2009). Joissakin kokeissa simpanssit ovat käyttäneet ihmisen katseen suuntaa vihjeenä palkinnon sijainnista (Tomasello ym. 1999) ja Cheney ja Seyfarth (2008a) todistivat pitkittäistutkimuksensa aikana useita paviaanien sosiaalisia kanssakäymisiä, joissa yksilöt käyttäytyivät kuin olisivat aavistaneet toisen yksilön motiivin.

Todisteet mielen mallin puolesta kuitenkin kalpenevat vastakkaisten todisteiden valossa. Esimerkkinä paviaanien kyvyttömyydestä ottaa huomioon toisen yksilön näkökulmaa Cheney ja Seyfarth (2008a) esittivät paviaanien piirteen päästä kovaäänisiä vokalisaatioita olleessaan eksyksissä laumasta. Näiden vokalisaatioiden perusteella yksilö saattaisi löytää takaisin laumaan, mutta vaikka ne herättävät laumassa olevien paviaanien mielenkiinnon, nämä eivät vastaa, elleivät itsekin ole eksyksissä. Toinen dramaattinen esimerkki paviaanien toisen kykenemättömyydestä erottaa toisen yksilön tila omastaan, oli paviaaniemojen tapa ajoittain ylittää vesistöjä uimalla kantaen poikasta mukaan. Jos poikanen oli emonsa selässä, kaikki meni hyvin, mutta jos poikanen oli emonsa mahapuolella, se hukkui uinnin aikana. Emolla ei näyttänyt olevan mitään käsitystä poikasen kuljetustyylin eroista (Cheney & Seyfarth 2008a). Ihmisen mielen malli vaikuttaa olevan paljon muita kädellisiä kehittyneempi ja ihmisten kyky empatiaan vaikuttaa myös mielen malliin pohjautuvalta. Tätä käsitystä tukee myös luvussa 3.1.3 esitelty Herrmannin (2007) ja kumppaneiden komparatiivinen tutkimus ihmisapinoiden ja ihmislasten välillä.

Mielen malliin liittyvät jossain määrin myös esimerkiksi oppiminen ja imitaatio. Näissä taidoissa on eri kädellisten välillä suuria eroja. Simpanssit ja muut ihmisapinat ovat huomattavasti taitavampia kopioimaan tehtävien ratkaisuja esimerkiksi näyttäviltä ihmisiltä tai toisiltaan, kun taas apinoiden kyvystä tällaiseen toimintaan ei ole juurikaan näyttöä (Cheney & Seyfarth 2008a). Työkalujen hyödyntämisessä on nähtävissä samankaltainen tilanne. Simpanssit ja jossakin määrin myös orangit hyödyntävät säännönmukaisesti yksinkertaisia työkaluja ja myös oppivat näiden käyttöä toisiltaan. Apinat, kuten paviaanit, eivät käytä työkaluja muuten kuin satunnaisesti heittelemällä kiviä ja oksia saalistajia tai ihmisiä kohti (Cheney & Seyfarth 2008a, Goodall 1968).

Tulevaisuuden suunnittelun ja episodisen muistin olemassaoloa eläimillä on vaikea, muttei mahdotonta tutkia. Tulevaisuudesta puhuminen vaatii ihmisen abstrakteihin käsitteisiin kykenevän kielen ja jotkin tutkijat ovat sitä mieltä, että myös tulevaisuuden tapahtumien suunnittelu ja episodinen muisti ovat ainoastaan ihmisen kykyjä (Corballis 2009). Ei ole kokeellista tapaa selvittää, perustuuko eläinten muisti ja suunnittelu episodiseen vai ainoastaan semanttiseen muistiin, mutta ainakin ihmisapinoiden kyvystä suunnitella tulevaa on kokeellista näyttöä. Nicholas Mulcahy ja Josep Call (2006) ovat suorittaneet orangeilla ja kääpiösimpansseilla kokeen, jossa eläimet oppivat avaamaan ruokaa sisältävän laatikon tietyllä työkalulla. Tämän jälkeen eläimillä oli mahdollisuus valita useista työkaluista yksi mukaansa, niiden palatessa nukkumatilaansa yöksi. 14 tunnin kuluttua eläimet palautettiin tilaan, jossa oli jälleen ruokaa sisältävä laatikko. Sekä kääpiösimpanssi että oranki oppivat nopeasti ottamaan mukaansa oikean työkalun ja myös 14 tunnin kuluttua tuomaan tämän työkalun mukanaan nukkumatilastaan palatessaan laatikon luokse. Vastaavaa koetta ei ole tehty muilla kädellisillä.

Mielenkiintoinen tosiasia on, että kaikki edellä mainitut kognitiiviset kyvyt löytyvät luonnossa myös muista taksonomisista ryhmistä, usein kehittyneemmässä muodossa kuin kädellisillä. Koirat suoriutuvat simpansseja paremmin monissa mielen malliin liittyvissä tehtävissä (Cheney & Seyfarth 2008a). Tämä todennäköisesti johtuu intensiivisestä keinotekoisesta valinnasta, jota ihminen on kymmeniä tuhansia vuosia koiran suhteen harjoittanut. Monet papukaijat kykenevät paljon kädellisiä parempaan äänneiden imitaatioon

ja delfiinit ovat eläinkunnan mestareita motoristen suoritusten imitaatioissa. Luonnonvaraiset delfiinit harjoittavat keskenään synkronisoituja uimaesityksiä, joissa eläimet toistavat samat liikkeet vain muutaman sadan millisekunnin erotuksella (Connor 2006). Laboratoriossa on käynyt ilmi, että korpit käyttävät työkaluja spontaanisti lähes samassa määrin kuin simpanssit. Suunnittelussa ja muistamisessa jo aikaisemmin mainitut pensasnärhet ovat erittäin taitavia. Ne piilottavat ruokaa jopa tuhansiin kätköihin, jotka ne myöhemmin löytävät hyvin tarkasti. Lisäksi närhet eivät palaa matoja sisältäville kätköille enää sellaisen ajan kuluttua, jolloin ruoka on pilaantunut. (Raby ym 2007.) Delfiinejä, ja vähemmässä määrin koiria, lukuun ottamatta edellä mainitut lajit ovat kädellisiin verrattuna kognitiivisilta kyvyiltään hyvin erikoistuneita ja niiden kognitiivista kehitystä ovat todennäköisesti ajaneet ekologiset valintapaineet. Kysymys onkin analogisesta eikä homologisesta evoluutiosta ja hyvä osoitus siitä, että evoluutio näyttää ratkaisevan samat ongelmat samalla tavalla eri eliöissä. (Cheney & Seyfarth 2008a.)

3.4 Yhteenveto: älykkyyden evoluutio

Hermokudos on evoluutioteorian termein kallista. Suurien aivojen täytyy oikeuttaa olemassaolonsa suurella valintaedulla. Ihmistä, muita kädellisiä ja delfiinejä yhdistävät suuret aivot sekä monimutkainen sosiaalinen elämä. Sosiaalisen älykkyyden hypoteesi esittää, että monimutkainen sosiaalinen ympäristö aiheuttaa valintapaineen suurten aivojen ja älykkyyden kehitykselle ja kädellisten suuret aivot ovat siten kehittyneet sosiaalisten valintapaineiden vaikutuksesta. (Byrne & Whiten 1988, Dunbar 1998, Humphrey 1976, Seyfarth & Cheney 2002, 2008a.)

Sosiaalisen älykkyyden hypoteesi voidaan laajentaa koskemaan myös nykyihmistä. Nykyihminen on erittäin sosiaalinen laji ja sosiaalisen kognition kykymme ovat kehittyneemmät kuin muilla kädellisillä (Herrmann ym. 2007). Lisäksi suurimman osan kehityshistoriastamme lajimme evoluutioon vaikuttaneet valintapaineet ovat todennäköisesti olleet samankaltaisia, kuin nykyisillä ihmisapinoilla. Lajimme erityispiirteiden alettua ilmaantua n. 2 miljoonaa vuotta sitten, esi-isiamme selviytyminen on alkanut riippua yhä

enemmän työkaluista ja kulttuurin omaksumisesta. Kulttuurisen älykkyyden hypoteesin (Herrmann ym. 2007) ja ekologisen dominanssin mallin (Flinn ym. 2005) mukaan tämä kehitys olisi tehnyt sosiaalisista valintapaineista tärkeimmät lajimme kehitystä ohjaavat tekijät ja siten aiheuttanut sosiaalisen kognition kykyjemme poikkeuksellisen nopean kehityksen.

Komputationaalinen mielenteoria on kognitiotieteessä suosittu tapa kuvata mielen toimintaa ja kognitiivisten kykyjen olemusta. Siinä mieli nähdään järjestelmänä, joka representoi tietoa ja manipuloi representaatioita komputationaalisilla prosesseilla toisten representaatioiden ja käyttäytymisen tuottamiseksi. Tämä toiminta on fyysisesti toteutunut hermoston rakenteessa ja siten mieltä voidaan kutsua fyysikaaliseksi symbolisysteemiksi. Tällaisessa viitekehyksessä ajattelun voidaan nähdä tapahtuvan kielimäisessä, mutta kokonaan mentaaliosassa ja geneettisesti määräytyneessä, representaatiojärjestelmässä, ajattelun kielessä. Ajattelun kieli määrittää mahdollisten ajatusten rakenteen ja siten puhuttu kieli heijastelee ajattelun kieltä. (Fodor 1975, Newell & Simon 1976, Piccini 2009, Turing 1936.)

Komputationaaliosassa viitekehyksessä on mahdollista ajatella kognitiivisia kykyjä joukkoina erillisinä komputationaalisia prosesseja, yksittäisten kokonaisuuksien sijaan. Sama komputationaalinen prosessi voi toimia usean kognitiivisen kyvyn taustalla ja siksi on mahdollista, että eri lajit käyttävät samankaltaista komputationaalista prosessia eri käyttötarkoitukseen. Tämän vuoksi on mahdollista, että suuria osia ihmisen erityispiirteiden taustalla olevista komputationaalisista prosesseista on kehittynyt jo ennen omaa kehityslinjaamme ja näillä prosesseilla on adaptiivinen merkitys toisten lajien tiedonkäsittelyssä. Tämänkaltainen ajatus on myös kielen jakaminen erillisiin alajärjestelmiin, joista suurin osa on yhteisiä ihmisen ja muiden eläinten välillä ja vain pieni osa on vastuussa ihmisen kielen ainutlaatuisuudesta. (Brattico 2008, Cheney & Seyfarth 2008a, Hauser ym. 2002, 2005.)

Cheney ja Seyfarth (2005, 2008a, 2008b) argumentoivat, että paviaanien sosiaalisen kognition taustalla vaikuttaa useita ihmisen kielen taustalla toimivia komputationaalisia prosesseja. Heidän mukaansa paviaaneilla, ja todennäköisesti muillakin kädellisillä, on ajattelun kieli, jonka avulla ne representoivat sosiaalista ympäristöään. Ihmisen ja muiden kädellisten

tiedonkäsittely olisi tällöin hyvin samankaltaista – representationaalista, propositionaalista ja diskreetteistä yksiköistä koostuvaa.

Suurin ero ihmisen ja muiden eläinten tiedonkäsittelyssä näyttäisikin olevan kommunikaatiossa. Eläinten kommunikaatiossa signaalin lähettäjällä ja vastaanottajalla on erilainen rooli. Esimerkiksi kädellisten vokalisaatiot ovat hyvin rajoittuneita, geneettisestä määräytyneitä ja eläimet eivät vaikuta pyrkivän välittämään niiden avulla tietoa. Kuullessaan vokalisaatioita eläimet kuitenkin pystyvät tekemään lähettäjän tilanteesta rikkaan tulkinnan, joka sisältää paljon tietoa jota lähettäjä ei varsinaisesti tarkoittanut viestittää. Ihmisen kieli sen sijaan perustuu mielen malliin ja siinä lähettäjä ymmärtää välittävänsä tietoa vastaanottajalle. Puutteellisen mielen mallin lisäksi muilla kädellisillä on hyvin rajoittunut kyky käyttää työkaluja ja millään ihmisestä poikkeavalla lajilla ei ole merkkejä generatiivisuudesta. (Cheney & Seyfarth 2003, 2005, 2008a.)

Näyttää siltä, että ihminen jakaa muiden kädellisten kanssa suuren osan aikaisemmin hänelle ainutlaatuisena pidetyistä kognitiivisista kyvyistä. Muiden kädellisten kognitiota ei vielä tunneta erityisen hyvin, mutta on kuitenkin selvää jo nyt, että käsityksemme ihmisen erityispiirteistä tulee komparatiivisen tutkimuksen valossa muuttumaan. Lajimme erityispiirteiden luonne on empiirinen ongelma, jota on perusteltua lähestyä pitämällä nollahypoteesina ihmisen ja muiden kädellisten samankaltaisuutta, ei erilaisuutta. Seuraavassa luvussa pyrin edellä esitellyn aineiston pohjalta määrittelemään ihmisen erityispiirteet ja esittämään hypoteesin niiden evoluutiosta.

4 Ihmisen erityispiirteiden evoluutio

Tässä luvussa pyrimme aiemmin esiteltyjen teorioiden valossa määrittelemään ihmisen erityispiirteet. Aluksi määritellään, mitä ihmisen erityispiirteellä tarkoitetaan ja luodaan katsaus kirjallisuudessa mainittuihin erityispiirteisiin. Tämän jälkeen luodaan erityispiirteiden luokittelu, jonka avulla rajataan tämän tutkielman kannalta oleellisten piirteiden joukko. Luvussa 4.1.2 määritellään tutkielmassa kiinnostuksen kohteena olevat ihmisen ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteet ja seuraavassa luvussa hahmotellaan sosiaalisen preadaptaation hypoteesi näiden piirteiden kehityksen selittäjäksi. Lopuksi tarkastellaan vasta-argumentteja sosiaalisen preadaptaation hypoteesille ja pyritään vastaamaan niihin.

4.1 Ihmisen erityispiirteet

Ihmisen erityispiirre on sellainen ominaisuus, joka löytyy kaikilta terveiltä lajimme edustajilta, muttei miltään muulta lajilta ainakaan samassa käyttötarkoituksessa. Tämä määritelmä on ongelmallinen, koska käytännössä kaikista ominaisuuksistamme voidaan perustellusti esittää, että ne löytyvät jossain muodossa muilta eläimiltä. Tällaisessa tapauksessa voidaan sanoa, että ominaisuuden suhteen on eläinkunnassa jatkuvuutta ihmisen ja muiden eläinten välillä. Esimerkiksi kädellisten vokalisaatioita voidaan pitää kielen alkeellisena ilmentymänä (Diamond 1992), mutta niitä voidaan pitää myös kielestä täysin poikkeavana ominaisuutena (Bickerton 2007). Suurimmassa osassa erityispiirteistämme on nähtävissä jonkinasteista jatkuvuutta toisten eläinten kanssa. Koska elintapamme luonnossa on kuitenkin uniikki, on perusteltua olettaa, että lajillamme on joukko ominaisuuksia, jotka poikkeavat kaikista muista eläimistä ja nämä ominaisuudet mahdollistavat nykyisen elintapamme.

Ihmisen erityispiirteiden määrittely ei ole triviaali tehtävä. Luettelemalla yksittäisiä asioita, joissa tietty laji poikkeaa toisista, saadaan minkä tahansa lajin kohdalla aikaan hyvin pitkä ja epäinformatiivinen lista. Esimerkiksi kehomme mittasuhteet poikkeavat muista kädellisistä, vastasyntyneet ihmiset ovat täysin kykenemättömiä huolehtimaan itsestään ja lajimme on

ainoa, joka tuottaa elokuvia. Kaikki edellä mainitut ominaisuudet ovat ihmisen erityispiirteitä, mutta kyseessä ovat hyvin eritasoiset ilmiöt, joiden rinnastaminen keskenään ei ole mielekäästä. Tämän vuoksi ihmisen erityispiirteitä etsittäessä on määriteltävä tarkasti, millaisista ominaisuuksista ollaan kiinnostuneita ja mitä erityispiirteellä tarkoitetaan. Erityispiirteitä ei myöskään voi määritellä vain tutkimalla ihmistä – vaikka näyttäisi selvältä, että jokin piirre ei esiinny muilla eläimillä, on asia todistettava komparatiivisen tutkimuksen keinoin, ennen kuin voimme pitää sitä tieteellisenä tosiasiana. Seuraavassa luvussa määritellään, mitä tässä tutkielmassa tarkoitetaan ihmisen erityispiirteillä ja rajataan kiinnostuksen kohteena olevien piirteiden joukko. Ennen tätä tutustutaan kuitenkin nykytieteen käsitykseen ihmisen erityispiirteistä ilman tarkempaa rajausta.

Luettelot ihmisen erityispiirteistä poikkeavat eri lähteissä toisistaan. Tämä on ymmärrettävää, koska tietyn alan tutkijat ovat kiinnostuneita lähinnä oman tutkimusaiheensa piirissä olevista ominaisuuksista. Taulukossa 5 esitellään joukko usein ihmisen erityispiirteiksi ehdotettavia ominaisuuksia, jotka on valittu sillä perusteella, että ne on mainittu vähintään kahdessa toisistaan riippumattomassa lähteessä. Tämän erityispiirteiden luettelon ei ole tarkoitus olla tyhjentävä kuvaus kaikista ihmisen ja muiden eläinten eroista. Sen sijaan se antaa lukijalle yleiskäsityksen, millaisia ominaisuuksia ihmisen erityispiirteet ovat. Aiheen kattavampaa käsittelyä varten kehotan lukijaa tutustumaan Mark Flinnin (2004) ja kollegoiden artikkeliin sekä Jared Diamondin (1992) kirjaan, Kolmas simpanssi.

TAULUKKO 5. Usein ehdotettuja ihmisen erityispiirteitä.

Kategoria	Erityispiirre	Lähteet
Fyysiset	Pystyasento	mm. Carroll 2007, Flinn 2004, Klein 2009
	Tarttumakäsi	mm. Carroll 2007, Flinn 2004, Klein 2009
	Kädellisille poikkeukselliset raajojen mittasuhteet	mm. Carroll 2007, Flinn 2004, Klein 2009
	Kehon kokoon suhteutettuna suuret aivot	mm. Carroll 2007, Flinn 2004, Klein 2009
	Kädelliseksi poikkeuksellinen hampaisto	mm. Carroll 2007, Flinn 2004, Klein 2009
	Kädelliseksi vähäinen seksuaalinen dimorfismi	mm. Diamond 1992, Flinn 2004, Klein 2009
	Kädelliseksi suuret sekundaariset sukupuoliominaisuudet	mm. Diamond 1992, Flinn 2004
Yksilönkehitykselliset	Kädelliseksi pitkä ikä	mm. Carroll 2007, Klein 2009
	Avuton vastasyntynyt	mm. Diamond 1992, Flinn 2004
	Lapsen hidas maturaatio, pitkä lapsuus	mm. Diamond 1992, Flinn 2004
	Piilo-ovulaatio	mm. Diamond 1992, Flinn 2004
	Menopausi	mm. Diamond 1992, Flinn 2004
Kognitiiviset	Kielikyky	mm. Brattico 2008, Flinn 2004, Hauser ym. 2002
	Luovuus, generatiivisuus	mm. Brattico 2010, Flinn 2004, Hauser 2009
	Kehittynyt mielen malli	mm. Cheney & Seyfarth 2008a, Flinn 2004
	Kyky viitata symboleilla abstrakteihin asioihin	mm. Hauser ym. 2007, Hauser 2009
	Tulevan suunnittelu, mentaalinen aikamatkustus	mm. Corballis 2009, Flinn 2004
	Tietoisuus, itsetietoisuus	mm Cheney & Seyfarth 2008a, Flinn 2004
	Kyky motoriseen ja verbaaliseen imitaatioon	mm. Flinn 2004, Hauser ym. 2002
	Sosiaaliset tunteet kuten häpeä ja syyllisyys, kyky empatiaan	mm Cheney & Seyfarth 2008a, Flinn 2004

Jatkuu seuraavalla sivulla.

Taulukko 5. jatkuu.

Sosiaaliset	Tiedon kumuloituminen, opettaminen	mm. Flinn 2004, Herrmann 2007
	Korkea teknologia, työkalujen merkitys selviytymiselle suuri	mm. Carroll 2007, Diamond 1992, Flinn 2004
	Moraalijärjestelmät, lait	mm. Cheney & Seyfarth 2008a, Flinn 2004
	Kädellisille poikkeuksellinen molempien sukupuolten vanhemmuus	mm. Diamond 1992, Flinn 2004
	Monimutkaiset ja vaihtelevat pariutumisyjärjestelmät	mm. Diamond 1992, Flinn 2004
	Jatkuva ryhmien välinen aggressio, sodat	mm. Diamond 1992, Flinn 2004

Taulukossa 5 esiintyy hyvin eritasoisia ominaisuuksia ja suurin osa niistä voidaan jakaa yksinkertaisemmiksi alajärjestelmiksi, joita voidaan tarkastella itsenäisesti. Jotkin taulukossa 5 esitetyistä ominaisuuksista eivät Cheney'n ja Seyfarthin (2008a) tutkimuksen valossa edes ole ihmisen erityispiirteitä. Ennen kuin rajaan tämän tutkielman kiinnostuksen kohteena olevat erityispiirteet, määrittelen muutamia apukäsitteitä.

4.1.1 Erityispiirteiden luokittelu

Tässä tutkielmassa määrittelen ihmisen erityispiirteet kolmen kategorian avulla. Nämä ovat ensi- ja toissijainen, vahva ja heikko sekä erityispiirteen laatu (fyysinen, yksilönkehityksellinen, kognitiivinen tai sosiaalinen).

Ensi- ja toissijaisella erityispiirteellä tarkoitan ominaisuuden roolia evoluutiossa, ja jako on analoginen geno- ja fenotyyppi jaon kanssa. Ensisijainen erityispiirre on sellainen ihmisen ominaisuus, joka on biologisen evoluution tuottama, geneettisesti määräytynyt ja siten universaali kaikkien ihmisten kesken. Tällaisen ominaisuuden olemassaolon ja ominaisuudet määrää ensisijaisesti eliön genotyyppi, joskin ominaisuuden maturaatio voi vaatia ympäristöstä tulevan ärsyksen. Esimerkiksi kiellemme sanojen referentiaalisuus on

ensisijainen piirre. Kaikissa kielissä ja kulttuureissa on sanoja, jotka viittaavat maailman olioihin, vaikka sanan ominaisuudet eivät muistuta kyseistä oliota (Brattico 2008).

Toissijainen erityispiirre on sellainen ominaisuus, joka ilmenee kaikilla ihmisillä, mutta jonka ilmenemistapa riippuu ympäristöstä ja jossa on kulttuurien välillä variaatiota. Toissijainen erityispiirre on siten osa eliön fenotyyppiä ja tärkein siihen vaikuttava tekijä on ympäristö. Esimerkki toissijaisesta erityispiirteestä on kielen sanasto. Sanojen käyttäminen asioihin viittaamiseen on ihmisille universaalia ja siten ensisijainen piirre, mutta se, mitä sanoja ihmiset käytännössä käyttävät, riippuu heidän kieliympäristöstään. Laajempi esimerkki ovat universaalien kieliopin taustalla vaikuttavat hermostolliset rakenteet. Nämä ovat ensisijainen erityispiirre, joka määrittää sen joukon kieliä, jotka ihminen pystyy oppimaan (Brattico 2008). Minkä tahansa toteutuneen kielen kielioppi on kuitenkin toissijainen erityispiirre, jonka tarkan ilmenemismuodon ympäristö määrää.

Kaikkien toissijaisten erityispiirteiden taustalla on yksi tai useampi ensisijainen erityispiirre, mutta pelkästään tuntemalla ensisijaiset erityispiirteet, ei voida päätellä toissijaisten erityispiirteiden tarkkaa ilmenemistapaa. Toisin sanoen ensisijaiset erityispiirteet ovat välttämättömiä mutta eivät riittäviä ehtoja toissijaisten erityispiirteiden olemassaololle ja toissijaiset erityispiirteet redusoituvat heikosti ensisijaisiin piirteisiin. Kognitiivisten erityispiirteiden tapauksessa monet ensisijaiset erityispiirteet ovat komputationaalisten prosessien joukkoja. Koska evoluutio vaikuttaa genotyyppiimme, toimii se ensisijaisten piirteiden tasolla ja siksi tässä tutkielmassa rajataan kiinnostuksen kohteeksi vain ensisijaiset ihmisen erityispiirteet.

Ominaisuuksien jakamista ensi- ja toissijaisiin helpottaa seuraavanlainen ajatuskoe: Kuvitellaan joukko nykyihmisiä, jotka syntyvät ympäristöön, jossa ei ole läsnä muita nykyihmisiä (vastasyntyneiden selviämistä huolehtii jokin taho, jolla ei ole nykyihmisen erityispiirteitä, kuten eläimet, koneet, etelänapinat, tms.). Kasvaessaan tällaisessa ympäristössä nämä ihmiset eivät omaksu valmista kulttuuria, kieltä tai mitään kumuloitunutta tietoa, mutta he ovat kuitenkin vuorovaikutuksessa toistensa kanssa kykenevät selviämään ympäristössään. Todennäköisesti tämä ihmispopulaatio alkaa nopeaan tahtiin omaksua

lajillemme tyypillisiä toimintatapoja: jonkinlainen kieli syntyy heti ensimmäisessä sukupolvessa (Bickerton 2007, Brattico 2008), työkalujen käyttö alkaa ja ihmiset muodostavat ryhmän, jossa on monenlaisia sosiaalisia suhteita. Olettaisin, että viimeistään muutaman sukupolven jälkeen koepopulaatio ilmentää suurinta osaa nykyihmisen tyypillisistä toimintatavoista, kuten taidetta, alkeellista tiedettä, lakeja, uskonnollisuutta, kaupankäyntiä ja ryhmien välisiä konflikteja. Tarkkailemalla tällaista populaatiota voisimme erottaa seuraavalla tavalla ihmisen ensi- ja toissijaiset erityispiirteet: ne ominaisuudet, joissa koepopulaatio on nykymaailmassa elävien ihmisten kanssa samanlainen, ovat ensisijaisia piirteitä. Vastaavasti ne ominaisuudet, joissa koepopulaatio on nykymaailman ihmisten kanssa erilainen ovat toissijaisia piirteitä. Esimerkiksi kyky ja tarve taiteen tekemiseen ja uskonnollisiin kokemuksiin ovat ihmisen ensisijaisia piirteitä. Taiteen ilmenemistapa kuten maalaaminen tai teatteri sekä uskollisten selitysten sisältö ovat toissijaisia.

Jaolla vahvoihin ja heikkoihin erityispiirteisiin tarkoitan ominaisuuden esiintymisen astetta muualla eläinkunnassa. Vahva ihmisen erityispiirre on sellainen ominaisuus, jota ei esiinny millään muulla eläimellä missään taksonomisessa ryhmässä. Koska emme tunne tyhjentävästi muiden eläinten ominaisuuksia, on ominaisuuden nimittäminen vahvaksi erityispiirteeksi aina jossakin määrin epävarmaa. Esimerkiksi Hauser, Chomsky ja Fitch (2002) pitivät kykyä rekursiiviseen prosessointiin kieliopin yhteydessä todennäköisenä vahvana ihmisen erityispiirteenä. Kuitenkin viitteitä tämän ominaisuuden esiintymisestä on saatu kottaraisilla (Gentner ym. 2006) ja siten kyseessä ei ilmeisesti ole vahva erityispiirre. Heikolla erityispiirteellä tarkoitan sellaista ominaisuutta, joka esiintyy eläinkunnassa analogisena, muttei homologisena. Jos jokin ihmisellä esiintyvä ominaisuus on kehittynyt evoluutiossa useamman kerran eri taksonomisissa ryhmissä ja perustuu eri ryhmissä mahdollisesti erilaiselle biologiselle toteutukselle, nimitän sitä ihmisen heikoksi erityispiirteeksi. Jos kyky rekursioon löytyy ihmisiltä ja laululinnuilta, muttei muilta nisäkkäiltä, on kyseessä tällöin ihmisen (ja laululintujen) heikko erityispiirre. Jos kyky rekursioon löytyisi myös muilta kädellisiltä kuin ihmiseltä, olisi parsemoninen oletus, että kyseessä on yhteiseltä kantamuodolta peräisin oleva ominaisuus. Tällöin rekursio ei olisi lainkaan ihmisen erityispiirre.

Heikon erityispiirteen käsite on mielestäni tarpeellinen, koska nykyihmisellä on useita piirteitä, jotka erottavat hänet muista kädellisistä, mutta jotka kuitenkin löytyvät joiltakin eläimiltä. Esimerkiksi ihmisten kyky matkia tarkasti ääniä löytyy myös useilta linnuilta, muttei miltään muulta kädelliseltä. Tällaiset piirteet ovat kehittyneet ihmiselle hänen kehityslinjansa erottua simpanssista, ja niiden sulkeminen erityispiirteiden tarkastelun ulkopuolelle määritelmällisistä syistä olisi hedelmätön lähestymistapa. Taulukossa 6 on yhteenveto mahdollisista erityispiirteiden tyypeistä edellä esitettyjen luokittelujen perusteella.

TAULUKKO 6. Ihmisen erityispiirteiden luokittelu.

	Piirteellä on analogioita muualla eläinkunnassa	Piirre esiintyy ainoastaan ihmisellä
Piirteen ilmenemistapa riippuu ensisijaisesti genotyypistä	Heikko ensisijainen erityispiirre	Vahva ensisijainen erityispiirre
Piirteen ilmenemistapa riippuu ensisijaisesti fenotyypistä	Heikko toissijainen erityispiirre	Vahva toissijainen erityispiirre

Lopuksi jaan ihmisen erityispiirteet neljään kategoriaan. Nämä ovat fyysinen, yksilönkehityksellinen, kognitiivinen ja sosiaalinen. Tämä jako on tarpeellinen, koska tässä tutkielmassa olemme kiinnostuneita ainoastaan kognitiivisista erityispiirteistä. Rajaus ainoastaan kognitiivisten erityispiirteiden tarkasteluun on kuitenkin jossain määrin keinotekoinen. Suurinta osaa ihmisen kognitiivisista erityispiirteistä vastaa jokin fyysinen rakenne tai yksilönkehityksellinen ominaisuus. Esimerkiksi tarttumakäsi ja kykymme työkalujen käyttöön riippuvat toisistaan. Myös kyky puhuttuun kieleen on vaatinut sekä kognitiivisten että äänen tuottamiseen ja vastaanottamiseen liittyvien ominaisuuksien yhteisevoluutiota. Kykymme käyttää kieltä useassa eri modaliteetissa (viittomat, kirjoitus) kuitenkin viittaa siihen, että kielen komputationaalinen alajärjestelmä on erillinen sen sensoris-motorisesta alajärjestelmästä (Bickerton 2007). Teen tässä tutkielmassa oletuksen, että ihmisen evoluutiossa kognitiivisiin erityispiirteisiin on kohdistunut sinällään valintapaine, eivätkä ne ole syntyneet fyysisten ominaisuuksien kehityksen sivutuotteena tai näiden jälkeen. Tämä oletus on yksinkertaistus, joka ei todennäköisesti päde kaikkiin ensisijaisiin

kognitiivisiin erityispiirteisiimme, mutta fyysisten ja kognitiivisten piirteiden suhdetta ei tämän tutkielman puitteissa ole mahdollista käsitellä.

Seuraavassa luvussa pyritään edellä mainittujen käsitteiden avulla määrittelemään ihmisen ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteet.

4.1.2 Ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteet

Näkyvin ihmisen kognitiivinen erityispiirre on kielikyky. Kuten luvussa 3.2.4 todettiin, voidaan tämä kyky jakaa alajärjestelmiin ja osa alajärjestelmistä voi löytyä ihmisen lisäksi muilta eläimiltä. Hauser, Chomsky ja Fitch (2002, 2005) ehdottivat, että kielikyky suppeassa merkityksessä, eli se osa kielikyvystä, joka on ihmisen erityispiirre, sisältäisi joukon komputationaalisia kykyjä, jotka ovat kieliopin ja kielen generatiivisuuden taustalla. Tähän ajatukseen kuuluu, että kielikyvyn semanttinen, tai konseptuaalis-intentionaalinen järjestelmä oli jossain määrin olemassa ennen varsinaista kielikykyä (Bickerton 2007).

Cheneyn ja Seyfarthin (2008a, 2008b) väitteet paviaanien ja muiden kädellisten ajattelun kielestä sopivat yhteen tämän näkemyksen kanssa. Kädellisten sosiaaliseen kognitioon kehittynyt ajattelun kieli on vahva ehdokas kielikyvyn konseptuaalis-intentionaaliseksi järjestelmäksi. Cheney ja Seyfarth kuitenkin vievät ajatuksen vielä pidemmälle ja esittävät, että paviaanit, ja todennäköisesti muutkin kädelliset, käyttävät ajattelun kieltänsä yhteydessä joukkoa komputationaalisia prosesseja, jotka ovat ihmisen kielen kieliopin osia. Täten sosiaaliset valintapaineet ovat voineet kehittää myös osan kielikyvyn komputationaalisesta alajärjestelmästä, joka on toiminut preadaptaationa ihmisen kielen kieliopille. Cheney ja Seyfarth ehdottavat, että paviaanien ajattelun kieli ilmentää joukkoa komputationaalisia prosesseja, jotka ovat yhteisiä ihmisen kanssa ja muodostavat siten osan kielikyvystä laajassa merkityksessä. Tarkemmin Cheneyn ja Seyfarthin hypoteesia käsitellään luvussa 3.3.3.

Toisin kuin lajiemme tiedonkäsittely, paviaanien ja ihmisen kommunikaatio on melko kaukana toisistaan. Cheney ja Seyfarthin (2003, 2005) mukaan kädellisten kommunikaation köyhyys johtuu niiden kyvyttömyydestä viedä konseptuaalis-intentionaalisen järjestelmän tietoa sensoris-motoriselle järjestelmälle ja siksi niiden kyky välittää tietoa representaatioistaan ja käsitteistään on paljon niiden ajattelua kehittymättömämpää. Tällöin kielikyky suppeassa merkityksessä pitäisi sisällään ne prosessit, joilla konseptuaalis-intentionaalinen järjestelmä vie tietoa sensoris-motoriselle järjestelmälle, sekä mahdollisesti joukon ihmisen kieliopin taustalla olevia prosesseja, kuten rekursion, jota ei esiinny muiden kädellisten ajattelun kielessä. Kielikyky suppeassa merkityksessä on ihmisen vahva ensisijainen kognitiivinen erityispiirre, mutta se saattaa koostua hyvin pienestä joukosta komputationaalisia prosesseja.

Ihmisen kielikyvystä seuraa suuri määrä kognitiivisia kykyjä, joita on vaikea erottaa kielestä erillisiksi ominaisuuksiksi. Hauser (2009) ehdottaa ihmisen erityispiirteiksi kykyä symbolien käyttöön ja tähän liittyvää abstraktia ajattelua. Molemmat näistä ominaisuuksista liittyvät kielikykyyn – kieli tarjoaa rakenteen, jossa abstrakteja ajatuksia on mahdollista esittää ja konseptien yhdistäminen sanoihin tai symboleihin liittyy todennäköisesti läheisesti konseptuaalis-intentionaalisen järjestelmän kykyyn yhdistää tietoa sensoris-motorisen järjestelmän kanssa. Cheney ja Seyfarthin (2008a) väite kädellisten ajattelun kielestä luo mahdollisuuden, että symbolien käytössä ja tietynlaisessa abstraktien suhteiden hahmottamisessa on jatkuvuutta ihmisen ja muiden kädellisten välillä, koska nämä ominaisuudet liittyvät representationaalisuuteen. Myös Bickerton (2007) uskoo, että symbolien käyttäminen on ominaisuus, joka löytyy jossain muodossa eläimiltä. On todisteita, että eläimet pystyvät ymmärtämään symboleita, vaikka eivät juurikaan pysty niitä tuottamaan (Cheney & Seyfarth 2008a). Abstrakti ajattelu ja mentaaliset symbolit ovat siten kieleen liittyvä ominaisuus, jolla saattaa olla jatkuvuutta kädellisten kesken ja jolla on myös toissijaisen piirteen tunnusmerkkejä. Tämän vuoksi luokittelen abstraktin ajattelun ja symbolien käytön kielikyvyn emergenssiksi ominaisuudeksi, joka on ihmisen heikko erityispiirre ja samaan kategoriaan kielikyvyn kanssa.

Paitsi kielessä, ihmisen generatiivisuus näkyy muuallakin hänen toiminnassaan. Luovuutta esiintyy taiteessa, tieteessä ja teknologiassa, ja kaikissa näissä pyrkimyksissä ihminen hyödyntää pienten yksikköjen yhdistelyä monimutkaisten kokonaisuuksien tuottamiseksi. On mahdollista, että yleisen generatiivisuuden taustalla on sama rekursiivinen komputationaalinen prosessi kuin kielen generatiivisuuden. Tällaista yhden luovuuden lähteen hypoteesia on ehdottanut Pauli Brattico (2010). Yleisen generatiivisuuden tärkeyttä ihmisen uniikille elämäntavalle on korostanut myös Marc Hauser (2009). Hänen mukaansa ihmisen kyky generatiivisuuteen sekä modaliteettiriippumaton tiedonkäsittely ovat laadullinen erottava tekijä ihmisen ja muiden eläinten välillä. Modaliteettiriippumattomalla tiedonkäsittelyllä hän tarkoittaa generatiivisuuden ja myös muiden kognitiivisten kykyjen käyttämistä minkä tahansa ongelman ratkaisuun. Ihmisen on esimerkiksi helppo keksiä työkaluilleen useita eri käyttötarkoituksia ja hyödyntää mielen malliaan sekä toisten ihmisten, eläinten että elottomien esineiden intentionaalisuuden ennustamiseen. Eläinten kognitiiviset kyvyt ovat usein miten modularisoituneita. Esimerkiksi kottarainen ei käytä kykyä rekursiivisen äänisarjan oppimiseen rakentaessaan pesäänsä ja simpanssi käyttää puunoksa muurahaisten esiin kaivamiseen, mutta ei lyömäaseena. Generatiivisuudesta ei ole eläinkunnassa ihmisen lisäksi näyttöä (Hauser 2009). Yleinen generatiivisuus ja modaliteettiriippumaton tiedonkäsittely ovat siten ihmisen vahvoja ensisijaisia kognitiivisia erityispiirteitä.

Ihminen on erittäin sosiaalinen laji ja kykymme toisten yksilöiden tunnetilan ja motiivien tulkitsemiseen ovat kehittyneet. Sosiaalisessa kognitiiossamme on kuitenkin selvää jatkuvuutta muiden eläinten sosiaalisten kykyjen kanssa. Viitteitä muiden eläinten kyvystä ennustaa toisten yksilöiden käytöstä ja ottaa huomioon toisen yksilön tieto maailmasta on jonkin verran, mutta ihminen on kuitenkin näissä kyvyissä selvästi muita kädellisiä parempi (Cheney & Seyfarth 2008a, Herrmann ym. 2007). Kehittynyt mielen malli on Cheney ja Seyfarthin (2005, 2008a) mukaan oleellinen osa ihmisen ja muiden kädellisten kognition eroa ja se voi olla avainasemassa ihmisen evoluution poikkeuksellisuudessa. Tällä perusteella kehittynyt mielen malli on ihmisen heikko kognitiivinen erityispiirre. Sosiaaliset tunteet, kuten syyllisyys ja häpeä, sekä kyky empatiaan perustuvat mielen mallille ja ovat siten ihmisessä kehittyneempiä kuin muissa eläimissä tai mahdollisesti jopa ihmiselle uniikkeja.

Kyky tarkkaan äänien ja liikkeiden imitaatioon on ihmisellä kehittyneempi kuin muilla kädellisillä. Tämä kyky saattaa olla avainasemassa ihmisten tiedon kumuloitumisessa ja kulttuurin ja kielen eteenpäin opettamisessa. Yhdistettynä mielen malliin, imitaatiokyky mahdollistaa tarkoituksellisen opettamisen ja oppimisen. (Cheney & Seyfarth 2008a, Hauser ym. 2002.) Kyky äänien imitaatioon löytyy kuitenkin linnuilta ja motoriseen imitaatioon kykenevät ainakin delfiinit (Connor 2006). Tämän vuoksi kyky imitaatioon on ihmisen heikko ensisijainen erityispiirre.

Tulevan suunnittelu ja tähän liittyvät muistijärjestelmät ovat mahdollisesti ihmisellä muista eläimistä poikkeavia kykyjä. Muut eläimet ovat kuitenkin demonstroineet sekä hyvää muistia, että kykyä suunnitteluun (Raby ym. 2007, Mulcahy ym. 2006). Tämän vuoksi esitän, että ihmisen suunnittelun tehokkuus liittyy hänen kykyynsä käyttää kieltä ajattelun tukena ja tulevan suunnittelu sinällään ei ole ihmisen erityispiirre.

Tietoisuus on edelleen niin tavoittamaton ilmiö, että vahvimmat todisteet sen olemassaolosta ovat subjektiivisia. Tämän vuoksi ominaisuuden todentaminen eläimillä on objektiivisesti vaikeaa. Tietoisuuden tutkijat kuitenkin esittävät, että kyseessä on adaptiivinen ominaisuus, jossa on jatkuvuutta eläinten kesken (Chalmers 1996) ja jos jokin osa tietoisuutta on ihmiselle uniikki, se on reflektiivinen tietoisuus, eli tietoisuus itsestään ajattelevana olentona (Revonsuo 2006). Tietoisuutta ei siten ole perusteltua pitää ihmisen erityispiirteenä.

Kehittynyt kulttuurimme, taide, tiede, moraalijärjestelmät ja teknologia ovat todennäköisesti kaikki johdettavissa edellä mainituista erityispiirteistä. Työkalujen käytön taustalla on generatiivisuuden, suunnittelun ja mielen mallin lisäksi todennäköisesti yleiseen spatiaaliseen hahmottamiseen, ongelmanratkaisuun ja motoriikkaan liittyviä kykyjä, joissa lajimme saattaa olla muita kädellisiä taitavampi. Näissä ominaisuuksissa havaitut erot olivat kuitenkin ihmislapsien ja ihmisapinoiden välisessä vertailussa melko pieniä (Herrmann ym. 2007). Koska pelkkään assosiaationismiin pohjautuvat selitykset eläinten kognitiolle hylättiin luvussa 3.2.2 kognitiivisia selityksiä vähemmän parsemonisina, ei ihmisen ja muiden eläinten tiedonkäsittelyn perustassa oleteta olevan laadullisia eroja. Tämän tutkielman aineiston perusteella ihmisen ensisijaisiksi kognitiivisiksi erityispiirteiksi (EKE) hyväksytään siten

taulukossa 7 esitetyt ominaisuudet, jotka on mahdollista sijoittaa joko komputationaaliseen tai sosiaalisen kognition kategoriaan.

TAULUKKO 7. Ihmisen ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteet, EKE.

Komputationaalisen kategorian erityispiirteet	Sosiaalisen kognition kategorian erityispiirteet
Kielikyky kapeassa merkityksessä	Kehittynyt mielen malli
Tiedon vienti konseptuaalis-intentionaaliselta järjestelmältä sensoris-motoriselle järjestelmälle	Imitaatiokyky useissa modaaliteeteissa
Modaaliteettiriippumaton generatiivisuus	

Taulukko 7 on ensimmäinen aproksimaatio EKE:n olemuksesta ja siten ei välttämättä kattava kuvaus lajimme kaikista kognitiivisista erityispiirteistä, mutta tutkielmassa käsitellyn aineiston perusteella on perusteltua ehdottaa, että komputationaalinen järjestelmä ja kehittynyt sosiaalisen kognition järjestelmä ovat oleelliset osat lajimme erityispiirteitä.

Komputationaalinen järjestelmä mahdollistaa ihmisen kielen ja generatiivisuuden, mutta se on hyödytön ilman sosiaalisen kognition järjestelmää, jonka avulla ihmiset hahmottavat kielen informaatiota välittävän merkityksen. Yhdessä nämä järjestelmät ovat välttämättömiä suurelle osalle toissijaisista erityispiirteistämme, kuten tiedon kumuloitumiselle ja korkealle teknologialle.

Näin määriteltynä ihmisen ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteet ovat pieni joukko kognitiivisia kykyjä. Ne voidaan nähdä kokoelmana komputationaalisia prosesseja, jotka mahdollistavat uniikkeja tapoja käsitellä representaatioita. Näistä ominaisuuksista generatiivisuus on eniten nykyihmisen elämäntapaa värittävä ominaisuus. Se ilmenee kielessä, kulttuurissa, taiteessa ja teknologiassa (Brattico 2010, Hauser 2009). Nämä piirteet ovat oleellisia uniikin elämäntapamme kannalta ja ilman generatiivisuutta muut erityispiirteet tuskin riittäisivät tekemään elämäntavastamme radikaalisti muista eläimistä poikkeavan.

4.2 Sosiaalisen preadaptaation hypoteesi

Viime luvussa hahmoteltiin ihmisen ensisijaisten kognitiivisten erityispiirteiden joukko, EKE. Tässä luvussa esitän hypoteesin näiden piirteiden evoluutiosta. Hypoteesini perustuu ajatukselle, että ihmisen kielen komputationaalinen ja konseptuaalinen pohja on saattanut kehittyä eri valintapaineiden vaikutuksesta kuin sen kommunikaatioon käytettävä osa ja voimme itseasiassa jakaa suuren osan kielen taustalla vaikuttavasta tiedonkäsittelystä muiden eläinten kanssa (Hauser ym. 2002, 2005, Hauser ym. 2007). Cheney'n ja Seyfarthin hypoteesi, että sosiaaliset valintapaineet ovat kehittäneet kädellisillä kielimäisiä piirteitä sisältävän ajattelun kielen (Cheney & Seyfarth 2005, 2008a, 2008b) sopii hyvin yhteen Hauserin ja kollegoiden hypoteesin kanssa. Yhdessä näistä hypoteeseista seuraa mahdollisuus, että kädellisillä on sosiaaliseen kognitioon kehittynyt representationaalinen tiedonkäsittelyjärjestelmä (tästä eteenpäin KKE) ja ihmisen EKE on kehittynyt tästä järjestelmästä. Muotoilen tästä ajatuksesta hypoteesin, jota kutsun sosiaalisen preadaptaation hypoteesiksi:

Sosiaalisen preadaptaation hypoteesi:

Ihmisen ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteet (EKE) ovat kehittyneet kädellisten sosiaaliseen kognitioon kehittyneestä tiedonkäsittelyjärjestelmästä (KKE). Nämä järjestelmät muistuttavat toisiaan niin paljon, että EKE:n kehitys ei ole vaatinut kuin pieniä geneettisiä muutoksia.

Tarkemmin ilmaistuna sosiaalisen preadaptaation hypoteesi esittää, että jo varhaisessa vaiheessa kädellisten kehitystä sosiaaliset valintapaineet ovat alkaneet suosia sellaisia kognitiivisia kykyjä, jotka mahdollistavat monimutkaisen sosiaalisen ympäristön hahmottamisen. Sosiaalisen älykkyyden hypoteesin mukaisesti nämä valintapaineet ovat aiheuttaneet kädellisten aivojen kehittymisen kehon kokoon suhteutettuna suuriksi. Sosiaaliset valintapaineet ovat suosineet sellaisia kognitiivisia kykyjä, jotka mahdollistavat ryhmien rakenteiden representoimista sekä toisten yksilöiden intentionaalisuuden hahmottamista. Nämä kyvyt ovat olleet kehittyneitä jo ihmisen ja simpanssien kantamuodossa ja kuten

edellisessä luvussa todettiin, suurin osa ihmisen kognitiivisten kykyjen taustalla toimivista komputationaalisista prosesseista löytyy jo muiltakin kädellislajeilta. Ihmisen kehityslinjassa sosiaalisen kognition kykyihin vaikuttavat valintapaineet ovat mahdollisesti ekologisen dominanssin lisääntymisen vuoksi kasvaneet entisestään ja näistä kyvyistä ovat kehittyneet ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteemme (Cheney & Seyfarth 2005, 2008a, 2008b, Dunbar 2007, Flinn ym. 2004.)

Koska KKE ja EKE ovat hyvin lähellä toisiaan, ovat EKE:en kuuluvat vahvat erityispiirteemme, kuten generatiivisuus, ovat mahdollisesti syntyneet suhteellisen lyhyen ajan sisällä suhteellisen pienten mutaatioiden vaikutuksesta. Tällainen mutaatio on voinut tuottaa lajimme aivojen organisaatioon muutoksen, joka yhdessä jo olemassaolevan KKE:n kanssa tuottaa uusia, emergenssejä, kognitiivisia kykyjä. Tällainen skenaario selittäisi ihmisen evoluution punktuaalisen tahdin. Tämänkaltaista näkemystä kannattavat Brattico (2010) ja Chomsky (2005). Sosiaalisen preadaptaation hypoteesi esittää, että olemassa oleva tiedonkäsittelyjärjestelmä, joka mahdollistaa tällaisen skenaarion on kädellisten sosiaalisen kognition järjestelmä.

Lajimme uniikin elämäntavan mahdollistavat toissijaiset kognitiiviset erityispiirteemme, jotka nousevat ensisijaisten kognitiivisten erityiskykyjemme ja muiden kädellisten kanssa jakamiemme kognitiivisten kykyjen yhteisvaikutuksesta. Sosiaalisen preadaptaation hypoteesi olettaa, että ero ihmisen ja muiden eläinten kognitiossa on laadullinen, mutta perustuu hyvin suppeaan joukkoon kognitiivisia ja geneettisiä muutoksia. Toisin sanoen ihmisen geno- ja fenotyyppi ovat molemmat lähellä lajiamme edeltäneiden kädellisten geno- ja fenotyyppiä.

Hypoteesin tueksi esitän neljä laajempaa argumenttia, jotka käsittelen tarkemmin seuraavassa luvussa.

4.2.1 Hypoteesia tukevat aineisto

Hypoteesin ihmisen erityispiirteiden evoluutiosta on otettava huomioon geneettinen parsemonia ja oltava yhteensopiva fossiiliaineistoon perustuvan ihmisen evoluutiota koskevan tietomme kanssa.

Evoluutiogenetiikan parsemoniaperiaatteen mukaan vähiten geneettisiä muutoksia vaativa evolutiivinen skenaario on todennäköisin. Uudet geneettiset innovaatiot ovat hyvin harvinaisia ja evoluutio toimii enimmäkseen muuntelemalla olemassa olevia ominaisuuksia (Carroll 2005). Näiden periaatteiden mukaisesti myös teoria ihmisen kehityksestä, joka olettaa vähemmän geneettisiä muutoksia on todennäköisempi, enemmän muutoksia olettava. Ihmisen erityispiirteiden tapauksessa on myös huomioitava, että lajimme geneettinen ero simpanssiin on todella pieni (CSAC 2005).

Fossiiliaineiston perusteella ihmisen evoluutio on ollut punktuaalista. Lajimme kehitys voidaan jakaa karkeasti kolmeen kauteen, joita erottavat punktuaaliset muutokset esi-isiemme fenotyypissä. Kehityslinjamme erosi simpanssien linjasta 6 – 7 miljoonaa vuotta sitten ja tärkeimpänä erottavana tekijänä näyttää olevan pystyasento (Klein 2009). Esi-isiemme aivojen koko pysyi pienenä ja esinekulttuuri olemattomana vielä seuraavat 5 miljoonaa vuotta. Todennäköisesti tänä aikana apinaihmiisiin vaikuttivat lähinnä samankaltaiset valintapaineet kuin nykyisiin ihmisapinoihin. Noin 2 miljoonaa vuotta sitten tapahtui kehityslinjassamme ensimmäinen punktuaalinen muutos, kun lajit *Homo habilis* ja *Homo erectus* kehittyivät. Esi-isiemme aivojen koko alkoi kasvaa nopeasti ja työkalujen käyttö tuli yleiseksi. Flinn kollegoineen (2004) esittää, että tässä vaiheessa esi-isiemme ekologinen dominanssi alkoi merkittävästi kasvaa ja kilpailusta lajin sisällä tuli tärkein valintapaine. Viimeinen evoluutiomme vaihe käynnistyi n. 50 000 – 200 000 vuotta sitten suuren hyppäyksen tapahtuessa ja *Homo sapiensin* levitessä koko maailmaan. Hyppäyksen taustalla saattoi olla generatiivisuuden ja modernin kielikyvyn kehittyminen (Brattico 2010, Chomsky 2005).

Nämä tosiasiat rajoittavat hypoteeseja ihmisen erityispiirteiden evoluutiosta. Skenaariot, jotka olettavat, että ihmisen ja muiden kädellisten kognitiivisissa kyvyissä on suuri laadullinen ero, joka on kehittynyt ihmisen evoluution aikana ovat geneettisen parsemonian argumentin mukaan epätodennäköisempiä, kuin sellaiset skenaariot, jotka olettavat ihmisen tietojenkäsittelyn olevan lähellä muita kädellisiä (Cheney & Seyfarth 2008a, De Waal 2007, Dunbar 2007). Myös sellaiset skenaariot, jotka pohjautuvat pelkkään mikroevoluutioon ja esittävät ihmisen erityiskykyjen syntyneen valinnan vaikutuksesta tasaista tahtia evoluutiomme aikana ovat epätodennäköisiä, koska ne eivät pysty selittämään fossiiliaineistomme punktuaalisuutta (Klein 2009). Jäljelle jäävät skenaariot, jotka olettavat joko ihmisen erityispiirteillä olleen vahvat preadaptaatiot, joista erityispiirteet ovat punktuaalisesti nousseet pienten geneettisten muutosten vaikutuksesta tai skenaariot, jotka vetoavat makromutaatioon, joka on synnyttänyt EKE:n käytännössä tyhjästä. Koska preadaptaatioiden tiedetään olevan evoluutiossa tärkeitä sekä fenotyyppien tasolla (Carroll 2007) ja makromutaatioiden olemassaoloa ei ole todennettu, ovat preadaptaatioon perustuvat skenaariot selvästi parsemonisista tapoista selittää EKE:n kehitys.

Preadaptaation olettaminen EKE:n taustalle selittää miksi ihmisen ja simpanssin genotyypit ovat niin lähellä toisiaan ja se on geneettisesti parsemoninen selitys. Lisäksi preadaptaatioon perustuva EKE:n kehitys on täysin yhteensopiva punktuaalisen evoluutiomme kanssa: Punktuaaliset hyppäykset tapahtuvat, kun KKE:hen kehityy pienten geneettisten muutosten vaikutuksesta uusi ominaisuus, joka tuottaa emergenssejä, toissijaisia, piirteitä. Hyväksytyämme preadaptaatioihin perustuvan selityksen parsemonisimmaksi EKE:n kehityksen selitykseksi, jää jäljelle kysymys: Mikä kädellisten ominaisuus on toiminut EKE:n preadaptaationa?

Koska EKE:n komputationaalinen kategoria koostuu pitkälti ihmisen kieleen liittyvistä ominaisuuksista, on perusteltua olettaa, että preadaptaatio EKE:lle olisi aikaisempien kädellisten kommunikaatiojärjestelmä. Tätä hypoteesia vastaan on kuitenkin vahvoja argumentteja. Derek Bickerton (2007) esittää, että ihmisen kielikyky ei ole voinut kehittyä kädellisten vokalisaatioista, koska nämä poikkeavat radikaalisti nykyihmisen kielen sanoista. Vokalisaatiot ovat mm. geneettisesti määrättyjä, sisältävät yhdessä "sanassa" kokonaisen

ehdotuksen ja niitä ei voi käyttää, jollei vokalisaatioon liittyvä tilanne ole käynnissä. Myös Cheney ja Seyfarth (2003, 2005, 2008a) pitävät paviaanien vokalisaatioita hyvin rajoittuneina ja erilaisena järjestelmänä ihmisen kielestä. Taulukossa 8 vertaillaan ihmisen kieltä paviaanien kommunikaatioon

TAULUKKO 8. Ihmisen ja paviaanin kommunikaatio (Brattico 2008, Cheney & Seyfarth 2008a).

	Paviaani	Ihminen
Leksikon koko	n.20	n.15 000 – 60 000
Ilmaisujen määrä	n.20	Loputon
Leksikon omaksuminen	Geneettistä	Kulttuurista
Referentiaalisuus	Mahdollisesti	Kyllä
Kompositionaalisuus	Ei	Kyllä
Hierarkisuus	Ei	Kyllä
Sääntöjen ohjaamaa	Ei	Kyllä
Konkatenaatio	Ei	Kyllä
Ostensio	Ei	Kyllä
Rekursiivisuus	Ei	Kyllä
Generatiivisuus	Ei	Kyllä
Kieliopilliset elementit	Ei	Kyllä

Muiden kädellisten kommunikaatio poikkeaa siis paljon ihmisen kielestä, eikä näiden järjestelmien taustalla vaikuta juurikaan samoja komputationaalisia prosesseja. Jos EKE:n preadaptaatio on kädellisten kommunikaatiojärjestelmä, on ihmisen evoluutiossa täytynyt kehittyä suuri määrä uusia komputationaalisia prosesseja.

Sosiaalisen kognition järjestelmä EKE:n preadaptaationa on uskottavampi skenaario. Kaikilla eläimillä näyttää olevat suurempi kyky ymmärtää signaaleja, kuin lähettää niitä (Cheney & Seyfarth 2003). Ihmisen kieli heijastelee ajatteluamme - tutkimalla kieltä, on mahdollista tutkia kielen taustalla olevia komputationaalisia prosesseja (Brattico 2008). Muiden kädellisten tapauksessa kieli ja ajattelu ovat kuitenkin epäsymmetrisessä suhteessa ja näiden

eläinten vokalisaatioiden köyhyys ei heijasta niiden tiedonkäsittelyn köyhyyttä. Epäsuorilla menetelmillä on kuitenkin mahdollista tehdä päätelmiä näiden eläinten tiedonkäsittelystä, jonka suurimmat haasteet ovat sosiaalisen ympäristön hahmottaminen (Cheney & Seyfarth 2005, 2008a, Dunbar 2007.) Cheney ja Seyfarth (2008a, 2008b) esittävät, että paviaanien ajattelu sisältää monia ihmismäisiä piirteitä. Taulukossa 9 on vertailtu ihmisen ja paviaanien ajattelun taustalla vaikuttavia piirteitä.

TAULUKKO 9. Ihmisen ja paviaanin tiedonkäsittely (Brattico 2008, Cheney & Seyfarth 2008a, 2008b, Fodor 1975).

	Paviaani	Ihminen
Representationaalisuus	Kyllä	Kyllä
Kompositionaalisuus	Kyllä	Kyllä
Propositionaalisuus	Kyllä	Kyllä
Hierarkkisuus	Kyllä	Kyllä
Diskreetit elementit	Kyllä	Kyllä
Modaliteettiriippumattomuus	Kyllä	Kyllä
Sääntöjen ohjaamaa	Kyllä	Kyllä
Generatiivisuus	Ei	Kyllä
Abstraktin käsittely	Todennäköisesti ei	Kyllä

Taulukon 9 ei ole tarkoitus olla tyhjentävä kuvaus ihmisen ja paviaanien komputationaalisista prosesseista, mutta se demonstroi, että muilla kädellisillä on sosiaaliseen kognition liittyvässä tiedonkäsittelyssään huomattava määrä samankaltaisuutta ihmisen tiedonkäsittelyn kanssa. Tämä samankaltaisuus korostuu, kun verrataan paviaanien kommunikaatiota ihmisen kieleen taulukossa 8. Tällöin huomataan, että paviaanien tiedonkäsittely sisältää piirteitä, kuten kompositionaalisuuden ja hierarkkisuuden, joita niiden kommunikaatio ei ilmennä. Cheney ja Seyfarthin (2008a, 2008b) mukaan edellä mainitut paviaanien kognition piirteet ovat kehittyneet nimenomaan sosiaalisen ympäristön hahmottamiseen ja paviaaneilla on jatkuvat valintapaine menestyä sosiaalisti (Silk ym. 2003). He myös argumentoivat, että

paviaanien ajattelun kielen kaltainen representaatiojärjestelmä on kädellisten yleinen ominaisuus ja peräisin aikaisintaan vanhan maailman apinoiden ja ihmisapinoiden kantamuodolta, joka eli 30 miljoonaa vuotta sitten. Tämä on parsemoninen oletus, koska yhtäläisyydet paviaanien ja ihmisten tiedonkäsittelyssä ovat todennäköisesti homologisia ominaisuuksia.

Kädellisten sosiaaliseen kognitioon kehittynyt representaatiojärjestelmä on vahvin ehdokas EKE:n preadaptaatioksi, koska se ilmentää eniten ihmisen tiedonkäsittelyn taustalla olevia piirteitä. Kuten aikaisemmin on mainittu, yksi oleellinen ihmisen erityispiirteistä on kyky viedä konseptuaalis-intentionaalista järjestelmästä tietoa sensoris-motoriselle järjestelmälle ja tämän vuoksi kielemme heijastaa ajatuksiamme. Muilta kädellisiltä tämä kyky puuttuu.

Lopuksi todettakoon, että ajatusta sosiaalisen kognition järjestelmästä EKE:n preadaptaationa tukee myös ihmisen erityiskykyjen yhteys sosiaalisuuteen. Ihminen on erittäin sosiaalinen laji, joka on riippuvainen ryhmästä selvitäkseen ja lisääntyäkseen. Monet lajimme erityispiirteistä ovatkin sosiaaliseen toimintaan liittyviä tai niistä riippuvaisia. (Flinn ym. 2004, Hermann ym. 2007.)

Vastasyntynyt ihminen on täysin riippuvainen aikuisista ja, toisin kuin muilla kädellisillä, molemmat vanhemmat osallistuvat usein lapsen hoitoon. Ihmislapsen kehittyminen aikuiseksi on eläinkunnassa harvinaisen hidas prosessi. Tämä johtuu suurelta osin lajimme aivojen kehitykseen vaadittavasta ajasta. Ihmisen aivojen koon kasvun on siten täytynyt kehittyä yhdessä vastasyntyneen avuttomuuden ja pitkittyneen lapsuuden kanssa. Nämä ominaisuudet taas eivät ole voineet kehittyä ilman muutoksia lapsista huolehtimisen käytännöissä, jotka ovat vaatineet muutoksia ihmisryhmien sosiaalisessa rakenteessa. (Brattico 2008, Diamond 1992, Flinn ym. 2004.)

Ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteemme voidaan jakaa sosiaalisen kognition ja kehittyneen komputationaalisuuden alajärjestelmiin. Näistä sosiaalisen kognition kategoria on hyvin todennäköisesti kehittynyt sosiaalisten valintapaineiden vaikutuksesta, koska sen tuottama

valintaetu liittyy menestykseen ryhmässä. Komputationaalinen kategoria on Cheney'n ja Seyfarthin (2008a) mukaan myös mahdollisesti sosiaalisten valintapaineiden vaikutuksen alla. Lisäksi ihmisen kielikyky olisi nykyisessä muodossaan hyödytön ilman kehittyntä mielen mallia – emme voisi kommunikoida mieleemme sisältöä toisille, jollemme erottaisi, että toisten mielen sisältö poikkeaa omastamme. Tämän vuoksi kielikyky on luultavasti kehittynyt ainakin jossain määrin yhteisevoluutiossa sosiaalisen kognitiomme kanssa ja ollut tätä kautta sosiaalisten valintapaineiden alaisena.

Sosiaalisen preadaptaation hypoteesin mukaan erityispiirteemme ovat siten kehittyneet sosiaalisten valintapaineiden tuottamista preadaptaatiosta ja ilmaantumisen jälkeenkin niiden kehitystä ovat ohjanneet sosiaaliset valintapaineet. On mahdollista, että kehittynyt kielikyky ja jopa generatiivisuutemme ovat syntyneet sosiaalisen kognition järjestelmämme sivutuotteina ja valinta on alkanut suosia niihin liittyviä ei-sosiaalisia kykyjä vasta niiden ilmaantumisen jälkeen. Myös Hauser, Chomsky ja Fitch (2002) esittivät, että kielikyky kapeassa merkityksessä voisi olla evoluution sivutuote, mutta he eivät ottaneet kantaa siihen, minkä adaptaation sivutuote se olisi.

4.2.2 Hypoteesin kritiikkiä

Sosiaalisen preadaptaation hypoteesi on looginen päätelmä tutkielmassa esitetyn aineiston perusteella. On kuitenkin mahdollista esittää kysymyksiä ja kritiikkiä, joihin hypoteesin on pystyttävä vastaamaan, jotta se olisi uskottava. Tässä luvussa esitän näistä kysymyksistä tärkeimmät ja pyrin vastaamaan niihin.

Kysymys kädellisten kehityksen poikkeuksellisuudesta

Jos sosiaaliset valintapaineet suosivat kehittyneen tiedonkäsittelyn kehittymistä, niin miksi tällaista tiedonkäsittelyä ei ole kehittynyt kaikille sosiaalisille lajeille, kuten muurahaisille, silakoille tai antiloopeille?

Tähän kysymykseen voidaan etsiä vastausta kahdesta suunnasta. Ensinnäkin on huomionarvoista, että sosiaalisen älykkyyden hypoteesia voidaan jossain määrin soveltaa eikädellisiin lajeihin. Kädelliset vaikuttavat olevan ainoa taksonominen ryhmä, jossa aivojen koko korreloi suuren ryhmäkoon kanssa, mutta muissa taksonomisissa ryhmissä on havaittu suurten aivojen koon liittyvän pysyvään parinmuodostukseen (Dunbar & Shultz 2007). Dunbar ja Shultz (2007) esittävät, että pysyvä parinmuodostus olisi kognitiivisesti vaativaa ja ohjaisi aivojen kehitystä. Kädellisillä parinmuodostuksen mekanismi olisi laajentunut koskemaan kaikkia ryhmän jäseniä – kädelliset muodostaisivat kaikkiin tuntemiinsa eläimiin sosiaalisen suhteen. Tämä erityispiirre tekisi kädellisten sosiaalisesta elämästä erityisen monimutkaista ja olisi johtanut näiden eläinten aivojen kasvun kiihtymiseen. Toisin sanoen sosiaalinen elämä tuottaa muillakin taksonomisilla ryhmillä valintapaineen aivojen kehitykselle, mutta kädellisillä nämä valintapaineet ovat kaikkein voimakkaimmat. Muista taksonomisista ryhmistä delfiinit muistuttavat sosiaaliselta organisaatioltaan eniten kädellisiä ja delfiineillä onkin kehittynyt analogisia kommunikaatioon ja imitaatioon liittyviä sopeumia, joiden suhteen ne muistuttavat kognitiivisilta kyvyiltään kädellisiä ja ihmistä (Connor 2006).

Toinen tapa vastata kysymykseen on tuoda esiin kehitykselliset rajoitukset. Korkeat kognitiiviset kyvyt lokalisoituvat suurimmaksi osaksi neokorteksille. Tämä aivojen rakenne löytyy ainoastaan nisäkkäiltä ja sen kehittyminen on voinut avata nisäkkäisiin kuuluville lajeille mahdollisuuden kognition kehitykseen, joka ei ole mahdollisia esimerkiksi matelijoille tai kaloille. Selkärangattomilla eläimillä, kuten hyönteisillä, ei varsinaisesti ole aivoja, vaan ainoastaan ihmisen ääreishermostoon rinnastettavat rakenteet. Aivokudoksen puuttuminen todennäköisesti asettaa paljon rajoituksia kognitiivisten kykyjen nopealle kehitykselle. Edellä mainitut taksonomiset ryhmät ovat myös vaihtolämpöisiä. Suuret aivot vaativat paljon energiaa, joten niiden kehitys tuskin on mahdollista lajeissa, joiden energiatalous ei ole yhtä tehokas kuin nisäkkäillä. Tätä ajatusta tukee huomio, että lintujen kognitiiviset kyvyt ovat matelijoita kehittyneemmät ja sisältävät nisäkäsmäisiä piirteitä, vaikka linnut polveutuvat matelijoista. Oleellinen ero lintujen ja matelijoiden välillä on, että matelijat ovat vaihto- ja linnut tasalämpöisiä.

Mahdollinen vastaus kysymykseen, miksi kaikkien sosiaalisten lajien kognitio ei ole kehittynyttä on siten seuraava: Ryhmässä eläminen asettaa kaikille sosiaalisille lajeille valintapaineita kognition kehittymiseen, mutta kehitykselliset rajoitukset hillitsevät aivojen kehitystä. Kädellisillä on paremmat geneettiset, ekologiset ja morfologiset edellytykset suurten aivojen ja kehittyneen tietojenkäsittelyn kehittymiselle kuin muilla taksonomisilla ryhmillä. Kädellisille analogisia kognitiivisia sopeumia on kuitenkin kehittynyt muissakin tasalämpöisissä sosiaalisissa lajeissa, kuten delfiineissä ja linnuissa.

Kysymys ihmisen evoluution poikkeuksellisuudesta

Entä muut kädelliset? Kehitysrajoitteet eivät voi selittää, miksi ihmisen erityispiirteet eivät ole kehittyneet esimerkiksi simpanssissa. Molempiin lajeihin vaikuttavat sosiaaliset valintapaineet. Mikä ihmisen evoluutiossa on erityistä?

Tämä on erittäin tärkeä kysymys, jota käsiteltiin myös luvussa 3.1.3. Kuten kyseisessä luvussa todettiin, ihmisen kehityslinjaan on täytynyt vaikuttaa jollain tavalla muista kädellisistä poikkeava valintapaine. Hermann kollegoineen (2007) ehdotti, että ihmisen evoluutiossa riippuvuus kulttuurista ja työkaluista on aiheuttanut voimakkaan valinnan kulttuurin omaksumista helpottavia ominaisuuksia kohtaan. Tästä syystä mielen malliin ja kielikykyyn liittyvät ominaisuudet olisivat tulleet valituiksi tehokkaammin kuin muiden kädellisten kohdalla. Flinn kollegoineen (2004) esitti mahdolliseksi vastaukseksi ekologisen dominanssin mallin, jonka mukaan ihmisen kyky toimia ryhmässä ja käyttää työkaluja olisi vähentänyt häneen kohdistuvia ekologisia valintapaineita. Tästä syystä lajin sisäinen kilpailu olisi noussut evoluutiossamme tärkeimmäksi valintapaineeksi ja tästä syystä mm. sosiaalinen kognitiomme ja kielikykyimme olisivat tulleet voimakkaan valinnan alaisiksi. Molemmat näistä hypoteeseista ovat uskottavia, koska ne toimivat ainakin nykyaikana.

Ekologisen preadaptaation hypoteesin näkökulmasta edellä mainittujen kulttuurin omaksumiseen tai ryhmien väliseen kilpailuun liittyvien valintapaineiden ei ole täytynyt sinällään suosia ensisijaisia kognitiivisia erityispiirteitämme. Sen sijaan ne ovat voineet kehittää niitä preadaptaatioita, joista nykyiset kykyimme ovat punktuaalisesti kehittyneet.

Ongelma kulttuurisen älykkyyden hypoteesin ja ekologisen dominanssin mallin kohdalla on, että ne eivät selitä miten niiden erityisten valintapaineiden taustalla olevat ominaisuudet alunperin kehittyivät. Jonkin tekijän on täytynyt mahdollistaa ekologinen dominanssi ja kulttuurin kehittyminen ennen kuin ne voivat aiheuttaa muista kädellisistä poikkeavia valintapaineita. Uskon, että tämän alkuperäisen eroavaisuuden syntymisen selittämiseen ei tällä hetkellä ole olemassa tarvittavaa aineistoa. Konservatiivisin hypoteesi, joka alkuperäisen eron synnystä voidaan esittää on satunainen pieni geneettinen mutaatio, joka teki varhaisista esi-isistämme hiukan muita kädellisiä ekologisesti dominoivamman. Toinen vaihtoehto simpansseista poikkeavan ekologisen dominanssin synnylle saattaisi olla jokin pystyasentoon liittyvä muutos esi-isiamme ekologiassa.

Huomionarvoista on myös, että nykyihminen ei ole ollut luonnossa näin poikkeuksellinen laji kuin muutamina kymmeniä tuhansia vuosia. Simpanssien ja ihmisten kantamuodosta ei suinkaan syntynyt vain omaan lajiimme johtanutta kehityspolkua, vaan on ollut kymmeniä tai satoja lajeja joilla on ollut eri yhdistelmä nykyihmisen piirteitä ja omia erityispiirteitään. Suuren hyppäyksen aikaan lajimme kuitenkin syrjäytti kaikki muut ihmislajit. Olemme uniikkeja, koska lajimme on hävittänyt kaikki muut kaltaisensa eläimet, emme siksi, että tällaisia eläimiä ei olisi ollut muitakin. Jared Diamond (1992) esittää, että yksi lajimme erityispiirteistä on muukalaisviha ja kilpailijoiden hävittäminen. Tämä ajatus sopii hyvin yhteen ekologisen dominanssin mallin kanssa ja se voidaan esittää ekologian termeillä toteamalla, että maapallolla on vain yksi ekolokero kaltaisellemme lajille ja olemme syrjäyttäneet kaikki muut siitä kilpailevat lajit. Tällaista toimintaa on kenties tapahtunut syntysijoillamme Afrikassa jo miljoonia vuosia ja syy siihen, että muista kädellisistä ei ole kehittynyt lisää kaltaisiamme lajeja ei olekaan se, että se vaatisi vain omassa kehityslinjassamme tapahtuneen geneettisen muutoksen, vaan se, että tällaisten muutosten tapahtuessa syntynyt laji ei ole pystynyt kilpailemaan ihmisen ekolokerosta jo olemassa olevien lajien kanssa?

Bickertonin kritiikki kielen kehitykseen liittyen

Derek Bickerton (2007) esittää, että ihmisen kielikyky ei ole voinut kehittyä aikaisemmista kädellisten tiedonkäsittelyjärjestelmistä, koska kädellisten vokalisaatiot poikkeavat niin paljon ihmisen kielestä.

Kuten on jo käynyt ilmi, sosiaalisen preadaptaation hypoteesi ei ole, että kädellisten vokalisaatiot eivät ole preadaptaatio ihmisen kielelle. Jos kielikyky jaetaan Hauserin ja kumppaneiden (2002, 2005) ehdotuksen mukaan osajärjestelmiksi (tätä jakoa Bickerton ei tosin allekirjoita) ja hyväksytään Cheney ja Seyfarthin (2005, 2008a) hypoteesi, että kädelliset käyttävät ajattelun kielen kaltaista komputationaalista järjestelmää sosiaalisen todellisuutensa hahmottamiseen, nähdään että kielikyvyn komputationaalisen ja konseptuaalis-intentionaalisen alajärjestelmän preadaptaatio on kädellisten sosiaaliseen kognitioon käyttämä tiedonkäsittelyjärjestelmä. Tämä järjestelmä on paljon kehittyneempi kuin kädellisten rajoittunut kommunikaatio.

Eläinten kommunikaatiossa signaalin lähetys ja tulkinta ovat kaksi hyvin erilaista tapahtumaa, jotka voivat perustua erialisille kognitiivisille kyvyille ja näillä kyvyillä voi olla toisistaan irrallinen evoluutio (Cheney & Seyfart 2003). Kädellisten vokalisaatioiden tuottaminen on voinut toimia preadaptaationa ihmisen kielen sensoris-motoriselle alajärjestelmälle, mutta se voi olla erillinen järjestelmä kieleemme muista osista. Tätä ajatusta tukee myös tosiasia, että esimerkiksi hälytyshuudot eivät ole suinkaan kädellisten erityispiirre, vaan niitä löytyy mm. elefanteilta (King ym. 2010), linnuilta ja maaoravilta (Cheney & Seyfart 2003). Lisäksi ihmiset ovat kykeneviä tuottamaan ei-kielellisiä äännähdyksiä, jotka välittävät tietoa esimerkiksi fyysisestä tilastamme ilman symbolisia ja referentiaalisia sanoja. Ehkä tämän kyvyn taustalla on kielikyvystä poikkeava, evolutiivisesti vanhempi järjestelmä?

5 Yhteenveto

Nykyihmisen elämäntapa luonnossa on ainutlaatuinen ja näyttää poikkeavan merkittävästi muista eläimistä, myös lähimmistä sukulaisistamme, simpansseista. Evoluutiobiologia ja genetiikka ovat kuitenkin osoittaneet, että perimämme ja kehityshistoriamme eivät poikkea muista kädellisistä lainkaan yhtä paljon kuin elämäntapamme. Tämän vuoksi lajimme geno- ja fenotyypin välinen suhde on alkanut näyttää epäsymmetriseltä: Lajimme genomi poikkeaa simpanssien genomista vain vähän, mutta elämäntapamme on hyvin erilainen. Avainasemassa tämän näennäisen ristiriidan ratkaisemisessa on muiden kädellisten kognition ja elämäntavan tutkimus. Tällaista tutkimusta on alettu tehdä modernin kognitiotieteen ja psykologian käsitteistöä hyödyntäen vasta aivan viime aikoina. Tulokset muistuttavat genetiikan vastaavia: ihmisen ainutlaatuisten kognitiivisten kykyjen määrä on alkanut laskea sitä mukaa kuin muiden eläinten mielen toimintaa on alettu tuntea paremmin.

Tässä tutkielmassa pyrittiin yhdistämään tuoretta tietoa usealta eri tieteenalalta ja vastamaan kysymykseen: Mitkä piirteet erottavat ihmisen kognition muista eläimistä ja miten nämä ominaisuudet ovat saattaneet kehittyä? Käsitellyn aineiston perusteella näyttää siltä, että ihmisen ensisijaiset kognitiiviset erityispiirteet voidaan nähdä pienenä joukkona komputationaalisia prosesseja, jotka vastaavat generatiivisuudestamme, kielikykyimme kommunikatiivisesta osasta ja kehittyneestä sosiaalisesta kognitiostamme. Näiden kykyjen kehityksen selittämiseksi esitin sosiaalisen preadaptaation hypoteesin. Hypoteesini mukaan ihmisen kognitiiviset erityispiirteet ovat kehittyneet kognitiivisista preadaptaatioista, jotka ovat kehittyneet muilla kädellisillä sosiaalisten valintapaineiden vaikutuksesta.

Sosiaalisen preadaptaation hypoteesi poistaa lajimme geno- ja fenotyypimme välisen ristiriidan: elämäntapamme ainutlaatuisuus perustuu ensisijaisista kognitiivisista erityispiirteistämme nouseviin piirteisiin, jotka mahdollistavat merkittävät toissijaiset erityispiirteemme, kuten tiedon kumuloitumisen ja korkean teknologian. Evoluution kannalta fenotyypimme ero simpanssien vastaavaan on kuitenkin yhtä pieni kuin genotyyppiemme samankaltaisuus antaa ymmärtää. Suurin osa elämäntapamme mahdollistavasta tiedonkäsittelystä, kuten tiedon representoiminen ja propositionaalisten ajatusten muodostaminen ovat ominaisuuksia, jotka jaamme muiden kädellisten kanssa. Ihmisen geno-

ja fenotyypin välillä ei ole epäsymmetriaa, sen sijaan muiden kädellisten kognitiivisissa kyvyissä on epäsymmetrinen suhde: Näillä eläimillä on kehittynyt kyky käsitellä tietoa ja ymmärtää ympäristön viestejä, mutta niillä on hyvin rajoittunut kyky kommunikoida tätä tietoa toisille yksilöille. (Cheney & Seyfarth 2003, 2008a.)

Tutkielmassa käsitelty aineisto tukee sosiaalisen preadaptaation hypoteesia. Hypoteesi on geneettisesti parsemoninen ja yhteensopiva kehityshistoriastamme tunnetun tiedon kanssa. Cheney ja Seyfarthin (2008a, 2008b) ehdotus paviaanien ajattelun kielestä tarjoaa hypoteesin niistä kädellisten ominaisuuksista, jotka ovat toimineet erityispiirteidemme preadaptaatioina ja Herrmannin ja kollegoiden (2007) tutkimus alleviivaa sitä tosiasiaa, että erityispiirteemme ovat luonteeltaan sosiaaliseen toimintaan kehittyneitä. Sosiaalisen preadaptaation hypoteesi on myös yhteensopiva suosituksen hypoteesin kanssa, jonka mukaan modernin kielikyvyn kehittyminen olisi punktuaalinen tapahtuma, joka aiheutti suuren hyppäyksen (Brattico 2010, Bickerton 2007, Chomsky 2005, Diamond 1992). Se sopii yhteen myös kielitieteen minimalistisen teorian kanssa, joka olettaa, että mahdollisimman suuri osa kielikykyämme taustalla vaikuttavasta kognitiivisesta on evolutiivisesti vanhaa ja siten kehittynyt alunperin johonkin toiseen tarkoitukseen (Chomsky 2005). Tässä tutkielmassa esitettyssä muodossaan hypoteesilla on kuitenkin myös rajoituksia.

Ensinnäkin, kiinnostuksen kohteena olevat ihmisen erityispiirteet on tämän tutkielman puitteissa täytynyt rajata vain ensisijaisiin kognitiivisiin piirteisiin ja näiden evoluutiota on tarkasteltu erillään muista erityispiirteistämme. Tämä rajaus on ehkä liian vahva. Kognitiiviset piirteemme ovat todennäköisesti kehittyneet yhteisevoluutiossa fyysisten ja sosiaalisten piirteidemme kanssa ja valinta on kohdistunut kaikkiin näihin kategorioihin yhtä aikaa. Esimerkiksi tarttumakäden ja työkalujen käytön evoluutio ovat todennäköisesti olleet vahvasti toisistaan riippuvia. Jatkotutkimuksen sosiaalisen preadaptaatiohypoteesista tulisi ottaa muiden kategorioiden piirteet enemmän huomioon. Myöskin ensi- ja toissijaisten erityispiirteiden suhde on enemmän huomiota kaipaava aihe.

Olen tässä tutkielmassa olettanut, että evoluutio on kohdistunut vain ensisijaisiin piirteisiin toissijaisten piirteiden ollessa tämän kehityksen sivutuotteita. Vaikka valinta ei voikaan vaikuttaa toissijaisiin piirteisiin muuten kuin ensisijaisten piirteiden kautta, ovat toissijaiset

piirteet kuitenkin ne ominaisuudet, jotka käytännössä tuottavat eliölle valintaedun, joka ohjaa sen evoluutiota. Kyky ennustaa toisen eläimen käyttäytymistä perustuu ensisijaisille kyvyille, mutta kelpoisuusetu, joka tästä kyvystä seuraa, ei ole ilmiselvä ja se liittyy vahvasti eläimen sosiaalisen ympäristön laatuun. Ensi- ja toissijaisten piirteiden sekä kelpoisuuden ja valinnan välinen interaktio on hyvin monimutkainen aihe, jota ei kuitenkaan pidä tulevassa tutkimuksessa jättää huomioimatta.

Valitettavaa on myös, että sosiaalisen preadaptaation hypoteesi tukeutuu useille hyvin teoreettisille konstruktioiden, kuten komputationaaliselle mielenteorialle ja paviaanien ajattelun kielen hypoteesille. Nämä ajatukset ovat ennen kaikkea teoreettisia malleja, jotka auttavat tieteen tekijöitä hahmottamaan tutkittavaa ilmiötä sekä tekemään hypoteeseja ja niiden suhde todelliseen ilmiöön ja empiiriseen aineistoon on jossain määrin spekulatiivinen. Tieteellisen tiedon luonne on toki väistämättä jossain määrin ilmiöstä irrotettua, mutta mitä enemmän teoreettisia konstruktiota selitys sisältää, sitä vaikeampi sitä on testata tai falsifioida. Sosiaalisen preadaptaation hypoteesin tulevan kehittämisen tulisikin pyrkiä sitomaan se suuremmin empiiriseen aineistoon ja pohtimaan hypoteesin testattavuutta. Erityisesti tulevan tutkimuksen tulisi keskittyä luomaan tarkempi kuva muiden kädellisten tiedonkäsittelyjärjestelmästä, jolloin vertailu EKE:n ja KKE:n välillä tulisi helpommaksi.

Lopuksi mainittakoon, että kuten kaikki muutkin ihmisen erityispiirteitä ja niiden alkuperää käsittelevät teoriat, kärsii sosiaalisen preadaptaation hypoteesi tietomme puutteesta lajimme kehityksen käännekohtien tapahtumista. Mitä tapahtui lajimme kehityslinjan erotessa simpanssien kehityslinjasta, suvun *Homo* kehittyessä ja mikä todella aiheutti suuren hyppäyksen? Ekologisen dominanssin ja kulttuurisen älykkyyden hypoteesit voivat selittää evoluutiomme poikkeuksellisuutta muihin kädellisiin verrattuna erityispiirteidemme alettua kehittyä, mutta kysymys siitä, miksi ja milloin ensimmäiset merkittävät eromme muihin kädellisiin verrattuina kehittyivät on nykyisen aineiston pohjalta hyvin vaikeasti lähestyttävä.

Neanderthalin ihmisen genomiprojekti antaa kuitenkin toivoa, että ainakin suuren hyppäyksen taustalla olevat geneettiset muutokset voidaan tulevaisuudessa pystyä selvittämään. Jos oletamme, että hyppäys johtuu nykyihmisessä tapahtuneista mutaatioista, joita ei ole tapahtunut neanderthalin ihmisellä, näiden lajien geneettiset erot sisältävät suuren hyppäyksen

aikana tapahtuneet muutokset. Sosiaalisen preadaptaation hypoteesin kannalta erittäin mielenkiintoinen geneettinen löydös on, että geenien CADPS2 ja AUTS2 ympäristössä on merkkejä valintapyyhkäisystä nykyihmisellä, mutta ei neanderthain ihmisellä (Green ym. 2010). Vialliset CADPS2 ja AUTS2 liittyvät autismiin, laaja-alaiseen sosiaalisen kognition häiriöön. Toisin sanoen, ilmeisesti sosiaaliseen kognitioon liittyvät kyvyt ovat olleet voimakkaan positiivisen valinnan alla nykyihmisen kehityslinjan erottua neanderthain ihmisistä, aikana johon suuri hyppäyskin sijoittuu (Green ym. 2010).

Nykyisistä geneettisistä menetelmistä ei kuitenkaan tule olemaan hyötyä miljoonia vuosia sitten tapahtuneen kehityksen tutkimisessa. Sosiaalisen preadaptaation hypoteesiä parhaiten tukeva skenaario olisi, että *Homo* -suvun kehittyessä n. 2 miljoonaa vuotta sitten, ensimmäinen kehittynyt erityispiirteemme olisi muita kädellisiä kehittyneempi mielen malli. Tämä ominaisuus aiheuttaisi ekologisen dominanssin kasvamisen ja vahvan sosiaaliseen kognitioon ja kommunikaatiokykyyn vaikuttavan valinnan. Suuren hyppäykseen mennessä ihmisellä olisi ollut sosiaalisten valintapaineiden vaikutuksesta kehittyneenä kaikki kognitiiviset kykynsä lukuun ottamatta modaliteettiiriippumatonta rekursiota, jonka kehitys laukaisi hyppäyksen. Tämä skenaario on kuitenkin nykyisillä menetelmillä mahdoton todennettava ja siten puhdasta spekulatiota.

Sosiaalisen preadaptaation hypoteesi on mahdollinen skenaario, mutta saadakseen lisää uskottavuutta se vaatii edellä mainittujen rajoitusten huomioimista. Tutkielman suurin anti löytyykin mielestäni sen viitekehuksesta ihmisen ja muiden eläinten kognition tutkimukselle. Eläintutkijoiden yleisesti hyväksymä, mutta monien psykologien karsastama ajatus eläinten kognition tutkimuksesta hyödyntäen ihmisen mielen mallintamiseksi kehitettyjä teorioita on parsemoninen ja mielestäni myös hedelmällinen lähestymistapa. Koska lajimme on geneettisesti hyvin samankaltainen muiden kädellisten kanssa ja suurimman osan kehityshistoriaamme meihin ovat vaikuttaneet samat valintapaineet kuin muihinkin kädellisiin, on mielestäni perusteltua pitää ihmisen samankaltaisuutta muihin eläimiin nollahypoteesina komparatiivisessa kognition tutkimuksessa. Ihmisen erityispiirteiden määrittely ei ole triviaali tehtävä, vaan vaatii empiiristä tutkimusta. Esittämäni käsitteistö erityispiirteiden jakamiseen vahvoihin ja heikkoihin sekä ensi- ja toissijaisiin on mielestäni tarpeellinen ja hyödyllinen ja sen jatkokehittely voisi olla hyvä idea.

Yksittäinen teoreettinen näkökulma, joka mielestäni kaipaisi enemmän huomiota ihmisen kognition ja erityisesti kielen tutkimuksessa on mielen mallin ja kielikyvyn suhde. Eläinten kommunikaatiossa signaalin lähettäjä ei yleensä tarkoita välittää tietoa, mutta signaalin vastaanottaja kuitenkin tekee signaalista mahdollisesti hyvinkin rikkaan tulkinnan (Cheney & Seyfarth 2003). Tämä epäsymmetria tekee eläinten kommunikaatiosta lähtökohdiltaan hyvin erilaista ihmisen kieleen verrattuna ja eläimillä valintapaineet signaalien lähettämiseksi ja vastaanottamiselle ovat toisistaan erilliset. Tämän epäsymmetrian laukeaminen on saattanut olla avainasemassa ihmisen kielen kehityksessä ja esimerkiksi tietokonesimulaatiot kielen synnystä voisivat hyötyä tämän näkökulman huomioimisesta.

6 Lähteet

- Alexander, R. D. (1989). Evolution of the human psyche. *The Human Revolution*, , 455–513.
- Armstrong, E. (1983). Relative brain size and metabolism in mammals. *Science*, 220(4603), 1302.
- Bergman, T. J., Beehner, J. C., Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (2003). Hierarchical classification by rank and kinship in baboons. *Science*, 302(5648), 1234.
- Bickerton, D. (2007). Language evolution: A brief guide for linguists. *Lingua*, 117(3), 510-526.
- Boisserie, J., Lihoreau, F., & Brunet, M. (2005). The position of hippopotamidae within cetartiodactyla. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(5), 1537-1541.
- Bowles, S. (2009). Did warfare among ancestral hunter-gatherers affect the evolution of human social behaviors? *Science*, 324(5932), 1293.
- Brattico, P. J. (2008). *Biolingvistiikka*. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Pres.
- Brattico, P. J. (2010). Recursion hypothesis considered as a research program for cognitive science. *Minds and Machines*,
- Brunet, M., Guy, F., Pilbeam, D., Lieberman, D. E., Likius, A., Mackaye, H. T., et al. (2005). New material of the earliest hominid from the upper miocene of chad. *Nature*, 434(7034), 752-755.
- Brunet, M., Guy, F., Pilbeam, D., Mackaye, H. T., Likius, A., Ahounta, D., et al. (2002). A new hominid from the upper miocene of chad, central africa. *Nature*, 418(6894), 145-151.
- Byrne, R. W., & Whiten, A. (1988). *Machiavellian intelligence: Social expertise and the evolution of intellect in monkeys, apes, and humans* Clarendon Press Oxford.
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2008). *Biology 8th edition*. San Francisco: Benjamin Cummings.
- Carroll, S. B. (2007). *Loputtomat kauniit muodot* [Endless forms most beautiful: The new science of evo devo] (K. Pietiläinen Trans.). Hakapaino, Helsinki: Terra Cognita Oy.
- Chalmers, D. J. (1996). *The conscious mind* Oxford Univ. Press.
- Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (1999). Recognition of other individuals' social relationships by female baboons. *Animal Behaviour*, 58(1), 67-75.
- Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (2005). Constraints and preadaptations in the earliest stages of language evolution. *The Linguistic Review*, 22(2-4), 135-159.
- Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (2008a). *Baboon metaphysics: The evolution of a social mind* University of Chicago Press.

- Cheney, D. L., Seyfarth, R. M., & Silk, J. B. (1995). The responses of female baboons (*Papio cynocephalus ursinus*) to anomalous social interactions: Evidence for causal reasoning?. *Journal of Comparative Psychology*, *109*(2), 134-141.
- Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (1990). How monkeys see the world: Inside the mind of another species.
- Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (1997). Reconciliatory grunts by dominant female baboons influence victims' behaviour. *Animal Behaviour*, *54*, 409-418.
- Chomsky, N. (1957). *Syntactic structures* Walter de Gruyter.
- Chomsky, N. (2005). Three factors in language design. *Linguistic Inquiry*, *36*(1), 1-22.
- Clutton-Brock, T. H., & Harvey, P. H. (1980). Primates, brains and ecology. *Journal of Zoology*, *207*, 151-169.
- Connor, R. C. (2007). Dolphin social intelligence: Complex alliance relationships in bottlenose dolphins and a consideration of selective environments for extreme brain size evolution in mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *362*(1480), 587-602.
- Corballis, M. C. (2009). Mental time travel and the shaping of language. *Experimental Brain Research*, *192*(3), 553-560.
- Darwin, C. (1859). On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. *New York: D.Appleton*,
- De Waal, F. (2007). *Chimpanzee politics: Power and sex among apes* JOHNS HOPKINS UNIVER.
- Diamond, J. (1992). *Kolmas simpanssi: Ihmiseläimen evoluutio ja tulevaisuus* [The third chimpanzee: The evolution and future of the human animal] (K. Pietiläinen Trans.). Helsinki: Terra Cognita Oy.
- Dunbar, R. I. M. The social brain hypothesis. *Brain*, *9*, 10.
- Dunbar, R. (2003). PSYCHOLOGY: Evolution of the social brain. *Science*, *302*(5648), 1160-1161.
- Eldredge, N., & Gould, S. J. (1972). Punctuated equilibria: An alternative to phyletic gradualism. *Models in Paleobiology*, *82*, 115.
- Enard, W., Przeworski, M., Fisher, S. E., Lai, C. S. L., Wiebe, V., Kitano, T., et al. (2001). Molecular evolution of FOXP2, a gene involved in speech and language. *Cell.Biol*, *2*, 339-349.
- Engh, A. L., Hoffmeier, R. R., Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (2006). Who, me? can baboons infer the target of vocalizations? *Animal Behaviour*, *71*(2), 381-387.
- Fisher, S. E., & Marcus, G. F. (2005). The eloquent ape: Genes, brains and the evolution of language. *Structure*, *7*, 8.
- Fitch, W., & Hauser, M. D. (2004). Computational constraints on syntactic processing in a nonhuman primate. *Science*, *303*(5656), 377.

- Fitch, W. T., Hauser, M. D., & Chomsky, N. (2005). The evolution of the language faculty: Clarifications and implications. *Cognition*, 97(2), 179-210.
- Flinn, M. V., Geary, D. C., & Ward, C. V. (2005). Ecological dominance, social competition, and coalitionary arms races why humans evolved extraordinary intelligence. *Evolution and Human Behavior*, 26(1), 10-46.
- Fodor, J. A. (1975). *The language of thought* Harvard Univ Pr.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind* MIT press Cambridge, MA.
- Freeman, S., & Herron, J. C. (2007). *Evolutionary analysis 4th edition*. Upper Saddle River, N.J., Pearson Prentice Hall: Benjamin Cummings.
- Gil-da-Costa, R., Braun, A., Lopes, M., Hauser, M. D., Carson, R. E., Herscovitch, P., et al. (2004). Toward an evolutionary perspective on conceptual representation: Species-specific calls activate visual and affective processing systems in the macaque. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(50), 17516.
- Goodall, J. (1964). Tool-using and aimed throwing in a community of free-living chimpanzees. *Nature*, 201, 1264-1266.
- Gould, S. J. (1977). The return of hopeful monsters. *Natural History*, 86(6), 22-30.
- Gould, S. J., & Eldredge, N. (2000). Punctuated equilibrium comes of age. *Shaking the Tree: Readings from Nature in the History of Life*, , 17-31.
- Green, R. E., Krause, J., Ptak, S. E., Briggs, A. W., Ronan, M. T., Simons, J. F., et al. (2006). Analysis of one million base pairs of neanderthal DNA. *NATURE-LONDON*, 444(7117), 330.
- Green, R. E., Krause, J., Briggs, A. W., Maricic, T., Stenzel, U., Kircher, M., et al. (2010). A draft sequence of the neanderthal genome. *Science*, 328(5979), 710-722.
- Haile-Selassie, Y., Suwa, G., & White, T. D. (2004). Late miocene teeth from middle awash, ethiopia, and early hominid dental evolution. *Science*, 303(5663), 1503-1505.
- Hauser, M. D. (2009). The possibility of impossible cultures. *Nature*, 460(7252), 190-196.
- Hauser, M. D., Barner, D., & O'Donnell, T. (2007). Evolutionary linguistics: A new look at an old landscape. *Language Learning and Development*, 3(2), 101-132.
- Hauser, M. D., Chomsky, N., & Fitch, W. T. (2002). The faculty of language: What is it, who has it, and how did it evolve? *Science*, 298(5598), 1569-1579.
- Herrmann, E., Call, J., Hernandez-Lloreda, M. V., Hare, B., & Tomasello, M. (2007). Humans have evolved specialized skills of social cognition: The cultural intelligence hypothesis. *Science*, 317(5843), 1360-1366.
- House, J., Landis, K., & Umberson, D. (1988). Social relationships and health. *Science*, 241(4865), 540.
- Humphrey, N. (1976). The social function of intellect. *Growing Points in Ethology: Based on a Conference Sponsored by St. John's College and King's College, Cambridge*, 303.

- Jerison, H. J. (1973). *Evolution of the brain and intelligence*. New York: Academic Press.
- King, L. E., Soltis, J., Douglas-Hamilton, I., Savage, A., & Vollrath, F. (2010). Bee threat elicits alarm call in african elephants. *PLoS ONE*, 5(4), e10346.
- Klein, R. G. (2009). *The human career: Human biological and cultural origins 3dr edition* University Of Chicago Press.
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2003). *Fundamentals of human neuropsychology* Worth Pub.
- Krause, J., Lalueza-Fox, C., Orlando, L., Enard, W., Green, R. E., Burbano, H. A. et al. (2007). The derived FOXP2 variant of modern humans was shared with neandertals [Abstract]. 17(21) 1908-1912.
- Lai, C. S. L., Fisher, S. E., Hurst, J. A., Vargha-Khadem, F., & Monaco, A. P. (2001). A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature*, 413(6855), 519-523.
- Lefebvre, L., Reader, S. M., & Sol, D. (2004). Brains, innovations and evolution in birds and primates. *Brain, Behav Evol*, 63(4), 233-246.
- Martin, R. D. (1981). Relative brain size and basal metabolic rate in terrestrial vertebrates.
- Medler, D. A. (1998). A brief history of connectionism. *Neural Computing Surveys*, 1, 18-72.
- Morwood, M. J., Soejono, R. P., Roberts, R. G., Sutikna, T., Turney, C. S. M., Westaway, K. E., et al. (2004). Archaeology and age of a new hominin from flores in eastern indonesia. *Nature*, 431(7012), 1087-1091.
- Mulcahy, N. J., & Call, J. (2006). Apes save tools for future use. *Science*, 312(5776), 1038.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1976). Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. *Communications of the ACM*, 19(3), 126.
- Nielsen, R., Hellmann, I., Hubisz, M., Bustamante, C., & Clark, A. G. (2007). Recent and ongoing selection in the human genome. *Nature Reviews Genetics*, 8(11), 857-868.
- Noonan, J. P., Coop, G., Kudaravalli, S., Smith, D., Krause, J., Alessi, J., et al. (2006). Sequencing and analysis of neanderthal genomic DNA. *Science*, 314(5802), 1113.
- Owren, M. J., Dieter, J. A., Seyfarth, R. M., & Cheney, D. L. (1993). Vocalizations of rhesus (macaca mulatta) and japanese (M. fuscata) macaques cross-fostered between species show evidence of only limited modification. *Developmental Psychobiology*, 26(7), 389-406.
- Penn, D. C., Holyoak, K. J., & Povinelli, D. J. (2008). Darwin's mistake: Explaining the discontinuity between human and nonhuman minds. *Behavioral and Brain Sciences*, 31(02), 109-130.
- Piccinini, G. (2009). Computationalism in the philosophy of mind. *Philosophy Compass*, 4(3), 515-532.
- Raby, C., Alexis, D., Dickinson, A., & Clayton, N. (2007). Planning for the future by western scrub-jays. *Nature*, 445(7130), 919-921.

- Reader, S. M., & Laland, K. N. (2002). Social intelligence, innovation, and enhanced brain size in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(7), 4436-4441.
- Revonsuo, A. (2006). *Inner presence: Consciousness as a biological phenomenon* MIT Press Cambridge, MA.
- Richmond, B. G., & Jungers, W. L. (2008). *Orrorin tugenensis* femoral morphology and the evolution of hominin bipedalism. *Science*, 319(5870), 1662-1665.
- Seyfarth, R. M., & Cheney, D. L. (2003). Signalers and receivers in animal communication. *Annual Review of Psychology*, 54(1), 145-173.
- Seyfarth, R. M., Cheney, D. L., & Bergman, T. J. (2005). Primate social cognition and the origins of language. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(6), 264-266.
- Seyfarth, R. M., & Cheney, D. L. (2002). What are big brains for? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(7), 4141-4142.
- Seyfarth, R., & Cheney, D. (2008b). Primate social knowledge and the origins of language. *Mind & Society*, 7(1), 129-142.
- Shoshani, J., Kupsky, W. J., & Marchant, G. H. (2006). Elephant brain part I: Gross morphology, functions, comparative anatomy, and evolution. *Brain Research Bulletin*, 70(2), 124-157.
- Shu, W., Cho, J. Y., Jiang, Y., Zhang, M., Weisz, D., Elder, G. A., et al. (2005). Altered ultrasonic vocalization in mice with a disruption in the *Foxp2* gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(27), 9643.
- Silk, J. B. (2007). Social components of fitness in primate groups. *Science*, 317(5843), 1347-1351.
- Silk, J. B., Alberts, S. C., & Altmann, J. (2003). Social bonds of female baboons enhance infant survival. *Science*, 302(5648), 1231-1234.
- Slocombe, K., Townsend, S., & Zuberbühler, K. (2009). Wild chimpanzees (*Pan troglodytes schweinfurthii*) distinguish between different scream types: Evidence from a playback study. *Animal Cognition*, 12(3), 441-449.
- Sol, D., Duncan, R. P., Blackburn, T. M., Cassey, P., & Lefebvre, L. (2005). Big brains, enhanced cognition, and response of birds to novel environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(15), 5460-5465.
- Steiper, M. E., & Young, N. M. (2006). Primate molecular divergence dates. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 41(2), 384-394.
- The Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium. (2005). Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome. *Nature*, 437(7055), 69-87.
- Theißen, G. (2009). Saltational evolution: Hopeful monsters are here to stay. *Theory in Biosciences*, 128(1), 43-51.
- Tomasello, M., Hare, B., & Agnetta, B. (1999). Chimpanzees, pan troglodytes, follow gaze direction geometrically. *Animal Behaviour*, 58(4), 769-777.

- Turing, A. M. (1936). On computable numbers, with an application to the entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42(2), 230-265.
- Valste, J. (2004). *Apinasta ihmiseksi*. Helsinki: WSOY.
- Whiten, A., & Byrne, R. W. (1997). *Machiavellian intelligence II: Extensions and evaluations*. Cambridge Univ Pr.
- Wood, B., & Collard, M. (1999). The human genus. *Science*, 284(5411), 65.
- Zollikofer, C. P. E., Ponce de Leon, M. S., Lieberman, D. E., Guy, F., Pilbeam, D., Likius, A., et al. (2005). Virtual cranial reconstruction of sahelanthropus tchadensis. *Nature*, 434(7034), 755-759.