

HELSINGIN YLIOPISTO
KÄYTTÄYTYMISTIETEIDEN LAITOS
KOGNITIOTIETEEN YKSIKKÖ

Kandidaatintutkielma

Päätöksenteko ja affektiiviset arviot

Jukka Mikael Toivanen
013171078

Ohjaaja: Otto Lappi

20.4.2011

Sisältö

1 Johdanto	1
2 Klassinen päätösteoria ja perinteisen mallin kritiikki	2
3 Päätöksenteon psykologiaa	3
4 Emootioiden rooli päätöksissä	4
5 Emootiot ja vahvistusoppiminen	6
6 Päätöksenteon hermostolliset mekanismit	8
6.1 Keskiaivojen dopaminerginen järjestelmä	9
6.2 Mantelitumake	11
6.3 Orbitaalinen otsalohko	14
7 Yhteenveto	17
Viitteet	19

1 Johdanto

Kuinka valitsemme vaatteemme, asuntonemme tai ammattimme useiden vaihtoehtojen joukosta? Perinteisen päätösteorian mukaan valintavaihtoehdot asetetaan paremmuusjärjestykseen analysoimalla niiden toteutumistodennäköisyyttä ja mahdollisesti tuottamaa hyötyä. Kuitenkin todellisissa valintatilanteissa käytettävissä oleva aika, saatavilla olevan tiedon määrä ja laatu sekä päätöksentekijän kyky käsitellä tätä tietoa rajoittavat vaihtoehtojen erittelyä (esim. Simon, 1956; Gigerenzer ja Goldstein, 1996; Martino et al., 2006). Kokeellisissa tutkimuksissa on lisäksi havaittu, ettei ihmisten valintakäyttäytyminen noudata rationaalisen valintateorian ennusteita (mm. Tversky ja Kahneman, 1974; Kahneman ja Tversky, 1979, 2000; Camerer, 2000). Näin ollen on todennäköistä, että valintatilanteissa turvaudutaan enemmän tilannetta yksinkertaistaviin heuristiikkoihin kuin vaihtoehtojen täydelliseen analysointiin.

Emootiot nähdään perinteisessä päätösteoriassa epäolennaisina itse valintaprosessille. Kokeellisten havaintojen mukaan ne kuitenkin vaikuttavat merkittävästi ihmisten valinnoissa, ja emootioiden keskeinen osuus rationaalisessa päätöksenteossa on alkanut saada entistä enemmän huomiota alan tutkimuksessa (mm. Litt et al., 2008; Loewenstein et al., 2001; Lerner ja Keltner, 2000). Tässä tutkielmassa tarkastelen näkemystä, jonka mukaan emootiot vaikuttavat merkittävästi rationaalisten päätösten syntyyn. Ne saattavat toimia valintatilanteen heuristisen arvioinnin keinona ja tarjota ihmiselle sekä muille korkeammille eläimille tehokkaan päätöksentekomekanismin.

Aluksi määrittelen, mitä päätöksenteolla tarkoitetaan, ja käsittelen klassisen päätösteorian ongelmia (mm. von Neumann ja Morgenstern, 1947; Kahneman ja Tversky, 2000; Martino et al., 2006). Seuraavaksi määrittelen affektin ja emotionin käsitteet sekä esittelen tutkimustuloksia emootioiden vaikutuksista päätöstilanteisiin (mm. Lerner ja Keltner, 2000; Mellers et al., 1998). Tämän jälkeen tarkastelen emootioiden osuutta päätöksissä sekä vahvistusoppimista, joka tarjoaa erään lupaavimmista tavoista liittää emootiot päätöksentekoon (mm. Loewenstein et al., 2001; Rolls, 1990). Tutkielman jälkimmäisessä osassa käsittelen emotionaalisten valintaprosessien toteutumista hermostollisella tasolla. Keskityn esittelemään tutkimuksia dopaminergisen järjestelmän, manteliumakkeen ja orbitaalisen otsalohkon osuudesta päätöksenteossa, sillä nykykäsityksen mukaan nämä aivojen alueet osallistuvat merkittävästi sekä emootioiden että valintatilanteiden prosessointiin.

2 Klassinen päätösteoria ja perinteisen mallin kritiikki

Päätöksentekoa pidetään *päätelyn* ja *ongelmanratkaisun* ohella yhtenä korkeammista ajattelutoiminnoista. Tässä tutkielmassa sillä tarkoitetaan prosessia, joka johtaa yhden vaihtoehdon valitsemiseen useiden joukosta. Voidakseen tehdä valinnan yksilön täytyy klassisen päätösteorian mukaan toisaalta arvioida vaihtoehdoista seuraavien lopputulosten toteutumisen todennäköisyyttä ja toisaalta liittää vaihtoehtoihin arvotuksia. Päätöksenteko eroaa esimerkiksi päätelystä siten, että päätelyyn, jossa aiemmasta tiedosta johdetaan seurauksia, ei liity tilanteeseen liittyvän tiedon arvottamista.

Perinteisen päätösteorian mukaan yksilöt pyrkivät valitsemaan tarjolla olevista vaihtoehdoista sen, jolla on suurin *odotettu utiliteetti* (mm. von Neumann ja Morgenstern, 1947). Tämä tarkoittaa, että jokaiselle valintavaihtoehdolle asetetaan yksikäsitteinen hyötyarvo, joka saadaan erittelemällä vaihtoehtojen toteutuessaan tuottamaa hyötyä (*subjektiivinen utiliteetti*) ja toteutumisen todennäköisyyttä (*subjektiivinen todennäköisyysarvio*) ja kertomalla nämä kaksi arviota keskenään. Parhaan vaihtoehdon odotettu utiliteetti saadaan tällöin kaavasta $E(u_i) = \arg \max_i (p_i u_i)$, missä $E(u_i)$ tarkoittaa odotettua utiliteettia, p_i todennäköisyysarviota ja u_i utiliteettia vaihtoehdolle i .

Kokeellisten havaintojen perusteella utiliteettiteoria ei kuitenkaan kuvaa ihmisten todellista käyttäytymistä (mm. Tversky ja Kahneman, 1974; Kahneman ja Tversky, 1979, 2000; Camerer, 2000). Esimerkkinä tästä käy Kahnemanin ja Tverskyn (2000) havaitsema *kehystysefekti* (engl. *framing effect*), jonka hermostollista toteutumista tarkastelen luvussa 6.2. Kehystysefektilä tarkoitetaan ilmiötä, jonka mukaan valintatilanteen erilaiset esitystavat vaikuttavat päätökseen. Se kyseenalaistaa perinteisen päätösteorian paikkansapitävyyden, sillä klassisen teorian mukaan päätösten pitäisi olla loogisesti johdonmukaisia ja siten *invariantteja* valintatilanteen kuvaukselle. Ihmiset ovat myös taipuvaisia painottamaan päätöksissään enemmän tietyn suuruista menetystä kuin vastaavan suuruista voittoa, ankkuroitumaan aiempiin päätöksiin ja alkuarvioihin sekä tekemään tilastollisia virhearvioita (Tversky ja Kahneman, 1974). Mainitut havainnot asettavat kyseenalaiseksi perinteisen näkemyksen ihmisen rationaalisuudesta ja päätöksenteon järjestelmällisyydestä.

Valintavaihtoehtojen läpikotainen puntarointi ei välttämättä ole todellisissa valintatilanteissa edes mahdollista. Käytettävissä oleva aika, yksilöiden tiedonkäsittelykyky ja saatavilla olevan tiedon määrä sekä laatu rajoittavat vaihtoehtojen analyttistä arviointia. Esimerkiksi jos saatavilla oleva informaatio on epätäydellistä tai liian monimutkaista, ihmiset turvautuvat ennemmin yksinkertaistaviin *heuristiikkoihin* eli niin kutsuttuihin peukalosääntöihin kuin valintavaihtoehtojen täydelliseen erittelyyn (Martino et al., 2006). Simon (1956) huomauttaa, että informaationkäsittelyjärjestelmien tarvitsee tyypillisesti tehdä ainoastaan tyydyttävä valinta (engl. *satisfice*) pikemminkin kuin valita paras vaihtoehto (engl. *optimize*). Myös päätöstilanteiden tietokonesimulaatiot tukevat näkemystä, jonka mukaan reaalimaailmassa menestyksikkäiden valintamekanismien ei tarvitse täyttää utiliteettiteorian normeja (Gigerenzer ja Goldstein, 1996).

3 Päätöksenteon psykologiaa

Psykologisissa kokeissa ja arkielämässä on helppoa havaita, että ihmisten päätöksiin kytkeytyy usein vahvoja *emootioita*. Emootiolla tarkoitetaan tässä yhteydessä ympäristön ärsykkeen aiheuttamaa kognitiivis-fysiologista tilaa, johon voi liittyä tietoinen subjektiivinen tunnekokemus. Psykologisessa kirjallisuudessa emootion käsitteellä on yläkäsite *affekti*, johon yleensä luetaan emootioiden lisäksi *mieliala* (engl. *mood*) sekä *tunne* (engl. *feeling*), jolla tarkoitetaan emootion tietoista kokemusta.

Affektiivisten tekijöiden vaikutuksesta kognitiivisiin prosesseihin ja erityisesti päätöksentekoon on saatu runsaasti kokeellista näyttöä, ja myös taustamielialan on todettu vaikuttavan valintavaihtoehtojen arviointiin. Havaintojen mukaan esimerkiksi elokuvien katselun, vaativiin tentteihin valmistautumisen tai auringonoton aiheuttamat emootiot vaikuttavat myös näihin toimintoihin liittymättömiin päätöksiin (Lerner ja Keltner, 2000).

Useimmat teoriat affektiivisten tekijöiden vaikutuksesta päätöksentekoon ovat *valenssipohjaisia*, eli ne asettavat vastakkain toisaalta myönteisten emootioiden, kuten ilon, ja toisaalta kielteisten emootioiden, kuten vihan, vaikutukset valintoihin. Näissä teorioissa ei tarkastella tapauksia, joissa samanvalenssisillä eri emootioilla on erilaiset vaikutukset päätöksiin. Lerner ja Keltner (2000) ovat kuitenkin havainneet, että esimerkiksi viha ja pelko, jotka luokitellaan

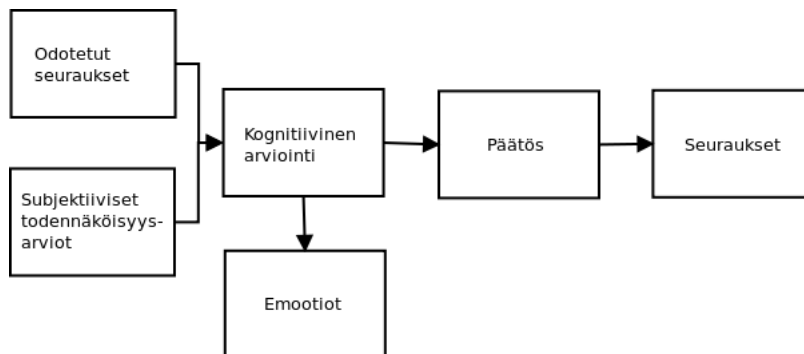
molemmat kielteisiksi emootioiksi, vaikuttavat eri tavalla *riskin* eli mahdollisen menetyksen havaitsemiseen ja siten yleisesti päätöksentekoon. Heidän mukaansa pelokkaat ihmiset arvioivat tulevaisuuden tapahtumat kielteisesti, kun taas vihaiset ihmiset arvioivat ne myönteisesti.

Muun muassa Isenin (1994) mukaan myönteiset emootiot lisäävät luovaa ongelmanratkaisua ja helpottavat informaation yhdistelemistä. Estrada kollegoineen (1994) on puolestaan havainnut, että koeasetelmassa valenssiltaan myönteisen mielialan valtaan saadut lääkärit osoittavat kontrollihenkilöitä vähemmän ankkuroitumista aiempiin diagnooseihin ja ajattelevat luovemmin. Myönteiset emootiot voivat lisätä etsinnän vaihtelua, suotuisien tapahtumien todennäköisyyksien yliarviointia ja vastaavasti epäsuotuisien tapahtumien todennäköisyyksien aliarviointia (Clore ja Huntsinger, 2007). Sitä vastoin Bodenhausen kollegoineen (1994) on havainnut, että valenssiltaan myönteisen mielialan vallitessa ihmiset ovat taipuvaisempia stereotyyppisempään ajattelutapaan kuin neutraalissa mielialassa olevat. Tämä ilmiö kuitenkin katoaa, kun henkilöiltä vaaditaan vastuuta päätösten seurauksista.

Kielteiset emootiot puolestaan voivat kaventaa tarkkaavaisuutta ja uusien vaihtoehtojen etsintää. Valenssiltaan kielteisen mielialan vallitessa ihmiset tekevät enemmän vaihtoehtojen ominaisuuksiin kuin vaihtoehtoihin perustuvia päätöksiä. Lisäksi he tekevät päätökset nopeammin ja erittelevät informaation käyttöönsä vähemmän, mikä voi lisätä valintojen tarkkuutta helpoissa tehtävissä ja vastaavasti vähentää sitä vaikeammassa tehtävissä. (Mellers et al., 1998; Clore ja Huntsinger, 2007.)

4 Emootioiden rooli päätöksissä

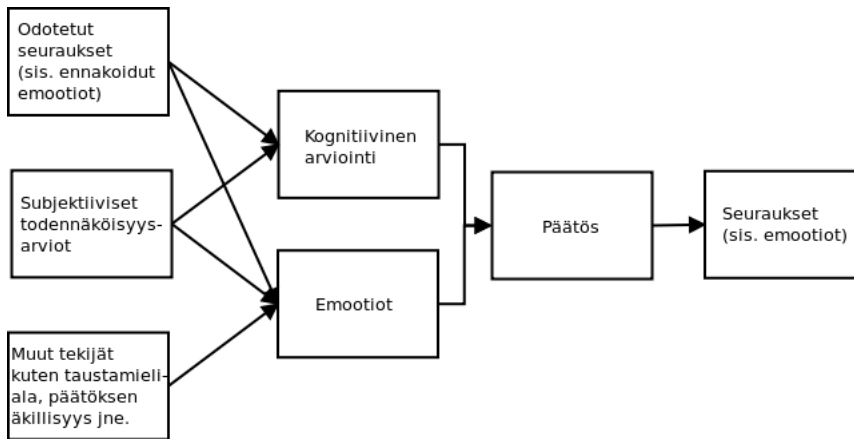
Vaikka päätöstilanteissa esiintyvistä emootioista onkin saatu runsaasti kokeellista näyttöä, on valintatilanteen aikaansaamat emootiot nähty perinteisissä päätösteorioissa *epifenomenaalisina* eli epäolennaisina itse päätöksentekoprosessille. Neuropsykologisen aineiston perusteella emootioilla on kuitenkin erittäin keskeinen osuus päätöksenteossa: aivojen emootioita prosessoivien alueiden vauriot vahingoittavat usein myös kykyä tehdä päätöksiä (Damasio, 1994). Emootioiden keskeinen osuus päätöksenteossa onkin alkanut saada entistä enemmän huomiota alan tutkimuksessa (mm. Litt et al., 2008; Loewenstein et al., 2001; Lerner ja Keltner, 2000).



Kuva 1: Perinteisen päätösteorian malli, jossa emootiot nähdään epifenomenaalisina (mukailtu lähteestä Loewenstein et al., 2001).

Loewenstein kollegoineen (2001) erottaa toisistaan *edeltävien* (engl. *anticipatory*) ja *ennakkoitujen* (engl. *anticipated*) emootioiden vaikutuksen päätöksentekoon. Edeltävät emootiot, kuten pelko tai ahdistus, ovat välittömiä fysiologisia muutoksia aiheuttavia reaktioita riskeihin ja epävarmuuteen. Ennakoituja emootioita taas ei tyypillisesti koeta päätöksentekohetkellä, vaan niiden kokeminen on odotettavissa tulevaisuudessa. Siinä määrin kuin päätöksenteon tutkimuksessa emootiot on otettu huomioon, kyseessä ovat yleensä olleet ennakoitujen emootioiden vaikutus. Päätöksentekijöiden oletetaan ennakoivan, millaisia emootioita he kokisivat valintatilanteen erilaisten lopputulosten seurauksena. Joissakin teorioissa esimerkiksi ennakoitavissa olevalle katumykselle tai pettymykselle on annettu huomattava rooli riskialttiissa valinnoissa. (Loewenstein et al., 2001.) Kuitenkin esimerkiksi mieliala voi vaikuttaa tapahtumien ja muistikuvien kognitiiviseen arviointiin (Oatley, 1992; Rolls, 2000).

Ärskykkeiden aiheuttamat affektiiviset reaktiot ovat usein nopeampia ja automaattisempia kuin ärskykkeiden kognitiivinen arviointi (mm. Zajonc, 1980; LeDoux, 1996). Välittömät affektiiviset vasteet voivat tarjota yksilölle nopean, mutta karkean arvion sen kohtaamisesta erilaisista tilanteista, mikä mahdollistaa nopean toimimisen. Toisaalta nopeat emotionaaliset reaktiot voivat ohjata kognitiivista prosessointia mahdollisesti tärkeiden asioiden, kuten välittömien vaarojen, analysointiin (Armony et al., 1995).



Kuva 2: Päätöksentekomalli, jossa valintaan vaikuttavat sekä ennakoidut että edeltävät emootiot (mukaiilu lähteestä Loewenstein et al., 2001).

5 Emootiot ja vahvistusoppiminen

Miten preferenssit valintatilanteissa sitten muodostuvat? Vaihtoehtojen arvottaminen paremmuusjärjestykseen voi perustua siihen, että toisten vaihtoehtojen yhteydessä koetaan myönteisiä ja toisten yhteydessä kielteisiä emootioita. Yksilö oppii käyttäytymään siten, että se kokee mahdollisimman paljon myönteisiä ja mahdollisimman vähän kielteisiä emootioita. Yksilön halutessa suorittaa jonkin tehtävän se oppii, että tehtävän suorittaminen tuntuu hyvältä. Seuraavaksi tarkastelemani vahvistusoppiminen tarjoaa täsmällisen viitekehyksen emootioiden liittämiseksi päätöksentekoon.

Ärsykettä kutsutaan *välineelliseksi vahvistajaksi*, jos sen tapahtuminen, päättyminen tai poisjääminen riippuu yksilön vasteesta ja muuttaa sen käyttäytymistä tulevaisuudessa. Jotkin ärsykkeet, kuten esimerkiksi kipu tai vesi eläimen ollessa janoinen, ovat *primaareja vahvistajia*. Primaarit vahvistajat ovat synnynnäisiä eli niiden vaikutus käyttäytymiseen ei edellytä aiempaa oppimista. *Sekundaareja vahvistajia* puolestaan ovat ärsykkeet, jotka on liitetty oppimisen kautta primaareihin vahvistajiin.

Oppimista, jossa alunperin neutraaleja ärsykeitä yhdistetään primaareihin vahvistajiin, kutsutaan *vahvistusoppimiseksi*, ja se toteutuu klassista ehdollistumista muistuttavan prosessin kautta. Vasteen todennäköisyyttä tulevaisuudessa lisäävää vahvistajaa kutsutaan *positiiviseksi vahvistajaksi* tai *palkkiok-*

si ja vasteen todennäköisyyttä pienentävää vahvistajaa kutsutaan *negatiiviseksi vahvistajaksi* tai *rangaistukseksi*. Päinvastaiset vahvistajariippuvuudet puolestaan aiheuttavat vastakkaisen vaikutuksen käyttäytymiseen: palkkion poisjäänti tai päättyminen siis vähentää vasteen todennäköisyyttä tulevaisuudessa, ja vastaavasti rangaistuksen poisjäänti tai päättyminen lisää vasteen todennäköisyyttä. (Sutton ja Barto, 1998.)

Emootioita voidaan tarkastella primaarien tai sekundaarien vahvistajien aikaansaamina tiloina, jotka mahdollistavat yksinkertaisen liittymän aisti-informaatioyötöiden ja toimintajärjestelmien välille. Palkkioihin liittyy myönteinen emotionaalinen tila ja vastaavasti rangaistuksiin kielteinen emotionaalinen tila. Esimerkiksi ääni (sekundaari vahvistaja), joka on aiemmin assosioitu sähkösoikin (primaari vahvistaja) kanssa, voi aiheuttaa tilan, jossa koetaan pelkoa. Näin kaikkien vahvistajien palkitsevuus tai rankaisevuus esitetään emotionaalisina tiloina, joilla on motivoiva vaikutus yksilön käyttäytymiseen. Ne toimivat mekanismina, jonka avulla viime kädessä geenit voivat määrittää yksilöiden toiminnan tavoitteita, sillä primaarien vahvistajien arvottaminen perustuu synnynnäiseen informaatioon. Motivoivan vaikutuksen lisäksi emootiot saavat yksilöissä aikaan myös *autonomisia vasteita*, kuten muutoksia sydämensykkeessä, ja *endokriinisiä vasteita*, kuten adrenaliinin vapautumista. Näin emootiot valmistavat yksilöä sopivaan toimintaan ärsykkeen luonteesta riippuen. (Rolls, 1990.)

Rationaaliset yksilöt pyrkivät noudattamaan *toimintamallia* (engl. *policy*), joka tuottaa pitkällä aikavälillä mahdollisimman paljon palkkioita ja mahdollisimman vähän rangaistuksia. Tässä voidaan nähdä vastaavuus rationaaliseen odotetun utiliteetin maksimointiin. Kun ympäristön ärsyke on purettu primaariksi tai aiemman oppimisen kautta sekundaariksi palkkioksi tai rangaistukseksi, siitä tulee siten toiminnan tavoite. Noudattaessaan käyttäytymismallia, joka tuottaa palkkioita, yksilö kokee myönteisiä emootioita, ja vastaavasti rangaistuksia tuottavan toimintamallin yhteydessä se kokee kielteisiä emootioita. Yksilö voi siis toimia miten tahansa saadakseen palkkion tai välttääkseen rangaistuksen, mutta se pyrkii toimimaan tavalla, joka tuntuu mahdollisimman hyvältä. Klassiseen ehdollistumiseen verrattuna toiminnassa on näin ollen joustavuutta. (Rolls, 2000.)

Laskennallisesti vahvistusoppimista voidaan mallintaa useiden eri algoritmien avulla. Niin kutsuttu *TD-algoritmi* (engl. *temporal difference*), jonka teoreettiset juuret ovat tekoälytutkimuksessa ja eläinten oppimisen teorias-

sa, on saanut tukea myös havainnoista aivotutkimuksen saralla (Montague et al., 2004; Schultz, 2002). TD-algoritmi voidaan määritellä seuraavasti.

Tarkastellaan tiloja s , joita seuraa palkkio r . Käytetyn toimintamallin mukaan tiloista muodostuu jono:

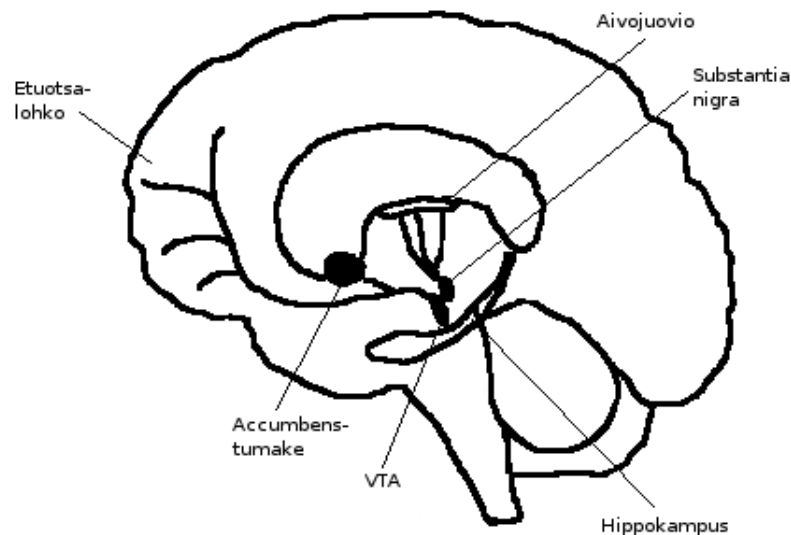
$s_t, r_{t+1}, s_{t+1}, r_{t+2}, \dots, r_T, s_T$. Tilassa s_t odotettavissa oleva kokonaispalkkio R_t on siten $R_t = r_{t+1} + \gamma^1 r_{t+2} + \dots + \gamma^{T-t-1} r_T$, missä $0 \leq \gamma < 1$ on diskonttaustekijä (kaukaiset palkkiot ovat vähemmän tärkeitä). Oletetaan, että tilan arvo $V(s)$ on ekvivalentti odotetun kokonaispalkkion kanssa: $V(s) = E_\pi(R_t | s_t = s)$, missä π on määrittelemätön toimintatapa. Näin ollen tilan s_t arvo voidaan päivittää iteratiivisesti: $V(s_t) \rightarrow V(s_t) + \alpha[R_t - V(s_t)]$, missä α on askelkoko (yleensä $\alpha = 1$). Jos $V(s_t)$ ennustaa oikein odotetun kokonaispalkkion R_t , päivitys on keskimäärin nolla. Tässä menetelmässä tilasekvenssin pitää saavuttaa lopputila ennen kuin arvopäivitys voidaan suorittaa. Kuitenkin olettaen, että $E(R_t) = E(r_{t+1} + \gamma V(s_{t+1}))$, voidaan myös päivittää: $V(s_t) \rightarrow V(s_t) + \alpha[r_{t+1} + \gamma V(s_{t+1}) - V(s_t)]$. Määritellään kaavassa hakasuluissa esiintyvä termi ennustevirheeksi: $\delta_t = r_{t+1} + \gamma V(s_{t+1}) - V(s_t)$. Ennustevirhe kertoo, oliko aiempi ennuste ali- vai ylioptimistinen. Saadun palkkion ollessa odotettua suurempi ($\delta_t > 0$) koetaan myönteisiä emootioita ja vastaavasti saadun palkkion ollessa odotettua pienempi ($\delta_t < 0$) koetaan kielteisiä emootioita. Ennustevirheelle δ_t on löydetty hermostollinen vastine, jota käsittelen tarkemmin luvussa 6.1. (Sutton ja Barto, 1998.)

6 Päätöksenteon hermostolliset mekanismit

Päätöksen syntyminen on *neuraalinen* eli hermostollinen prosessi, jonka toteuttavat useat keskenään vuorovaikutuksessa olevat aivojen alueet. Näistä alueista tutkimuksen mukaan keskeisimpiä ovat keskiaivojen *dopaminerginen järjestelmä* (mm. Montague et al., 2004; Cohen et al., 2002; Litt et al., 2008), *manteliumake* (mm. Bechara et al., 1999; Litt et al., 2008; Martino et al., 2006) ja *orbitaalinen otsalohko* (mm. Rolls ja Grabenhorst, 2008; Litt et al., 2008; Bechara et al., 1996, 1999). Kaikki mainitut alueet osallistuvat myös affektiivisiin prosesseihin (Litt et al., 2008). Seuraavaksi keskityn tarkastelemaan näiden alueiden osuutta emotionaalisten päätöksentekomekanismien toteutumisessa.

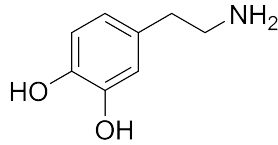
6.1 Keskiaivojen dopaminerginen järjestelmä

Aivojen dopaminergiseen järjestelmään kuuluu kahdeksan dopamiinirataa, jotka lähtevät keskiaivoista ja kulkevat muun muassa *ventraaliselta tegmentaaliselta alueelta (VTA) accumbens-tumakkeeseen* (osa *ventraalista aivojuoviota*), mantelitumakkeeseen, orbitaaliseen otsalohkoon ja muutamille muille aivokuoren alueille sekä *substantia nigrasta* aivojuovioon, joka on osa *tyvitumakkeita* (Wise, 2002). Dopaminergisen järjestelmän tiedetään osallistuvan olennaisesti muun muassa motoriseen kontrolliin ja olevan tärkeä osa aivojen motivaatiomekanismeja (Cohen et al., 2002). Erityisesti ventraaliselta tegmentaaliselta alueelta lähtevää ja muun muassa accumbens-tumaketta sekä etuotsalohkoa hermottavaa *mesolimbistä dopamiinirataa* pidetään eräänä kaikkein keskeisimmin mielihyvään ja palkkioiden arvon esittämiseen liittyvänä aivojen osana (mm. Wise, 2002; Knutson et al., 2005).



Kuva 3: Tärkeimmät dopamiinireitit keskiaivoista accumbens-tumakkeeseen, orbitaaliseen otsalohkoon ja aivojuovioon

Dopamiinijärjestelmän toiminnan on jo pitkään tiedetty liittyvän palkkioiden aikaansaamaan tyydytyksen tunteeseen. Esimerkiksi rotat, jotka on ope-

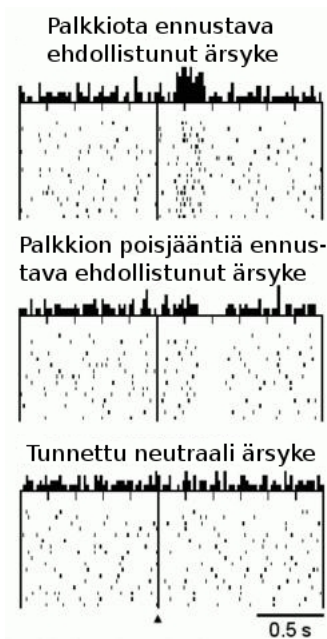


Kuva 4: Dopamiinimolekyylin rakenne

tettu etsimään palkitsevaa sokerivettä sokkelosta, muuttuvat epäaktiivisiksi, kun niiden dopamiinijärjestelmän toimintaa häiritään lääkeaineilla. Kuitenkin kun ne siirretään sokeriveden ääreen, ne juovat täsmälleen saman verran kuin lääkitsemättömät verrokkit. (Montague et al., 2004.)

Schultz kollegoineen on mitannut ventraalisen tegmentaalisen alueen ja substantia nigra dopamiinineuroneiden aktiivisuutta apinoilla, jotka suorittivat erilaisia viivästyneen vasteen tehtäviä. Tyypillisessä kokeessa apinan tuli painaa vipua aina vihreän valon syttyessä, minkä jälkeen se sai palkkioksi mehua. Ennen kuin apina oli oppinut tehtävän kulun, palkkio sai aikaan dopamiinineuroneiden korkeataajuisen aktiviteetin. Kuitenkin apinan opittua tehtävän kulun palkkio ei enää aiheuttanut dopamiinineuroneiden aktivaation lisääntymistä. Sen sijaan aktivaation kohoamisen sai aikaan sekundaari vahvistaja eli vihreä valo. (Schultz et al., 1997; Schultz, 1998.)

Apinan harjaannuttua tehtävän suorittamiseen dopamiinineuroneiden laukomistaajuus väheni odotetulla palkkion saamishetkellä, jos palkkio ei tulutkaan ajallaan (Hollerman ja Schultz, 1998; Tobler et al., 2005). Samoin dopaminerginen aktiivisuus laski perustasoa matalammalle, jos apinalle esitettiin rangaistukseen ehdollistunut ärsyke (Mirenowicz ja Schultz, 1996). Havaintojen mukaan dopamiinineuronit koodaavat siten palkkion miellyttävyyden sijasta edellisessä luvussa kuvattua vahvistusoppimisen ennustevirhettä δ_t : lisääntynyt dopamiinineuroneiden aktivaatio kertoo, että tilanne on parempi kuin odotettiin ja vastaavasti vähentynyt aktivaatio kertoo ennakoitua huonommasta tilanteesta. Nämä havainnot tarjoavat näkökulman, kuinka vahvistusoppimisen algoritmit saatetaan toteuttaa eläinten hermostossa. Dopamiinineuroneiden *faasiset* eli vaiheittaiset vasteet saattavat toimia virhesignaaleina, joita käytetään säätämään ärsykkeiden ja vasteiden assosioituja vahvuuksia dopamiinijärjestelmästä syötteitä saavilla aivojen alueilla.



Kuva 5: Yksittäisen dopamiinineuronin tunnusmerkilliset vasteet palkkiota ennustaviin ja muihin ärsykkeisiin (lähteestä Tobler et al., 2005).

6.2 Mantelitumake

Mantelitumake (lat. *amygdala*) on aivojen *limbiseen järjestelmään* kuuluva tumakeryhmä, joka sijaitsee syvällä *mediaalisessa ohimolohkossa*. Sillä on runsaasti sekä *afferentteja* eli tuovia että *efferenttejä* eli vieviä kytkentöjä muun muassa *hypotalamukseen*, ventraaliseen aivojuovioon, orbitaaliseen otsalohkoon ja muille aivokuoren alueille sekä *aivorunkoon*. Mantelitumakkeen lukuisat yhteydet muihin aivojen alueisiin ovat rakenteellinen perustan keskeiselle sijalle monissa kognitiivisissa ja erityisesti affektiivisissä prosesseissa, kuten puolustautumis- ja pakenemiskäyttäytymisessä, oppimisessa, motivaatiomekanismeissa ja emootioiden prosessoinnissa (Amunts et al., 2005). Mantelitumakkeeseen saapuu informaatiota primaareista ja sekundaareista vahvistajista muun muassa *inferioriselta temporaaliselta näköaivokuorelta* sekä *superioriselta temporaaliselta kuuloaivokuorelta*, ja mantelitumakkeen tiedetään olevan avainasemassa sekä ärsykkeiden välttämiseen että lähestymiseen liittyvässä ennustamisessa ja oppimisessa (LeDoux, 1996). Tut-

kimusten mukaan mantelitumakkeella onkin merkittävä rooli vahvistusoppimisessa. Lisäksi on havaittu, että mielialat voivat vaikuttaa kognitiiviseen prosessointiin mantelitumakkeen suorien takaisinkytkentöjen kautta. Nämä takaisinkytkennät ulottuvat monille ohimolohkon, orbitaalisen otsalohkon ja aivosaareskeksen alueille. (Rolls, 2000.)

Rotilla palkkiota ennustavat ärsykkeet ja ennustamattomat palkkiot, kuten ruoka ja kokaiini aiheuttavat neutraaleihin ärsykkeisiin verrattuna vasteita *sentraalisessa* ja *basolateraalissa mantelitumakkeessa*. Vasteiden on havaittu muuttuvan suhteessa palkkion suuruuteen ja ne korreloivat orbitaalisen otsalohkon vasteiden kanssa. Havaintojen mukaan vasteet vähenevät orbitaalisen otsalohkon vaurioiden seurauksena. (Schoenbaum et al., 1998; Carelli et al., 2003.)



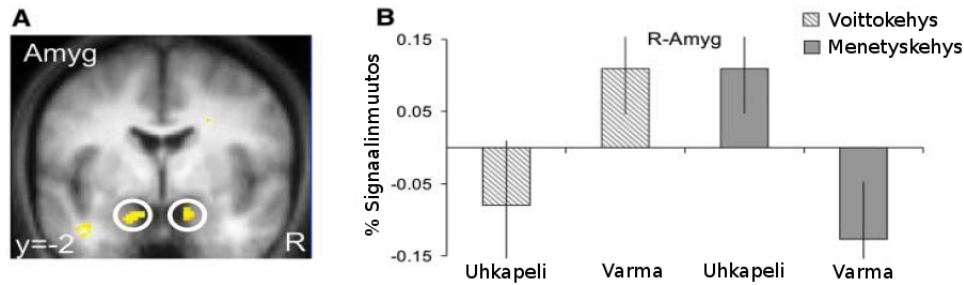
Kuva 6: Mantelitumakkeen sijainti koronaalisessa aivoleikkeessä esitettynä

Martino kollegoineen (Martino et al., 2006) on havainnut ihmisillä *toiminnalliseen magneettiresonanssikuvaukseen* (engl. *functional magnetic resonance imaging, fMRI*) perustuvassa tutkimuksessaan, että Kahnemanin ja Tverskyn kuvaama kehystysefekti (mm. Kahneman ja Tversky, 2000) liittyisi nimenomaan mantelitumakkeen aktiivisuuteen taloudellisessa päätöksenteossa. Tutkimuksessa koehenkilöt saivat jokaisen koetilanteen alussa leikkirahasumman, minkä jälkeen heidän piti valita varman rahojen pitämisen ja uhkapelin välillä. Rahojen varma saaminen esitettiin joko alkuperäisestä rahasummasta

saatuna (kehystys voittoina) tai menetettynä (kehystys menetyksinä) summana. Uhkapelivaihtoehto oli samanlainen molemmissa kehyksissä. Se esitettiin voitto- tai häviämistodennäköisyyttä kuvaavana ympyrädiagrammina siten, että voiton odotusarvo oli sama kuin rahasumma, jonka sai valitsemalla rahojen varman saamisen. (Martino et al., 2006.)

Kokeessa havaittiin, että valintatilanteen erilaiset kehystykset vaikuttivat merkittävästi koehenkilöiden valintoihin, ja vaikutus oli yhtäpitävää erilaisilla todennäköisyyksillä ja aloitussummilla. Kahnemanin ja Tverskyn (mm. Kahneman ja Tversky, 2000) ennusteiden mukaisesti koehenkilöt välttivät riskinottoa voittojen suhteen rajatussa valintatilanteessa eli heillä oli taipumusta valita rahojen varma saaminen uhkapelaamisen kustannuksella. Vastaavasti riskinottoa suosittiin, kun valintatilanne oli rajattu menetysten suhteen. Koehenkilöiden tehdessä valintansa ennustetun yleisen käyttäytymistäipumuksen mukaisesti molempien aivopuoliskojen mantelitulmakkeiden havaittiin olevan aktiivisempia *BOLD-signaalin* (engl. *blood oxygen level dependency*) lisääntymisen perusteella verrattuna tilanteisiin, joissa koehenkilöt valitsivat yleisen taipumuksen vastaisesti. Valintatilanteen esitystapojen merkittävä vaikutus päätöksiin puoltaa väitettä, että mantelitulmakkeella olisi merkittävä rooli päätöksenteossa. Edelleen mantelitulmakkeen keskeinen osuus emotionaalisissa prosesseissa voi kertoa siitä, että kehystysefekti aiheutuisi valintavaihtoehtojen emotionaalisesta arvioinnista. Mantelitulmakepohjainen aivojen järjestelmä saattaa siten toimia mekanismina, jonka avulla päätöksentekoprosessiin yhdistetään erilaisia valintatilanteen kannalta mahdollisesti hyödyllisiä emotionaalisia ärsykeitä (Martino et al., 2006).

Koehenkilöiden valintojen ollessa ristiriidassa yleisen käyttäytymistäipumuksen kanssa Martino kollegoineen (2006) havaitsi lisääntyneitä aktiivisuutta *anteriorisella pihtipoimulla*. Tämä havainto viittaisi siihen, että päätöksentekoon osallistuu kaksi vastakkaista aivojen järjestelmää. Anteriorisen pihtipoimun aktiivisuus kertoisi tällöin ristiriidasta etupäässä analyttisten valintataipumusten ja emotionaalisen mantelitulmakepohjaisen järjestelmän välillä. Tutkimuksen mukaan koehenkilöiden henkilökohtainen alttius valintavaihtoehtojen erilaisten kehystysten vaikutuksille korreloi vankasti orbitaalisen ja mediaalisen etuotsalohkon aktiivisuuden, mutta ei mantelitulmakkeen aktiivisuuden kanssa. Mantelitulmakkeen ja orbitaalisten sekä mediaalisten etuotsalohkon alueiden välillä on kuitenkin vahvat molemminpuoliset yhteydet, vaikka molemmilla saattaakin olla erillinen rooli päätöksentekoprosessissa.



Kuva 7: A: koehenkilöiden valitessa yleisten käyttäytymistäipumusten mukaisesti havaittiin merkittävästi suurempi mantelitumakkeiden aktivaatio verrattuna tilanteeseen, jossa koehenkilöt valitsivat ennusteiden vastaisesti. B: signaalin muutos prosentteina oikeanpuoleisessa mantelitumakkeessa suhteessa eri kehystyksiin ja valintoihin. (Martino et al., 2006.)

6.3 Orbitaalinen otsalohko

Orbitaalinen otsalohko on etuotsalohkon osa, joka sisältää *suorapoimun* (lat. *gyrus rectus*) ja *orbitaaliset poimut* (lat. *orbital gyri*). Se sijaitsee silmien yläpuolella ja muodostaa siis otsalohkon *inferiorisen* eli alapuolisen pinnan. Orbitaalinen otsalohko saa syötteitä *magnosellulaarisesta mediaalisesta mediodorsaalisen talamuksen tumakkeesta*, ja syötteet sisältävät informaatiota kaikista *aistimodalityeteista* eli maku-, haju-, tunto-, kuulo-, ja näköärsykeistä. Tämän lisäksi orbitaaliseen otsalohkoon välittyy *viskeraalista* eli kehon sisäisistä tiloista kertovaa informaatiota sekä syötteitä monista tärkeistä aivojen rakenteista, kuten mantelitumakkeesta, hippokampuksesta ja anteriorisesta pihtipoimusta. Informaatiota tulostuu edelleen lähes kaikille alueille, joilta orbitaalinen otsalohko saa syötteitä. Affektiivisten prosessien kannalta on huomattavaa, että orbitaalisisella otsalohkolla on vahvat yhteydet mantelitumakkeen ohella myös moniin keskiaivojen dopaminergisiin tumakkeisiin, kuten substantia nigraan ja accumbens-tumakkeeseen. (Fuster, 1997, Krin-gelbach ja Rolls, 2004.)

Tutkimusten mukaan orbitaalinen otsalohko ja sen kanssa osittain päällekkäinen *ventromediaalinen etuotsalohko* esittää primaarien vahvistajien palkkio- ja rangaistusarvoja ja osallistuu oppimiseen, jossa aikaisemmin neutraaleja ärsykeitä assosioidaan primaarien vahvistajien kanssa (Rolls, 1990). Assosiaatio-oppiminen on hyvin nopeaa: hermosolut oppivat yhdistämään näköär-

sykkeen myönteiseen tai kielteiseen makuärsykkeeseen jopa yhdestä kerrasta, jolloin ärsykkeet esiintyvät yhdessä. On oletettavaa, että orbitaalisen otsalohkon hermosolut esittävät nimenomaan ärsykkeiden palkkioarvoja, koska ne vastaavat esimerkiksi ruoan hajuun ja makuun vain, jos eläin on nälkäinen. Ihmisillä tehdyissä fMRI-kokeissa on lisäksi havaittu, että orbitaalinen otsalohko aktivoituu enemmän miellyttävästä kuin neutraalista kosketuksesta suhteessa tuntoaivokuoreen (Rolls, 2000). Orbitaalinen otsalohko näyttää havaintojen mukaan myös käsittelevän informaatiota palkkioiden suuruudesta ja odotusarvosta (Rolls ja Grabenhorst, 2008.)

Orbitaalisen otsalohkon vaurioiden aiheuttamista haitoista on saatu runsaasti neuropsykologista aineistoa. Tällaisista vaurioista kärsivillä potilailla ilmenee häiriöitä sekä emootioiden tunnistamisessa ja ilmaisemisessa että päätöksenteossa (mm. Damasio, 1994). Tutkimusten mukaan jotkin hermosolut orbitaaliossalohkossa osallistuvat sen oppimiseen, millaisia emotionaalisia vasteita on odotettavissa tietyissä tilanteissa, sekä sopivien emotionaalisten vasteiden suorittamiseen kasvonilmeiden perusteella (Rolls, 2000). Hornakin ja muiden (1996) havaintojen mukaan orbitaalisen otsalohkon vaurioista kärsivien potilaiden kyky tunnistaa emootioita kasvonilmeistä ja ihmisäänestä on vahingoittunut. Emotionaalisten ilmausten tunnistamisen häiriöt voivat ilmetä esimerkiksi kasvojen tunnistamiseen, ihmisäänten erotteluun tai ympäristön äänten tunnistamiseen liittyvistä havaintoprosessien häiriöistä riippumatta.

Bechara kollegoineen (Bechara et al., 1994, 1996, 1999) on kehittänyt uhkapelitehtävän (*Iowa-uhkapelitehtävä*) orbitaalisen otsalohkon vaurioiden päätöksenteolle aiheuttamien vaikutusten tutkimiseksi. Kokeessa vaurioituneesta ventromediaalisesta etuotsalohkosta kärsivien koehenkilöiden piti valita neljästä korttipakasta kortteja, joiden nostamisesta voitti tai hävisi leikki rahaa. Nostoja tehtiin yhteensä sata kertaa, ja koehenkilöiden tehtävänä oli maksimoida kokonaisvoittonsa. Korttipakoista A ja B voitti jokaisella nostolla sata dollaria, mutta hävisi myös ajoittain niin paljon, että yksittäisen kortin odotusarvo oli negatiivinen (korkea riski). Pakoista C ja D puolestaan voitti jokaisella nostolla 50 dollaria ja hävisi ajoittain kohtalaisia summia, mutta yksittäisen kortin odotusarvo oli kuitenkin positiivinen (matala riski). Kannattava pelistrategia oli siten nostaa kortteja matalan riskin pakoista ja välttää korkean riskin pakkoja. Kokeen aikana koehenkilöiltä mitattiin ihon sähkönjohtavuutta, joka toimi *somaattisen* eli kehon fysiologisen affektiivisen tilan mittarina.

Kokeessa havaittiin, että verrokkiryhmän terveet koehenkilöt oppivat tehtävän edetessä suosimaan matalan riskin korttipakkoja ja välttämään korkean riskin pakkoja. Sen sijaan ventromediaalisen etuotsalohkon vauriosta kärsivät henkilöt eivät muuttaneet tehtävän edetessä käyttäytymistään ja valitsivat kaiken kaikkiaan enemmän kortteja epäedullisista pakoista. Ihon sähköjohtavuuden mittauksista ilmeni, että he eivät osoittaneet yhtä voimakkaita merkkejä uhkapelittehtävän aiheuttamasta jännittyneisyydestä kuin verrokkiryhmän koehenkilöt miettiessään, mistä pakasta nostaisivat kortin. Sen sijaan korttien nostamisesta seuranneet palkkiot ja rangaistukset aiheuttivat heissäkin somaattisen tilan muutoksia, vaikka ne olivatkin heikompia kuin verrokkiryhmällä. (Bechara et al., 1994, 1999.)

Becharan ja muiden (1999) päätelmien mukaan juuri pelitilanteen aiheuttama somaattinen informaatio saa terveet koehenkilöt välttämään epäedullisia korttipakkoja ja muuttamaan pelistrategiaansa kannattavaan suuntaan. Saadut tulokset tukevat Damasion (Damasio, 1994) *somaattisen merkin hypoteesia* (engl. *somatic marker hypothesis*), jonka mukaan päätöksentekoprosessi riippuu merkittävästi kehon fysiologisten tilojen välittämästä informaatiosta. Kortteja nostettaessa voitot ja menetykset aiheuttavat erilaisia myönteisiä tai kielteisiä somaattisia tiloja, ja eri korttipakat assosioituvat tätä kautta lukuisiin palkkioihin ja rangaistuksiin. Orbitaaliosalohkolla näyttäisi tutkimuksen havaintojen perusteella olevan tärkeä tehtävä muun muassa manteliumakkeesta ja hypotalamuksesta saapuvan ristiriitaisen emotionaalisen informaation yhdistämisessä. Kun koehenkilöt päättävät nostaa kortin jostakin pakasta, tähän liittyvä informaatio kulkee orbitaaliseen otsalohkoon, joka puolestaan aktivoi manteliumakkeen. On mahdollista, että tämä aktivaatio muodostaa somaattisen tilan, jossa kyseiseen korttipakkaan liitetyt palkkiot ja rangaistukset yhdistyvät. Jos kielteisten somaattisten merkkien summa on myönteisten merkkien summaa vahvempi, seuraa päätös välttää kyseistä pakkaa. (Bechara et al., 1999.)

Martinon ja muiden (2006) edellisessä luvussa esitelty tutkimus tukee näkemystä, jonka mukaan orbitaaliosalohkolla olisi olennainen rooli päätöksiin liittyvän kognitiivisen ja affektiivisen informaation yhdistämisessä. Heidän havaintojensa mukaan koehenkilöiden alttius muuttaa käyttäytymistään valintatilanteiden erilaisten kehystysten mukaan vaihteli huomattavasti koehenkilöiden välillä. Tällä perusteella henkilöille määritettiin henkilökohtainen rationaalisuusindeksi, jonka havaittiin olevan suoraan verrannollinen orbitaaliosalohkon ja mediaalisen etuotsalohkon, erityisesti oikean orbitaaliosala-

lohkon ja ventromediaalisen etuotsalohkon, lisääntyneen aktiivisuuden kanssa. Orbitaalisten ja mediaalisten etuotsalohkon alueiden ajatellaan yhdistävän mantelitulmakkeesta saapuvia syötteitä ja esittävän valintavaihtoehtojen subjektiivista arvoa. Havaintojen perusteella on oletettavaa, että orbitaalinen otsalohko yhdistää ja arvioi päätöksentekoprosessissa odotettujen seurausten arvoa ja ohjaa siten tulevaa käyttäytymistä.

7 Yhteenveto

Klassisessa päätösteoriassa valintakäyttäytyminen nähdään analyttisena prosessina, jossa sekä valintavaihtoehtojen arvottaminen että niiden toteutumistodennäköisyyksien arviointi perustuu kognitiiviseen erittelyyn. Perinteinen malli ei kuitenkaan kuvaa ihmisten todellista käyttäytymistä, ja kokeellisten havaintojen mukaan emotionaaliset tekijät vaikuttavat merkittävästi tehtäviin päätöksiin.

Tässä tutkielmassa tarkastelin näkemystä, jonka mukaan päätöksenteko perustuu vaihtoehtojen emotionaaliseen arviointiin. Aluksi määrittelin päätöksenteon käsitteistöä ja tarkastelin klassisen päätösteorian ongelmia. Tämän jälkeen esittelin tutkimustuloksia affektiivisten tekijöiden vaikutuksesta valintoihin ja tarkastelin emootioiden osuutta päätöksissä. Seuraavaksi yhdistin päätöksenteon emootioihin erityisesti vahvistusoppimisen viitekehyksessä. Esittämäni näkemyksen mukaan emootiot voivat toimia päätöstilanteessa mekanismina, joka liittyy valintavaihtoehtoihin arvotuksia.

Tutkielman jäkimmäisessä osassa käsitelin emotionaalisen päätöksenteon toteutumista aivoissa. Rajasin tarkastelun keskiaivojen dopaminergiseen järjestelmään, mantelitulmakkeeseen ja orbitaalisen otsalohkoon, sillä nämä aivojen alueet osallistuvat keskeisimmin päätöksentekoon ja emotionaalisiin prosesseihin. Esittelin kunkin aivojen rakenteen yhteydessä niiden aiheen kannalta keskeisimpiä ominaisuuksia sekä tutkimustuloksia niiden osuudesta valintaprosesseissa.

Emootioiden rooli päätöksenteossa on tutkimusalana verraten nuori, eikä alan kirjallisuudessa vielä käytetä yhtenäistä ja vakiintunutta käsitteistöä. Tutkimusalaa myös lähestytään useista näkökulmista, joiden yhteensovittaminen ei ole ongelmatonta. Erityisen suuri kuilu vallitsee toisaalta psykologisteoreettisten ja toisaalta päätöksenteon hermostollisia mekanismeja kartoit-

tavien lähestymistapojen välillä. Suurimmat toiveet kuilun kuromiseksi umpeen voidaan asettaa laskennallisesti täsmälliseen vahvistusoppimisteoriaan ja sen neuraalisen toteutumisen tutkimiseen. Voidaksemme ymmärtää ihmisten valintakäyttäytymistä sekä yksilö- että yhteiskuntatasolla meidän täytyy saada täsmällinen ymmärtämys päätöksenteon perustasta.

Viitteet

- K. Amunts, O. Kedo, M. Kindler, P. Pieperhoff, H. Mohlberg, N. J. Shah, U. Habel, F. Schneider ja K. Zilles. Cytoarchitectonic mapping of the human amygdala, hippocampal region and entorhinal cortex: intersubject variability and probability maps. *Anatomy and Embryology*, 210:343–352, 2005.
- J. L. Armony, D. Servan-Schreiber, J. D. Cohen ja J. E. LeDoux. An anatomically-constrained neural network model for fear conditioning. *Behavioural Neuroscience*, 109(2):246–257, 1995.
- A. Bechara, A. R. Damasio, H. Damasio ja S. W. Anderson. Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50:7–15, 1994.
- A. Bechara, H. Damasio, A. R. Damasio ja G. P. Lee. Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *The Journal of Neuroscience*, 19(13):5473–5491, 1999.
- A. Bechara, D. Tranel, H. Damasio ja A. R. Damasio. Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 6:215–225, 1996.
- G. V. Bodenhausen, G. P. Kramer ja K. Susser. Happiness and stereotypic thinking in social judgment. *Journal of Personality and Social Psychology*, 66(4):621–632, 1994.
- C. F. Camerer. Prospect theory in the wild: Evidence from the field. *Choices, Values and Frames*. Cambridge University Press, New York, 2000.
- R. M. Carelli, J. G. Williams ja J. A. Hollander. Basolateral amygdala neurons encode cocaine self-administration and cocaine-associated cues. *The Journal of Neuroscience*, 23(23):8204–8211, 2003.
- G. L. Clore ja J. R. Huntsinger. How emotions inform judgment and regulate thought. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(9):393–399, 2007.
- J. D. Cohen, T. S. Braver ja J. W. Brown. Computational perspectives on dopamine function in prefrontal cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 12:223–229, 2002.

- A. R. Damasio. *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. Avon Books, New York, 1994.
- C. A. Estrada, A. M. Isen ja M. J. Young. Positive affect improves creative problem solving and influences reported source of practice satisfaction in physicians. *Motivation and Emotion*, 18(4):285–299, 1994.
- J. M. Fuster. *The prefrontal cortex*. Raven Press, New York, 1997.
- G. Gigerenzer ja D. G. Goldstein. Reasoning the fast and frugal way: Models of bounded rationality. *Psychological Review*, 103(4):650–669, 1996.
- J. R. Hollerman ja W. Schultz. Dopamine neurons report an error in the temporal prediction of reward during learning. *Nature Neuroscience*, 1(4):304–309, 1998.
- J. Hornak, E. T. Rolls ja D. Wade. Face and voice expression identification in patients with emotional and behavioural changes following ventral frontal lobe damage. *Neuropsychologia*, 34:247–261, 1996.
- A. M. Isen. Positive affect and decision making. *Handbook of Emotions*, s. 261–277. Guilford Press, New York, 1994.
- D. Kahneman ja A. Tversky. Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47:263–291, 1979.
- D. Kahneman ja A. Tversky. *Choices, values, and frames*. Cambridge University Press, New York, 2000.
- B. Knutson, J. Taylor, M. Kaufman, R. Peterson ja G. Glover. Distributed neural representation of expected value. *The Journal of Neuroscience*, 25(19):4806–4812, 2005.
- M. L. Kringelbach ja E. T. Rolls. The functional neuroanatomy of the human orbitofrontal cortex: evidence from neuroimaging and neuropsychology. *Progress in Neurobiology*, 72:341–372, 2004.
- J. LeDoux. *The emotional brain*. Simon & Schuster, New York, 1996.
- J. S. Lerner ja D. Keltner. Beyond valence: Toward a model of emotion-specific influences of judgment and choice. *Cognition and Emotion*, 14:473–493, 2000.

- A. Litt, C. Eliasmith ja P. Thagard. Neural affective decision theory: Choices, brains, and emotions. *Cognitive Systems Research*, 9:252–273, 2008.
- G. F. Loewenstein, E. U. Weber, C. K. Hsee ja N. Welch. Risk as feelings. *Psychological Bulletin*, 127:267–286, 2001.
- B. D. Martino, D. Kumaran, B. Seymour ja R. J. Dolan. Frames, biases, and rational decision-making in the human brain. *Science*, 313(5787):684–687, 2006.
- B. A. Mellers, A. Schwartz ja A. D. J. Cooke. Judgment and decision making. *Annual Review of Psychology*, 49:447–477, 1998.
- J. Mirenowicz ja W. Schultz. Preferential activation of midbrain dopamine neurons by appetitive rather than aversive stimuli. *Nature*, 379:449–451, 1996.
- P. R. Montague, S. E. Hyman ja D. Cohen. Computational roles for dopamine in behavioural control. *Nature*, 431(7010):760–767, 2004.
- K. Oatley. *Best laid schemes: The psychology of emotions*. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- E. T. Rolls. A theory of emotion and its application to understanding the neural basis of emotion. *Cognition and Emotion*, 4:161–190, 1990.
- E. T. Rolls. Précis of the brain and emotion. *Behavioral and brain sciences*, 23:177–234, 2000.
- E. T. Rolls ja F. Grabenhorst. The orbitofrontal cortex and beyond: From affect to decision-making. *Progress in Neurobiology*, 86:216–244, 2008.
- G. Schoenbaum, A. A. Chiba ja M. Gallagher. Orbitofrontal cortex and basolateral amygdala encode expected outcomes during learning. *Nature Neuroscience*, 1(2):155–159, 1998.
- W. Schultz. Predictive reward signal of dopamine neurons. *Journal of Neurophysiology*, 80(1):1–27, 1998.
- W. Schultz. Getting formal with dopamine and reward. *Neuron*, 36(2):241–263, 2002.

- W. Schultz, P. Dayan ja P. R. Montague. A neural substrate of prediction and reward. *Science*, 275(5306):1593–1599, 1997.
- H. A. Simon. Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, 63:129–138, 1956.
- R. S. Sutton ja A. G. Barto. *Reinforcement learning*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1998.
- P. N. Tobler, C. D. Fiorillo ja W. Schultz. Adaptive coding of reward value by dopamine neurons. *Science*, 307(5715):1642–1645, 2005.
- A. Tversky ja D. Kahneman. Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185(4157):1124–1131, 1974.
- J. von Neumann ja O. Morgenstern. *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press 2nd edition, Princeton, 1947.
- R. A. Wise. Brain reward circuitry: Insights from unsensed incentives. *Neuron*, 36:229–240, 2002.
- R. B. Zajonc. Feeling and thinking: Preferences need no inference. *American Psychologist*, 35:151–175, 1980.