



**LAUREA**  
AMMATTIKORKEAKOULU

*Uuden edellä*

# Monialaosaajana fMRI-aivotutkimusprojektissa

---

Leppihalme, Valtteri

2012 Laurea Leppävaara

Laurea-ammattikorkeakoulu  
Laurea Leppävaara

## Monialaosajana fMRI-aivotutkimusprojektissa

Leppihalme, Valtteri  
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
Toukokuu, 2012

Leppihalme, Valteri

Monialaosaajana fMRI-aivotutkimusprojektissa

Vuosi 2012 Sivumäärä 42

---

Tämä opinnäytetyö on kuvaus neurotieteellisestä tutkimusprojektista, jossa hyödynnettiin aivojen funktionaalista magneettikuvantamista (fMRI). Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää henkilökohtaisen tavoitteen vaikutusta valintaan sekä neurofysiologisesti että behavioraalisesti tarkasteltuna.

Tässä työssä kuvataan taustateorioiden, menetelmien ja tulosten lisäksi myös, millaisia erilaisia tehtäviä tietojenkäsittelyn opiskelija voi assistenttina toteuttaa fMRI-tutkimusprojektissa. Lisäksi liitteenä on projektityöskentelyn yhteydessä syntynyt dokumentti, jonka tarkoituksena on helpottaa samankaltaisten tutkimusten ja niihin liittyvän analysointityön toteuttamista SPM-nimisellä tutkimustyökaluohjelmistolla.

Tutkimusprojektin johtajana toimi Laurea-ammattikorkeakoulun yliopettaja, Laurea SID Neuroeconomics-laboratorion perustaja Jyrki Suomala.

Tutkimusasetelmassa koehenkilö (n=25) kuvitteli itsensä tilanteeseen, jossa hän on hakemassa työpaikkaa. Hänen ilmoittamaansa henkilökohtaista palkkatavoitetta käytettiin referenssipisteenä. Koehenkilölle esitettiin magneettikuvantamiskannerissa noin tunnin kestävä koetilanteen aikana palkkatavoitteen mukaisia ja siitä positiivisesti ja negatiivisesti poikkeavia (-30% .. +60%) palkkatarjouksia. Hänen tehtävänsä oli vastata hyväksymällä tai hylkäämällä palkkatarjous nappia painamalla.

Keskeisenä hypoteesina oli se, että ihmisen tuntema mielihyvä on suhteessa voimakkaampaa palkkatarjouksen alittaessa referenssipisteen, kuin ihmisten tuntema mielihyvä tarjouksen ylittäessä sen yhtä paljon. Tärkeimpinä taustateorioina olivat prospektiteoria sekä somaattisten merkkien hypoteesi, jonka mukaan emootiot näyttelevät merkittävää roolia päätöksenteossa ja valitsemisessa.

Projektissa tutkittiin, millaiset aivoalueet liittyvät valintakäyttäytymiseen, ja miten subjektiivisesti tärkeä tavoite vaikuttaa emootioihin ja sitä kautta päätöksentekoon. Koehenkilöt valittiin ryhmistä, joita kutsutaan maksimoijiksi ja tyytymöijiksi; lisäksi haluttiin selvittää, onko näiden ryhmien välillä neurofysiologista eroa ja millaista.

Behavioraalisen aineiston analyysin perusteella vastausten arvofunktiot todella vastaa prospektiteorian arvofunktiota. Funktionaalista aivokuvantamisaineistosta löydettiin myös eroja maksimoijien ja tyytymöijien neurofysiologisessa aktiiviteetissa suhteessa esitettyihin palkkatarjouksiin.

Asiasanat aivotutkimus, neurotieteet, toiminnallinen magneettikuvaus, tunteet, taloustieteet, tilastomenetelmät, tietojenkäsittely

Leppihalme, Valteri

### Applying Multi-sectoral Expertise in a fMRI Brain Research Project

Year	2012	Pages	42
------	------	-------	----

---

This thesis is a description of a neuroscientific research project in which functional magnetic resonance imaging (fMRI) of the brain was used. The objective of the project was to determine the effect of a subjective goal in choice behavior, both from the neurophysiological and behavioral viewpoints.

In addition to describing the underlying theories, methods and results, this thesis also describes different tasks that a student of information technology can perform as an assistant in a fMRI research project. Also, in the appendix a document created as a by-product of the project work is presented. Its purpose is to help in image pre-processing and analysis when using the SPM software toolbox to process the fMRI data of a similar research project.

The study was conducted by Jyrki Suomala, a principal lecturer at Laurea University of Applied Sciences and the founder of the Laurea Neuroeconomics SIDlab.

In the research design, the subjects (n=25) were put in an imagined situation of searching a job. A personal salary goal chosen by the subject was used as a reference point. Then a series of wage offers were presented in the MRI scanner during a session lasting about an hour. The wage offers ranged from -30% to +60% related to the reference point. The task was to either reject or accept the offers by pushing a button.

One of the central hypotheses was that the dismay experienced when the wage offer is below the reference point is relatively more intense than the delight experienced when the wage offer exceeds the reference point in an equal amount. The most important background theories were the prospect theory and the somatic markers hypothesis, according to which emotions play an important role in decision-making and choice.

We studied which brain regions are related to choice behavior, and how a subjectively important goal affects emotions and therefore choice. The subjects were chosen from a group divided into so-called maximizers and satisficers. We were also interested in discovering if there is a particular neurophysical difference between these two groups.

According to the behavioral analysis of the data, the personal wage valuation function of the subjects indeed correlates to the prospect theory value function. Through the analysis of the functional MRI data, we also discovered differences in the neurophysiological activity of maximizers and satisficers in relation to the presented wage offers.

**Keywords** brain research, neuroscience, functional magnetic resonance imaging, emotions, economics, statistical methods, information processing

## Sisällys

1	Johdanto.....	7
1.1	Opinnäytetyön rakenne .....	7
1.2	Projektin lyhyt kuvaus ja päätavoitteet .....	7
1.3	Tehtäväni projektissa.....	8
1.4	Tutkimus- ja analyysipaikat sekä käytetty ohjelmisto ja laitteisto .....	9
2	Funktionaalinen magneettikuvaus.....	9
2.1	MRI.....	9
2.2	BOLD-signaali ja sen mallintaminen hemodynaamisella responssifunktiolla...	10
2.3	GLM ja tilastolliset menetelmät .....	12
3	Taustateoriat .....	13
3.1	Somaattisten merkkien hypoteesi .....	13
3.1.1	Tapaus Phineas Gage.....	14
3.1.2	Damasioiden neurologiset tutkimukset .....	16
3.1.3	Neuraalinen rakenne (keskeiset aivoalueet) .....	16
3.1.4	SMH:n funktiot: primaariset ja sekundaariset emootioiden indusoijat .	17
3.2	Prospektiteoria .....	18
4	Tutkimusprosessin päävaiheet .....	18
4.1	Tutkimusryhmä .....	19
4.2	Koehenkilöiden valinta ja rekrytointi .....	19
4.3	Tutkimusasetelma.....	20
4.3.1	Hyväksy tai hylkää -kokeen rakenne.....	20
4.3.2	Presentation-ohjelma .....	20
4.3.3	Datan tallentamisesta .....	21
4.4	Koetilanteen kulku .....	21
4.4.1	Koehenkilön ohjaus.....	21
4.4.2	Kokeen aikana.....	22
4.4.3	Kokeen jälkeen .....	22
4.5	Datan esikäsittely ja analysointi .....	23
4.5.1	Kuvadatan esikäsittelyvaiheet (MRICro) .....	23
4.5.2	Kuvadatan esikäsittelyvaiheet (SPM2).....	23
4.5.3	SPM: Design-matriisin luonti (aikalokitiedostot yhdistyvät kuvadataan)	24
4.5.4	Analysoinnista .....	25
5	Tuloksista.....	25
5.1	Behavioraalinen analyysi .....	25
5.2	Päätulokset.....	26
6	Johtopäätöksiä ja pohdintoja .....	27
6.1	Prosessien optimointi .....	28
6.2	Kirjoitetun materiaalin vähydestä suomeksi.....	28

6.3	Neurotaloustieteellisen tutkimuksen tulevaisuudesta Suomessa .....	29
6.4	Loppusanat .....	29
	Lähteet .....	30
	Kuvat.....	31
	Liitteet .....	33

## 1 Johdanto

Osallistuin vuonna 2009 neurotaloustieteelliseen aivotutkimusprojektiin. Tässä palkkavalintatutkimuksessa selvitettiin henkilökohtaisen tavoitteen vaikutusta valintaan sekä neurofysiologisesti että behavioraalisesti tarkasteltuna. Projektin johtajana toimi Laurea-ammattikorkeakoulun yliopettaja Jyrki Suomala.

### 1.1 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyö koostuu seitsemästä luvusta. Luvussa 2 kerron pääkohdat toiminnallisen magneettikuvantamisen (fMRI, engl. functional Magnetic Resonance Imaging) menetelmästä ja sen käytöstä. Sitten esittelen taustateoriat ja niihin liittyvää historiaa ja käyn läpi myös pääpiirteittäin taustalla vaikuttavat neuraaliset rakenteet (luku 3).

Seuraavaksi esittelen koko palkkavalintatutkimuksen päävaiheet (luku 4) alusta alkaen siihen asti, kun määräaikainen työsuhteeni (helmi–lokakuu 2009) projektin parissa päättyi. Sen jälkeen kerron tuloksista (luku 5), sitten esitän joitakin pohdintoja ja johtopäätöksiä (luku 6) ja liiteosiossa on näyttökaappaus Neuroeconomics-laboratorion websivuston prototyypistä, kuva Mustialan seminaariposterista, kaksi palkkavalintatutkimuksen tuloksiin liittyvää tieteellistä tiivistelmää sekä kaikkein tärkeimpänä pelkistetty, mutta tehokkaaksi todettu SPM2-dokumenttini.

Tämä opinnäytetyö on samalla kertaa sekä yleisluontoinen kuvaus fMRI-tutkimuksesta että tapaustutkimus tästä yhdestä ja nimenomaisesta projektista. Työ on tarkoituksenmukaisesti kirjoitettu osittain yksikön ensimmäisessä persoonassa, että opinnäytetyön tekijän rooli monialaosaajana fMRI-aivotutkimusprojektissa korostuisi. Koska kyse on tutkimuksen eri vaiheiden monipuolisesta kuvaamisesta ja dokumentoinnista, opinnäytetyötä voidaan pitää portfolioityyppisenä.

### 1.2 Projektin lyhyt kuvaus ja päätavoitteet

Tutkimuksen keskeisenä aineistonhankintamenetelmänä oli siis funktionaalinen magneettikuvantaminen. Tyypillisessä fMRI-tutkimuksessa koehenkilö makaa selällään magneettikuvausskannerissa putkimaisessa lieriössä ja reagoi hänelle esitettyihin visuaalisiin, auditiivisiin tai muihin ärsykkeisiin, esimerkiksi tämän tutkimuksen tapauksessa painamalla painonappia. Skanneri rekisteröi koko koetilanteen ajan koehenkilön aivoissa tapahtuvia veren happipitoisuuden muutoksia ja lähettää informaation näistä muutoksista tietokoneelle, joka tallentaa koko tilanteen kolmiulotteisena kuvasarjana. Kuvasarja sisältää myös tarkat aikatiedot siitä,

mihin koehenkilön näkemän kuvaruudun tapahtumaan aivokuva liittyy. Lisäksi toinen ohjelma tallentaa tiedot koehenkilön responsseista ja niiden ajankohdista.

Analyysivaiheessa kuva- ja responsstiedot yhdistämällä nähdään, millaista aktivoitumista eri aivoalueilla on tapahtunut kunakin ajankohtana. Samalla saadaan tietoa siitä, millaisia vastauksia tai muita reaktioita koehenkilö on eri stimulusten esittämisten aikana välittänyt. Näistä voidaan tehdä neurotieteellisiä päätelmiä vertailemalla aineistoa tilastollisia menetelmiä hyväksi käyttäen. Tutkimusprojektissa hyödynnettiin sekä behavioraalista analyysia että aivodata-analyysia. Behavioraalinen analyysi liittyi stimulus-responssi-aikalokitiedostojen (aikalokitiedostot) analysointiin, ja aivodata-analyysi koski fMRI-kuvatiedostodataa sekä sitä rinnastettuna aikalokitiedostoihin.

Tutkimusprojektin otsikkona oli ”Subjektiiivinen tavoite referenssinä”. Perushypoteesiin kuului väittävä, että emootioilla (ks. alaluku 3.1) on ratkaiseva merkitys rationaalisessa päätöksenteossa, ja että subjektiivisilla, henkilökohtaisilla tavoitteilla on painava emotionaalinen merkitys. Tämän tutkimiseksi koehenkilöitä kehoitettiin asettumaan mielessään tilanteeseen, jossa heidän tulee työpaikan hakijana hylätä tai hyväksyä erilaisia palkkatarjouksia, ja sitä ennen ilmoittaa oma tavoitepalkkansa. Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, millaiset aivoalueet aktivoituvat valintatilanteiden aikana, ja heijastaako tämän aineiston pohjalta saavutettu tieto tutkimuksen taustateorioiden ja päähypoteesien paikkansapitävyyttä.

### 1.3 Tehtäväni projektissa

Pätehtäväni oli fMRI-kuvatiedostodatan esikäsittely, yhdistäminen aikalokitiedostoihin ja analyysin ohjelmallinen toteuttaminen yksilö- ja myöhemmin ryhmätasolla. Lisäksi toimin avustajana kuvantamistilanteissa eli aineiston keruussa huolehtimalla aikalokitiedostoja keräävän ja stimulusten esittämisestä vastaavan tietokoneen toiminnasta. Tein myös varmuuskopiot aikalokitiedostoista ja fMRI-kuvatiedostoista, ja siirsin ne tutkimuspaikan serveriltä ulkoiselle USB-kovallevylle mukaan otettavaksi.

Osallistuin myös tutkimukseen liittyvien kongressipapereiden (mm. liite 2) kääntämiseen ja puhtaaksi kirjoittamiseen, ja tein Laurea Leppävaaran Neuroeconomics-laboratorion web sivuston ensimmäisen version prototyypin (liite 1), seminaariposterit Evanstonissa, Yhdysvalloissa syyskuussa 2009 järjestettyä Neuroeconomics-konferenssia sekä Mustialassa kesäkuussa 2009 järjestettyä Laurean tulevaisuusseminaaria varten (liite 3). Otin myös osaa joihinkin muihin Laurean Neuroeconomics-laboratorioon liittyviin tehtäviin, muun muassa auttamalla kuviodien ja Powerpoint-esitysten valmistamisessa ja tekstin muokkaamisessa sekä Suomen Akatemialta että Euroopan Unionilta haettavia rahoituksia varten.



Kehitin lisäksi tutkimusprosessia eteenpäin kokoamalla yksinkertaisen, mutta tehokkaan dokumentin, jonka avulla samat esikäsittely- ja analyysivaiheet voidaan toteuttaa MRICro:lla ja SPM2:lla (liite 5). Tekemäni dokumentti on edelleen käytössä, ja sen avulla myöhempien tutkimusprojektien analysointi on ollut nopeampaa ja tehokkaampaa.

Roolini tietojenkäsittelijänä (so. tietojen käsittelijänä) tutkimusprojektissa saa myös laajempia ja monisyisempiä merkityksiä ja mittasuhteita sen ajatuksen kautta, että mieli ja aivot ovat myös hyvin sofistikoitunut ja tehokas tietokone, laskennallinen järjestelmä ja suoritin. (Montague 2007, 1–22.)

#### 1.4 Tutkimus- ja analyysipaikat sekä käytetty ohjelmisto ja laitteisto

Aineiston keruu eli koetilanteet toteutettiin silloisen Teknillisen korkeakoulun (nykyinen Aalto-yliopisto) AMI-keskuksen tiloissa niin kutsutussa Magneettitalossa Espoon Otaniemessä. Kuvantamiseen käytettiin General Electric Signa™ EXCITE™ 3 Teslan MR-skanneria ja siihen liitettävää ohjaus- ja tallennusohjelmistoa. Toisella, stimulusten lähettämiseen ja aikalokitiedostojen tallentamiseen varatulla Windows XP-käyttöjärjestelmällä PC-koneella (kutsuanimeltään Stimulus-PC) pyöri Neurobehavioral Systemsin ohjelma nimeltään Presentation.

Aineiston käsittely ja analysointi tapahtui silloin syntyvaiheissaan olevan Neuroeconomics-laboratorion tiloissa Laurea Leppävaaran pohjakerroksessa. Käytössä oli Linux-ympäristössä (Red Hat) toimiva MRICro, jota käytettiin kuvadatan muuntamiseen sopivaan muotoon alkuperäisestä DICOM-formaatista Analyze-formaattiin, jota varhaisemmat SPM:n versiot suosivat. Analysoinnissa käytettiin MATLAB-alustalla toimivaa SPM:n versiota 2.

Posterin, websivuston ja tieteellisen tekstin sekä esitysten tuottamiseen ja käsittelyyn käytin mm. Adoben CS3 Master Collection -paketin ohjelmia sekä OpenOffice-paketin MS Wordia, Exceliä ja Powerpointia vastaavia ohjelmia.

## 2 Funktionaalinen magneettikuvaus

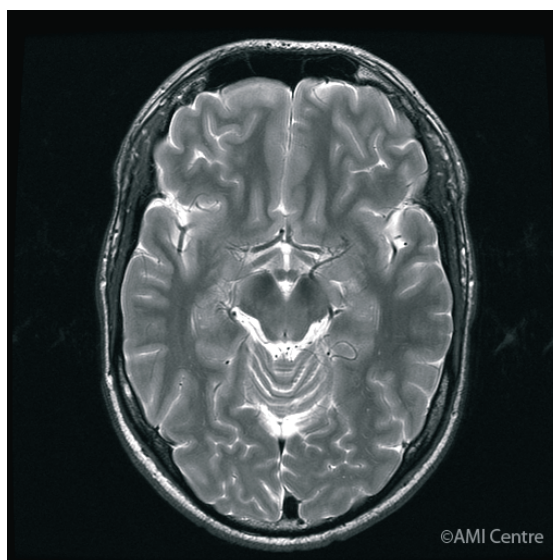
Tässä luvussa kerrotaan yleisesti magneettikuvantamisen ja erityisesti fMRI:n teknisestä ja neurofysiologisesta ja teknisestä perustasta sekä keskeisimmistä fMRI:lla kerätyn aineiston tutkimiseen liittyvistä seikoista.

### 2.1 MRI

MRI on lääketieteellinen, radiologinen menetelmä, joka perustuu ydinmagneettiseen resonanssiin (NMR, engl. nuclear magnetic resonance). Sillä mitataan erityisesti vety-ytimien

magneettista, radiotaajuista signaalia. Laitteistossa on keskeisimpinä osina erittäin voimakas magneettikenttä, johon ihminen asetetaan, sekä radiolähetin ja -vastaanotin, jotka aiheuttavat ja vastaanottavat resonanssisignaalin. Magneettikentän ja resonanssin erilaisten, muuttuvien suuntausten ja taajuuksien avulla voidaan muodostaa tarkka kaksi- tai kolmiulotteinen kuva kohteesta (kuva 1). (Collins, Hiltunen & Malinen 2002, 4–14.)

Kaksiulotteinen kuva koostuu elementeistä, joista käytetään muualta tietotekniikasta tuttua termiä pikseli (engl. pixel, sanoista picture element). Pikselin sijainti määritellään vaaka- ja pystysijaintiin viittaavilla X- ja Y-koordinaateilla. Kolmiulotteinen kuva sisältää lisäksi syvyyden aspektin Z, jolloin puhutaan tilavuuselementeistä, vokseleista (engl. voxel, volumetric pixel). (Wikipedia, 2012b.)



Kuva 1: T2-painotettu anatominen rakennekuva ihmisen aivoista (AMI-keskus 2012)

MRI on kuvantamismenetelmänä yhtäältä huomattavan tarkka, toisaalta hidas. Sen toteuttaminen on myös melko kallista. Lisäksi sen käyttöön liittyy joitakin rajoituksia: magneettikentälle altistuvalla henkilöllä ei saa olla ferromagneettisia (katso alaluku 4.4.1) esineitä tai ainesosia kehossaan tai mukanaan, koska magneetti on hyvin voimakas, ja niistä voi siksi aiheutua vakavia vaaratilanteita ja vaurioita sekä ihmiselle että laitteistolle (AMI-keskus, 2008).

Magneettikuvauksessa voidaan käyttää erilaisia varjo- eli kontrastiaineita. Funktionaalinen magneettikuvaus tehdään tyypillisesti natiivina, eli kontrastiaineita ei käytetä.

## 2.2 BOLD-signaali ja sen mallintaminen hemodynaamisella responsifunktiolla

Funktionaalista magneettikuvausta käytetään useimmiten erityisesti aivojen kuvantamiseen. Se perustuu hemoglobiinin ferromagneettisiin ominaisuuksiin. Oksihemoglobiinilla (hapettunut veri) ja deoksihemoglobiinilla (hapeton veri) on erilaiset magneettiset ominaisuudet. Ensimmäinen mainittu vastustaa ulkopuolista magneettikenttää, jälkimmäinen voimistaa sitä. (Vanni 2009, 7.)

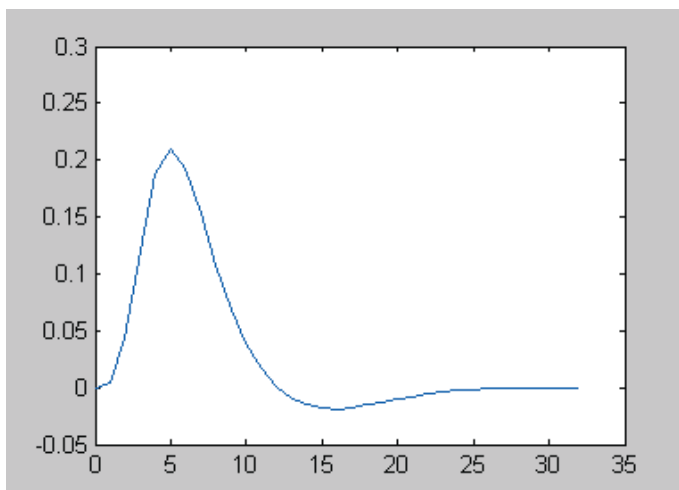


Kuva 2: Projektissa käytetty AMI-keskuksen 3T skanneri ja koehenkilö valmiina koetta varten. Kuvassa Jyrki Suomala ja koehenkilönä Paavo Lyytikäinen (Maunula 2011)

Neuronit, kaikkien muiden solujen tapaan, tarvitsevat energiaa toimiakseen. Ne saavat sitä glukoosin ja hemoglobiinin muodossa. Magneettikuvantamisen kannalta oleellista on hemoglobiini. Kun aivoissa tapahtuu aktiviteettia jollakin alueella, kyseiselle alueelle virtaa silloin hapekasta verta. Deoksi- ja oksihemoglobiinin suhteellisen määrän vaihtelu aivoissa vaikuttaa mitattuun resonanssiin ja näin paljastaa, missä osissa aivoja tapahtuu aktivoitumista ja milloin. Verin happipitoisuudesta riippuvaisen signaalin termiksi on vakiintunut BOLD, blood oxygen level dependent (signal). (Friston ym. 2007, 25, 37, 178, 313; Wikipedia, 2012a.)

Tosiasiasa menetelmä ei anna aivan reaaliaikaista tietoa tapahtuma-ajankohdasta, koska muutokset tapahtuvat noin viiden sekunnin viiveellä. Ajallisesti tarkempia, mutta tilallisesti epätarkempia tunnettuja menetelmiä ovat MEG ja EEG. Varjoainetta hyödyntävä PET on näistä hitain ja tarkkuudeltaan fMRI:n ja kahden muun mainitun välimaastossa. (Vanni 2009, 2–3.)

BOLD-signaalin kuvaamista, eli aktivaation huippua ja hiipumista, varten käytetään yleisesti nk. hemodynaamisen vasteen funktiota (hrf) (Friston ym. 2007, 23). Funktiossa otetaan huomioon esiviive, aktivaation huippu ja sen häntä. Tämä toimii funktionaalisenä kuvaajana siitä, miten hapekas ja hapeton hemoglobiini käyttäytyvät aivosoluissa. Hyvin usein käytetään hrf:n kanonista muotoa (Friston ym. 2007, 181); (ks. kuva 3).



Kuva 3: Kanoninen hrf, luotu SPM5:n funktion `spm_hrf.m` pohjalta (KCR\_DukeU 2008)

### 2.3 GLM ja tilastolliset menetelmät

Keskeisimpänä fMRI-kuva-aineiston analysointimenetelmänä käytetään tilastollisia menetelmiä, joissa hyödynnetään tilastollis-parametrissa karttaa (Friston, Ashburner, Kiebel, Nichols & Penny 2007, 34), kuvaprosessia, jossa jokaiselle vokselille on tiheysfunktio, yleensä Studentin t-funktio tai F-funktio. Käytännössä suurin osa näiden matemaattisten prosessien toteuttamisesta on delegoitu ohjelmistolle nimeltä SPM, Statistical Parametric Mapping. Jotkut käyttävät SPM:n sijaan työkalukokoelmaa nimeltä FSL. Nämä ovat selvästi yleisimmin käytetyt analyysityökaluohjelmistot.

Hyvin yleistä on käyttää yleistettyä lineaarista mallia (GLM, general linear model), jolla aivoaktiviteetin kuvaajat asetetaan lineaariselle käyrälle. Näin ryhmän henkilöiden datat saataan vertailukelpoisiksi, ja funktioon voidaan lisätä kovarianteiksi muuttujia, jotka vähentävät häiriöitä. (Friston ym. 2007, 14-17.)

Häiriöitä voi syntyä mm. ulkoisista tekijöistä, jotka vaikuttavat magneettiseen resonanssiin. Myös esimerkiksi koehenkilön tahaton fyysinen liike – joka ohjeistetaan minimoimaan – aiheuttaa aktivaatioita aivoalueilla, joista ei kokeessa olla kiinnostuneita. Kehon magneettikenttä ei myöskään ole täysin homogeeninen, ja se tulee ottaa huomioon. Kentän epähomogeeni-

syöttä ilmenee sekä itse skannerin puolelta että kuvattavan henkilön taholta. (Vanni 2009, 36.)

### 3 Taustateoriat

Tässä luvussa esitellään palkkavalintatutkimuksen keskeisimmät taustateoriat sekä niiden historiallista taustaa.

#### 3.1 Somaattisten merkkien hypoteesi

Palkkavalintatutkimusprojektin tärkeimpinä taustateorioina olivat somaattisten merkkien hypoteesi (SMH) ja prospektiteoria. Tässä luvussa käsitellään SMH:a ja luvussa 3.2 kuvataan prospektiteoria.

Somaattisten merkkien hypoteesi (SMH) on Antonio Damasion formuloima hypoteesi (Damasio 2001, 161–192), joka haastaa perinteisen taloustieteellisen ajattelumallin, jonka mukaan ihminen tekee päätöksiä ja valintoja kylmän järkeilyn ja nk. maksimaalisen hyödyn tavoittelun teorian mukaisesti. SMH:n mukaan emootioilla on voimakas merkitys päätöksenteossa.

Koetuista tapahtumista tallentuu aivoihin ja kehoon somaattisia (kreikan sanasta soma, joka tarkoittaa kehoa) merkkejä, jotka sisältävät kokonaisia kehontiloja tunnesisältöineen, aistimuksineen, ajatuksineen, kaikkineen. On merkille pantavaa, että kehoa ja mieltä ei pidetä tässä ajattelutavassa keskiaikaiseen tapaan jyrkästi toisistaan erillisinä yksikköinä, vaan koko keho ja aivot yhdessä muodostavat yhtenäisen, sulautetun neuraalisen verkon ja järjestelmän.

Aiemmat kokemukset ja niihin liittyvät emootiot sisältävät tietoa siitä, millaiset asiat ja tilanteet ovat toivottavia ja ei-toivottavia. Päätöksenteon tekee mutkattommaksi ja nopeammaksi aivojen tapa referoida somaattisten merkkien tallentamaan tietoa. Näin ihminen kykenee tekemään aivojen nopean prosessoinnin perusteella nopeita ja ennustettavasti edulliseen suuntaan johtavia valintoja niiden emootiosisällön pohjalta sen sijaan, että aivot arvioisivat vaihtoehtoja pitkien ja monimutkaisten kognitiivisten pohdintojen ja arviointien perusteella. Tätä voidaan pitää hyvällä syyllä evoluution tuloksena, koska se on hyvin ilmeisesti lajimme selviytymisen kannalta merkittävää. Emootiot nimittäin nimenomaan auttavat meitä ylläpitämään elämää. (Damasio 2000, 54–58.)

Damasion määritelmän mukaan emootio tarkoittaa “kokoelmaa muutoksia sekä kehon että aivojen tiloissa, jotka käynnistää omistautunut aivojärjestelmä, joka vastaa henkilön havain-

tojen – aktuaalisten tai muistettujen – sisältöön suhteessa kyseessä olevaan objektiin tai tapahtumaan”. (Bechara & Damasio 2004, 339.)

Damasio pitää emootioita ja tunteita erillisinä, vaikka toisiinsa liittyvinä käsitteinä. Lyhyesti voisi luonnehtia, että emootio on aina olemassa tunteen taustalla, sen esiasteena, mutta se ei välttämättä kehity tunteeksi. Tunteista ollaan aina jossain määrin tietoisia, emootioista ei. Tunteita voidaan ajatella, emootiot vain tapahtuvat. (Damasio 2000, 42.)

### 3.1.1 Tapaus Phineas Gage

Eräs aivotutkimuksen kannalta tärkeimmistä historiallisista tapauksista on Phineas Gage (1823–1860), amerikkalainen rautatietyöläinen ja työnjohtaja, joka tuli kuuluisaksi jouduttuaan vuonna 1848 työtapaturman uhriksi. Hän oli silloin 25-vuotias. (Damasio 2001, 21–35; Costandi 2010.)

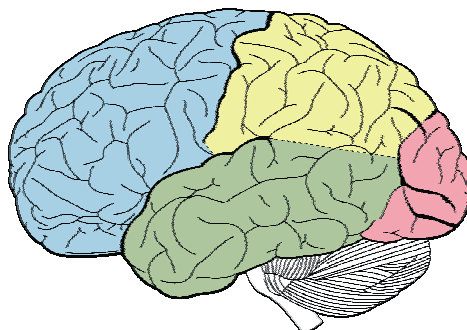
Gage oli tamppaamassa rautasauvalla (kuva 6) hiekkakerrosta ruutipanoksen päälle kallioon porattuun reikään 19. syyskuuta tuona epäonnisenä vuonna, kun tanko sai kiveen raapaistessaan aikaan kipinän, joka räjäytti ruutipanoksen, ja tanko lensi suoraan hänen päänsä läpi vasemmasta poskesta silmän alta ja tuli oikealta puolelta kallon läpi ulos. Silmä pullahti osittain ulos ja aivoja ja verta roiskui työkavereiden päälle. Tanko löytyi noin kymmenen metrin päästä maasta. Merkillistä kyllä, mies itse vaikutti olevan tajuissaan ja ennen kaikkea elossa.

Lääkäri John Harlow tutki Gagen päätä hänen asumuksessaan lähistöllä tapahtuneen jälkeen, poisti joitakin luumurusia ja paranteli päänahan haavaa. Joitakin päiviä myöhemmin yksi haavoista tulehtui ja Gage vaipui lähes koomaan, josta toipui yllättävän pian. Jo vähän yli muutaman kuukauden päästä hän vaikutti olevan päällisin puolin kunnossa.

Omaiset ja ystävät kuitenkin saivat huomata, että jotakin oli muuttunut perusteellisesti. Phineas Gage ei ollut enää oma itsensä. Hänen persoonallisuutensa oli muuttunut voimakkaasti. Ennen hänet tunnettiin mitä tehokkaimpana ja kyvykkäimpänä työnjohtajana, mutta nykyisellään häntä ei voitu pitää enää kelvollisena vanhoihin työtehtäviinsä. Hänestä tuli oikukas, epäkunnioittava muita kohtaan, suorastaan hävytön (aivan toisin kuin ennen), ja kykenemätön pitämään kiinni tulevaisuutta koskevista päätöksistään. Jotkut sanovat, että hänestä tuli suorastaan väkivaltainen ja hallitsematon sosiaalisissa tilanteissa.

On vaikea sanoa, mikä osa kertomuksista on totta ja mikä liioittelua ja keksittyä, ja kuinka pitkään Phineas Gagen persoonallisuus pysyi kuvatulnaisena; hänen myöhemmistä vaiheistaan tiedetään varmuudella aika vähän. Voidaan kuitenkin sanoa liioittelematta, että hänen onnettomuutensa antoi viitteitä siitä, että aivojen otsalohkolla (kuva 5) on tärkeä osa päätöksente-

ossa ja sosiaalisessa kognitiossa. “Aivojen otsalohko” on kuitenkin hyvin ylimalkainen viittaus, ja vasta kymmenien vuosien kuluessa olemme alkaneet saada tarkempaa ja täsmällisempää tietoa aivojen alueista ja niiden rooleista ja tehtävistä.



Kuva 4: Sinisellä kuvassa aivojen otsalohko. Johdettu Grayn anatomian kuvasta 728 (Wikimedia Commons 2006).

On joka tapauksessa merkille pantavaa, että mitkään Phineas Gagen hengissä tai hereillä pysymiseen liittyviä peruselintoimintoja säätelevät aivoalueet eivät vaurioituneet. Kielen tuottaminen ja ymmärtäminen, puhuminen ja motoriikka toimivat edelleen. Gage jatkoi elämistä, mutta ei enää ollut sama henkilö.



Kuva 5: Phineas Gage kuuluisan rautatankonsa kanssa (Wikimedia Commons. Kuvaaja ja vuosi tuntematon)

### 3.1.2 Damasioiden neurologiset tutkimukset

Hanna Damasio, Antonio Damasion kollega ja puoliso, perehtyi noin 120 vuotta Gagen kuoleman jälkeen Gagen kalloon ja rautatankoon, ja yritti selvittää tangon tarkan tunkeutumisen kuvantamismenetelmiä ja mallintavia laskelmia hyödyntäen. Myöhemmin tutkimukset ovat osoittaneet, että normaalille päätöksenteolle tärkeä aivoalue on etuosan ventromediaalinen alue. Tämä alue oli myös vaurioitunut Gagella. (Damasio 2001, 47.)

Antonio Damasio löysi vastaanottamistaan potilaista tapauksen, jota voisi käyttäytymisensä ja vaurioittensa puolesta pitää modernina Phineas Gagenä. Hän kutsuu tätä henkilöä nimellä Elliot. Elliotilla oli ollut "hyvänlaatuinen" aivokasvain, meningeooma, joka alkoi suurentua painaa otsalohkoja alhaalta ylös. Se oli ollut pakko leikata, tai hän olisi kuollut. Samalla kasvaimen vahingoittamaa otsalohkon kudosta oli täytynyt poistaa. (Damasio 2001, 48-63.)

Elliotin olemuksessa, käytöksessä ja päätöksentekokyvyssä tapahtui samantapaisia muutoksia kuin Gagella oli tapahtunut. Hän ei pystynyt tekemään kokonaisuuden kannalta järkeviä päätöksiä ja unohtui helposti syventymään yhteen asiaan epäkäytännöllisen pitkään ja yksityiskohtaisesti. Pitkän tähtäimen aikatauluja hän ei pystynyt enää hallitsemaan eikä toteuttamaan. Matemaattis-logista päättelyä, muistia vaativat, kielelliset ja liikunnalliset kyvyt olivat tallessa, mutta viisaiden tavoitteiden asettaminen ja niitä kohti liikkuminen ei enää toiminut. Työnteosta ei tullut mitään ja lopulta hän putosi työelämästä, vaikka oli ennen ollut arvostettu ja kykenevä vaativiin tehtäviin. Hänen perusluonteensa säilyi mukavana ja rauhallisena toisin kuin Phineas Gagella, mutta hän ei oppinut virheistään, eikä reagoinut moitteisiin.

Älykkyystesteissä Elliot menestyi huikean hyvin, joten ongelma oli jossakin muualla. A. Damasio pääsi selville Elliotin tunteiden laimentumisesta tai suoranaisesta puuttumisesta. Elliotilla oli jopa muisto siitä, että hän reagoi ennen aivovauriota tunteilla tiettyihin tilanteisiin, joista tutkimuskokeissa yritettiin ärsykkeillä suggestiivisesti muistuttaa. Hän ei kuitenkaan kyennyt enää kokemaan emootioita tai tunteita.

Damasio tutki myös useita muita aivovauriopotilaita ja sai näistä tukea ja kimmoketta käsitykselle, että otsalohkon etuosalla on merkittävä osa tunteiden ja emootioiden kokemisessa ja että niillä on merkittävä rooli rationaalisessa/viisaassa päätöksenteossa. (Damasio 2001, 64–87.) Näiden tutkimusten ja löydösten perusteella Antonio Damasio kehitti SMH:n.

### 3.1.3 Neuraalinen rakenne (keskeiset aivoalueet)



A. Damasion mukaan aivot käynnistävät emootioita varsin harvasta kohteesta, joista useimmat ovat aivokuorenalaisia. Keskeiset kohteet niistä ovat aivorungossa, hypotalamuksessa ja aivojen etuosan pohjalla. Esimerkiksi PAG, harmaa aine, joka ympäröi aivonesteviemäriä, on merkittävä koordinaattori emotionaalisille vasteille. Toinen tärkeä aivokuoren alapuoella sijaitseva kohde on amygdala eli mantelitumake. Tärkeitä kortikaalisia keskuksia, aivokuoren käynnistäjäkeskuksia ovat mm. pihtipoimun takaosa ja otsalohkon etuosan ala- ja keskiosat (vmPFC). Eri aivoalueet osallistuvat eri suhteissa ja kombinaatioissa erilaisten emootioiden käsittelyyn. (Damasio 2000, 63–64.)

### 3.1.4 SMH:n funktiot: primaariset ja sekundaariset emootioiden indusioijat

Primaariset indusioijat käynnistävät välittömän kokemuksen tai opitun mallin kautta somaattisia tiloja, jotka ovat joko miellyttäviä tai vältettäviä. Tästä esimerkkinä vaikka myrkkykäärmeen/ystävän näkeminen, kuuman levyn/pörheän kissan koskettaminen, lottovoitto/rahan häviäminen, hyvä ruoka/homeinen ruoka. Nämä opitut mallit ovat synnynnäisiä tai syntyvät emotionaalisesti voimakkaassa tilanteessa. (Damasio 2001, 131–138.)

Amygdalaa pidetään tärkeänä primaaristen indusioijien kutsumien somaattisten tilojen käynnistäjästruktuurina. (Bechara & Damasio, 341.)

Sekundaariset indusioijat käynnistävät muiston (menneisyys) tai spekulointia (jos valitsen näin / tapahtuu näin, niin tulee olemaan tällainen somaattinen tila) kautta somaattisia tiloja, jotka tuottavat emootioita. Näitä tiloja voivat myös laukaista primaariset indusioijat, jotka muistuttavat koetusta tai kuvitellusta kokemuksesta. Voidaan käyttää esimerkiksi sanaa uhka/pelko tai vastaavasti: myönteinen antisipaatio, palkkion toive; pelko, kärsimyksen ennakointi. (Damasio 2001, 131–138.)

VmPFC:a pidetään keskeisenä sekundaaristen indusioijien kutsumien somaattisten tilojen laukaisijana, vaikka se voi liittyä myöskin joihinkin primaaristen indusioijien käynnistämiin emootioihin. (Bechara & Damasio, 340.)

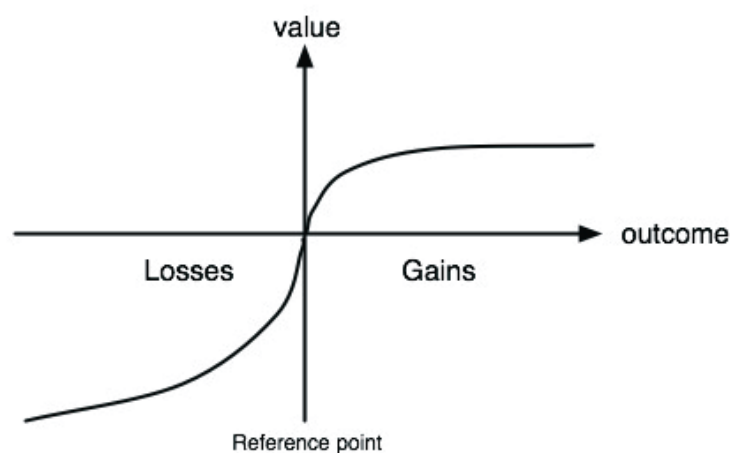
Primaaristen ja sekundaaristen indusioijien eron voisi karkeasti sanoa olevan siinä, että ensin mainitut kulkevat “kehon piirin” kautta ja jälkimmäiset indusoivat samoja somaattisia kokemuksia “ikään kuin” ajateltu/muistettu/aivoissa representoitu tapahtuma todella tapahtuisi. “Ikään kuin” -kokemukset voidaan kokea yhtä voimakkaina kuin “kehon piirin” kautta kulkevat.

“Kehon piiri” tarkoittaa, että neuraaliset signaalit kulkevat aivoista kehoon ja sieltä takaisin. “Ikään kuin” -piirissä koko prosessi tapahtuu aivojen sisällä. (Damasio 2000, 80.)

On kuitenkin muistettava, että somaattiset merkit eivät päättelä tai päätä puolestamme, vaan toimivat ikään kuin punaisina tai vihreinä valoina, jotka auttavat ennakoimaan ja korostamaan joitakin asioita suotuisina ja joitakin ei-suotuisina, ja tekemään parhaassa tapauksessa oikeita valintoja. (Damasio 2001, 168.)

### 3.2 Prospektiteoria

Eräs keskeisistä hypoteeseista palkkavalintatutkimuksessa liittyy Daniel Kahnemanin ja Amos Tverskyn 1979 esittelemään prospektiteoriaan (Kahneman & Tversky 1979). Arvon funktiona tutkimusasetelmassa on mielihyvän tai mielihäpän aivovaste suhteessa tarjottuun palkkaan, akseleiden leikkauspisteessä referenssipiste (RP) eli tässä tapauksessa koehenkilön ilmoittama tavoitepalkka.



Kuva 6: Prospektiteorian arvofunktio (Rieger 2006)

Toisin sanottuna hypoteesina oli se, että palkkatarjouksen osuessa esimerkiksi 10 % palkkatavoitteen eli RP:n alapuolelle koettu mielihäpa on suurempaa kuin koettu mielihyvä palkkatarjouksen olessa 10 % RP:ä suurempi. RP:n negatiivisella puolella arvofunktion kuvaaja on jyrkemmin laskussa kuin se on nousussa RP:n positiivisella puolella (kuva 7). Oletuksena oli, että tavoitepalkka on emotionaalisesti merkittävä asia, ja sen tulisi laukaista aktiiviteettia SMH:iin liittyvillä aivoalueilla.

## 4 Tutkimusprosessin päävaiheet

Seuraavaksi käydään läpi palkkavalintatutkimuksen päävaiheet ja seikat alkaen tutkimusryhmän muiden keskeisten henkilöiden lyhyestä esittelystä, koehenkilöiden rekrytoinnista, edeten aineiston hankintaan ja päätyen eri esikäsittelyvaiheiden kautta itse analyysiin.

#### 4.1 Tutkimusryhmä

Tutkimusprojekti oli jo käynnissä minun liittyessäni siihen, ja osa aineistosta eli koehenkilöiden skannauksista oli jo kerätty siihen mennessä. Ajoilta ennen osallistumistani mainittakoon merkittävänä henkilöinä Jeremias Kangas, joka ohjelmoi kokeessa käytetyn Presentation-koodin sekä Markus Kivikangas, jonka kanssa Jyrki Suomala otti tärkeitä ensimmäisiä askeleita fMRI-tutkimusmetodien opiskelussa.

Tutkimusryhmään kuuluivat minunkin aikani Laurean yliopettaja Jarmo Heinonen, joka oli mukana analysoimassa dataa ja auttoi erityisesti behavioraalisessa analyysissä, sekä HUS:n LKT, neuroradiologi Jussi Numminen, joka toimi sekä korvaamattomana apuna SPM-analyysissä että lain edellyttämänä läsnäolevana vastuulääkärinä kuvantamistilanteissa.

#### 4.2 Koehenkilöiden valinta ja rekrytointi

Koehenkilöiden (n=25) valinnassa käytettiin apuna Michael Casagranden behavioraaliseen tutkimukseen maksimoijista ja tyytymöijistä (engl. maximizers, satisficers) keräämää tutkimusaineistoa (Casagrande 2007).

Tutkimukseen osallistujilta kysyttiin lupaa olla yhteydessä heihin mahdolliseen aivotutkimukseen liittyen. Luvan antaneisiin ihmisiin otettiin yhteyttä ja kysyttiin, kiinnostaako osallistuminen tutkimukseen koehenkilönä. Yllättäen osallistumisensa peruneiden henkilöiden tapauksissa etsittiin myös samasta joukosta vaihtoehtoisia varahenkilöitä, mikä onneksemme pelasti joissakin tapauksissa tilanteen. Varatusta ajasta magneettihuoneessa kun täytyy joka tapauksessa maksaa siitä huolimatta, onnistuuko koe vai ei.

Tyytymöijät ovat henkilöitä, jotka tekevät valinnan, jos se täyttää heidän henkilökohtaiset kriteerinsä, ja tyytyvät siihen. Maksimoijat pyrkivät parhaaseen mahdolliseen tulokseen, eivätkä tee valintoja ennen kuin ovat käyneet läpi kaikki vaihtoehdot ja voivat olla mielestään aivan varmoja, että valinta on optimaalinen. (Casagrande 2007, 9–10.)

Maksimoijien ja tyytymöijien välinen mahdollinen ero behavioraalisesta ja/tai neurofysiologisesta näkökulmasta oli aiemmin mainittujen hypoteesien lisäksi eräs tutkimuksen kiinnostuksen kohteista.

Erinäisten teknisten virheiden, kuten Stimulus-PC:n järjestelmän satunnaisen, yllättävän epävakauden vuoksi vain 18 koehenkilön datat pystyttiin sisällyttämään fMRI-analyysiin. Behavioraalisessa aineistossa mukana oli koko 25 koehenkilön joukko.

### 4.3 Tutkimusasetelma

Tässä alaluvussa käydään läpi hyväksy tai hylkää -kokeen rakenne, Presentation-ohjelman merkitys ja koodin päämuuttujat sekä datan tallentaminen.

#### 4.3.1 Hyväksy tai hylkää -kokeen rakenne

Koe rakentui kolmesta osasta, joista kaksi oli rakenteeltaan identtisiä ja yksi niin sanottu kontrollisarja. Kaikille osille yhteistä oli koehenkilön kahdella painonapilla tekemät valinnat kahden vaihtoehdon väliltä. Kontrollisarjassa esitettiin lukusarjoja, joihin piti vastata, onko sarja nouseva vai laskeva. Oikeiden ja väärin vastausten suhteen perusteella varmistettiin, että koehenkilö on "hereillä" ja kyllin tietoinen ja keskittynyt tehdäkseen "aitoja" valintoja, joilla on mahdollisimman paljon tositilannetta muistuttava emotionaalinen vaste.

Varsinaisissa sarjoissa esitettiin palkkatarjouksia, jotka olivat -30%, -20%, -10%, 1, +10%, +20%, +30%, +40%, +50% ja +60%-kertaisia suhteessa tavoitepalkkaan. Koehenkilön tehtävä oli joko hyväksyä tai hyväksyä palkkatarjous.

Sarjat kestivät kukin noin 20 minuuttia ja niiden välillä oli jonkin verran taukoa. Kokeen jakaminen tietynmittaisiin osiin johtui käytetyn ohjelmiston ja laitteiston silloisista teknisistä rajoituksista, joiden mukaan yksi skannausajo sai luoda vain tietyn määrän tiedostoja. Tälle ajojen jakamiselle osiin ei ollut siis muuta perustetta. Kyseinen rajoitus on sittemmin poistunut versiopäivitysten myötä.

Yli +30% tarjoukset olivat mukana vaihtoehtovalikoimassa siksi, että esitettävät stimulut eivät olisi niin helposti ennakoitavissa. Analyysissä käytettiin kuitenkin vain tapauksia väliltä -30% ja +30% suhteessa tavoitepalkkaan.

#### 4.3.2 Presentation-ohjelma

Stimuluksina toimivien vaihtoehtojen esittämiseen ja vastausten rekisteröimiseen käytettiin Neurobehavioral Systemsin ohjelmaa Presentation. Ohjelma oli synkronoitu skannerin aikapulssin kanssa niin, että kuvien tallennus ja stimulussarjojen esittäminen käynnistyivät täsmälleen samanaikaisesti.

Presentation käyttää omaa, melko yksinkertaista skriptikieltään, joka on helppo oppia ja ymmärtää, jos osaa edes perustasolla jotakin tunnettua ohjelmointikieltä kuten vaikkapa C tai HTML. Kyseessä on erityisesti neurotieteelliseen tutkimuskäyttöön tarkoitettu ohjelma.

Jokaista koehenkilöä varten ohjelmakoodiin piti muuttaa tavoitepalkkaa (RP) vastaavan muuttujan arvo Presentationin omalla editorilla.

Lisäksi koodissa oli tärkeitä muuttujia, joiden arvojen tulee kuitenkin pysyä samoina koko tutkimusprojektin ajan: scan\_period, eli aika, joka kuluu yhden volyymin (yksi kokonainen kolmiulotteinen kuva aivoista) kuvantamiseen (käytetty arvo oli 1800 ms), sekä pulses\_per\_scan, eli kuinka monesta leikkeestä yksi volyymi koostuu (tässä tapauksessa 27). Ensin mainittua arvoa nimitetään yleensä lyhenteellä TR, repetition time. Arvojen on oltava samoja sekä Presentation-koodissa että skannausmäärittelyissä; muuten aikalokitiedostot ja kuvatdata eivät ole keskenään verrannollisia, jolloin kuvantamisdatalla ei olisi tutkimuksen kannalta oikeastaan mitään käyttöarvoa.

#### 4.3.3 Datan tallentamisesta

Presentation tallensi lokitiedostot Stimulus-PC:n sisäiselle kovalevyille, josta ne kopioitiin talteen yleensä saman tien vähintään kahteen paikkaan; USB-muistitikulle ja toinen kopio omaan sähköpostiosoitteeseen. Nämä tiedostot olivat puhdasta ASCII-tekstiä, eivätkä näin ollen kovinkaan isokokoisia.

Skannerin DICOM-muotoiset 4D-kuvatiedostot tallentuivat AMI-keskuksen serverille, josta ne oli syytä siirtää mieluiten mahdollisimman pian session jälkeen omaan talteen tilaa viemästä. Jo pelkästään yhden koehenkilön kuvamateriaali vei huomattavia määriä levytilaa, eikä kopiointikaan tapahtunut näin ollen aivan hetkessä. Tallennusmediana toimi ulkoinen USB-liitäntään kytkettävä kovalevy.

#### 4.4 Koetilanteen kulku

Seuraavaksi käydään läpi koetilanteen kulku koetilannetta edeltävine valmisteluineen ja korostaen erityisesti koehenkilön huomioimista.

##### 4.4.1 Koehenkilön ohjaus

Koehenkilöä ohjeistettiin ennen magneettikuvausta seuraavasti. Ensiksi, koehenkilön puettua tutkimustiloissa käytettävät sisäkengät, häntä pyydettiin täyttämään kaavake, jossa oli muun muassa turvakysely (AMI-keskus, 2008, 14), kentät henkilötiedoille, tilinumerolle (osallistumiskorvausta varten) sekä tavoitepalkalle (RP) koetta varten. Turvakyselyn tarkoituksena oli varmistaa muun muassa ferromagneettisten substanssien (tatuoinnit ja kestopigmentoinnit, lävistyksset, mahdolliset kehon sisällä olevat metalliesineet kuten keinojäseneet, hammas-

raudat, aneurysmaklipsit, ehkäisykierukat, kranaatinsirpaleet jne.) puuttuminen kehosta ja se, että koehenkilöllä ei ole sydämentahdistinta, diagnosoituja neurologisia sairauksia tai muuta vastaavaa. Toiseksi koehenkilöä kehoitettiin varmistamaan, ettei vaatetuksessa tai muutoin mukana ole magneettisia esineitä. Kolmanneksi häntä neuvottiin pukeutumaan koetta varten valkoiseen paperihaalariin ja ennen magneettihuoneeseen siirtymistä varmistettiin vielä metallinpaljastimella, että koehenkilö on "MRI-turvallinen". Jos esteitä kuvaukselle ei ilmennyt, seuraavaksi oli aika siirtyä henkilökorttisuojatun puomin ohi magneettihuoneeseen; alueelle, jonka säteellä magneetikentän katsotaan olevan kyllin voimakas vaikuttaakseen haitallisesti ylimääräisiin ferromagneettisiin elementteihin.

Ennen mittauksen alkua koehenkilölle laitettiin kuulosuojaimet. Tämä on tärkeää, koska kuvantamishuoneessa on alituisen muuttuvien magneetikenttien aiheuttama voimakas, jyskyttävä meteli. Lisäksi jalat suojattiin myös viltillä kylmyyden vuoksi. Kun kaikki näytti olevan hyvin ja koehenkilö oli ohjattu alustalla skannerin sisään, voitiin siirtyä seuraavaan vaiheeseen.

#### 4.4.2 Kokeen aikana

Aluksi, kun kaikki ohjelmalliset parametrit oli asetettu ja tarkistettu oikeiksi, testattiin, että painonapit toimivat oikein. Tämä tehtiin yleensä ennen kuin koehenkilö meni magneettihuoneeseen. Kokeen johtaja kävi aika ajoin keskustelua koehenkilön kanssa puhumalla mikrofooniin ja koehenkilö vastasi painamalla nappeja. Asiaan kuului myös keskustella aika ajoin koehenkilön kanssa, että hän pysyi varmasti rauhallisena (ja hereillä!), ja että tiedettiin kaiken olevan hyvin. Tiedottaminen tapahtumien kulusta kuului myös käytäntöihin. Varsinaisten kolmen funktionaalisen ajon lisäksi otettiin myös T1- ja T2-painotetut anatomiset rakennekuvat, joista T1:ä käytettiin apuna analyysissä muun muassa kuvien esikäsittelyvaiheessa. Kokeen aikana välillä myös skannerin alusta liikkui ja kuului erilaisia skannerin toimintaan liittyviä ääniä. Näistä kerrottiin koehenkilölle, koska skannerin sisällä makaileminen on muutenkin niin epätavallinen tilanne ja voi itsessään aiheuttaa joissakin ihmisissä stressiä.

Eri skannausajojen välissä oli jonkin verran taukoa ja valmistelua, jolloin oli hyvää aikaa mm. tarkistaa, että lokitiedostot olivat tallentuneet oikein. Koehenkilön pulssi oli myös näkyvillä tietokoneruudulla monitorointihuoneessa, ja sitä tarkkailtiin varmuudeksi kokeen aikana.

#### 4.4.3 Kokeen jälkeen

Kun ajot oli suoritettu, koehenkilö ohjattiin ulos skannerista ja magneettihuoneesta, ja hän oli valmis vaihtamaan siviiliasuunsa. Usein vastuulääkäri lausui koehenkilölle hänen anatomi-

sen rakennekuvansa hänelle ja kertoi, miltä hänen aivonsa näyttävät asiantuntijan mielestä. Lain mukaan lääkärin tulee aina kertoa, jos aivoista löytyy poikkeamia.

Palkkion/korvauksen summa määräytyi kokeessa tehtyjen valintojen (mm. kontrollisarjan onnistumisprosentti) mukaan. Kh:ltä pyydettiin verokortti maksua varten ja tietenkin kiitettiin korvaamattoman arvokkaasta osallistumisesta tutkimukseen. Koehenkilö sai halutessaan jälkeenpäin myös JPEG-muotoisena kuvatiedostona anatomisen rakennekuvansa. Sen sai kätevästi ulos MRICro-ohjelmalla.

#### 4.5 Datan esikäsittely ja analysointi

Data-analyysi muodostui kahdesta esikäsittelyvaiheesta, design-matriisin luomisesta ja tilastollisesta testaamisesta. Seuraavassa kuvataan nämä tarkemmin. Näistä vaiheista laadin myös dokumentin (liite 5).

##### 4.5.1 Kuvadatan esikäsittelyvaiheet (MRICro)

Skanneri käyttää lääketieteellisessä käytössä yleistä DICOM-standardin mukaista kuvaformaattia. SPM ei kuitenkaan tue sitä, joten kuvatiedostot täytyi ensin muuntaa sen ymmärtämään muotoon. Myöhemmät SPM:n versiot osaavat tehdä konversion itse, mutta SPM2:n ollessa kyseessä muunnettiin 4D DICOM-kuvat MRICro-nimisellä ohjelmalla SPM2:n suosimaan Analyze-formaattiin. Sitten tehtiin vielä muunnos 3D-kuvatiedostoiksi ja luotiin sopivat, itse nimetyt kansiorakenteet muunnetuille ja alkuperäisille kuville kutankin ajoa (kaksi varsinaista sarjaa ja kontrollisarja) varten. Funktionaalisten sarjojen kutsumanimiksi tuli EPI1, EPI2, ja CEPI. EPI voidaan mieltää tarkoittavan episodina, mutta toisaalta se on lyhenne sanoista echo planar imaging, joka on MRI-tekniikkaan liittyvä termi.

Lisäksi siirrettiin kustakin sarjasta kaksi ensimmäistä leikettä (dummy scans) syrjään omaan hakemistoonsa. Näitä ei otettu mukaan analyysiin. Dummy-skannaukset jätettiin aiheellisesti pois analyysistä, koska skannauksen alussa kestää aina hetki, että MRI-signaali stabiloituu (Facey 2010).

##### 4.5.2 Kuvadatan esikäsittelyvaiheet (SPM2)

Jotta kuvamateriaali olisi vertailu- ja analyysikelpoista yksilö- ja ryhmätasolla, joidenkin korjaavien ja valmistelevien toimenpiteiden tekeminen on välttämätöntä. Nämä toteutimme SPM2:lla, eli MRICro:ta ei tarvittu enää tässä vaiheessa prosessointia. Kuvadatan esikäsittelyvaiheet SPM2:lla muodostuivat neljästä vaiheesta, jotka olivat uudelleenkohdistus (sisältäen

liikekorjauksen), yhteenrekisteröinti (co-registration), pehmennys (smoothing) ja normalisointi.

Ensiksi tehtiin automaattinen uudelleenkohdistus ja liikekorjaus (realignment, motion correction). Vaikka koehenkilöitä pyydetään pysymään mahdollisimman liikkumatta kokeen aikana, minimaalisia pään liikkeitä tapahtuu aina enemmän tai vähemmän. Tätä voidaan korjata automaattisesti SPM2:n uudelleenkohdistuksen avulla tyydyttävässä määrin. Toiminto vertaa kaikkia muita kuvia yhteen, käyttäjän määrittelemään kuvaan koehenkilöltä ja korjaa asennot sen mukaan. (Friston ym. 2007, 11-12.)

Uudelleenkohdistuksen jälkeen kuvat yhteenrekisteröitiin henkilön T1-painotetun anatomisen kuvan kanssa. Tämän vaiheen tarkoituksena on optimoida kuvissa esiintyvien vokselien vastaavuudet. Tämä tarkoittaa sitä, että vokseli koordinaateissa XYZ funktionaalisissa kuvissa vastaa samaa vokselia saman henkilön kuvassa, joka voidaan olettaa staattiseksi eli paikallaan pysyväksi. Kyseinen vaihe tekee sekä pieniä muutoksia funktionaaliseen kuvadataan referenssikuvan (meillä siis T1-rakennekuva) pohjalta, että luo tekstimuotoiset tiedostot, jossa on spesifiset yhteenrekisteröintiparametrit.

Seuraavaksi kuvat normalisoitiin käyttäen referenssinä henkilön T1-kuvaa ja templaattina Montreal Neurological Institutin niin kutsuttuja standardiaivoja.

Käytännössä normalisointi oli viimeinen suuri vääntely- ja kääntelytoimenpide, jonka ansiosta lopulta kaikkien koehenkilöiden kaikkien kuvien oletettiin olevan keskenään kyllin samankokoisia ja -muotoisia. Näin voitiin pitää riittävän varmana, että aivoalueet löytyisivät kuvista niiden oletetuista paikoista. Tässä huomioitiin myös se, että kaikkien aivot ovat todellisuudessa ainakin hieman erimuotoisia ja -kokoisia. (Friston ym. 2007, 13; 94.)

Lopuksi vielä pehmensimme kuvat käyttäen 5 mm FWHM (full width at half maximum) Gaussin ydintä. Tämä johti siihen, että pikkutarkat yksityiskohdat muuttuivat hieman epätarkemmiksi, eli vokselit levisivät pehmeämmin ja materiaali oli keskenään paremmin vertailukelpoista tämällytyypisessä tutkimuksessa. (Friston ym. 2007, 13-14; 94-95.)

#### 4.5.3 SPM: Design-matriisin luonti (aikalokitiedostot yhdistyvät kuvadataan)

Kuvien esikäsittelyn jälkeen yhdistettiin kuvatiedostot ja aikalokitiedostot yhteen ja rakennettiin niistä malli. Tämä toteutettiin ensin yksilötasolla, eli kutakin koehenkilöä ja kunkin koehenkilön EPI-ajoa kohden erikseen.



Aikalokeista on löydettävissä erikseen ajankohdat, jolloin koehenkilölle on tarjottu palkkaa -30%, -20%, -10%, 1x, +10%, +20% ja +30% RP:stä. Näille ajankohdille on vastaavat ajankohdat kuvadatassa. Jokaista tapausta kohden luotiin kontrasti, jota tarkasteltiin myöhemmin t-testillä. Tämä työvaihe oli hyvin työläs, äärimmäistä pikkutarkkuutta vaativa ja tehtiin manuaalisesti askel askeleelta; myöhemmissä SPM:n versioissa nämä kaikki monimutkaiset toimenpiteet on mahdollista ohjelmoida skriptikielellä automaattisuorituksiksi.

Yksinkertaisesti sanottuna näiden mallien pohjalta voidaan nähdä tilastollisiin laskentameneelmiin pohjautuva graafinen ja numeerinen (koordinaatit) esitys siitä, millaisilla aivoalueilla kullakin koehenkilöllä tapahtui aktivaatiota kunkin ärsyketyypin (erilaisissa suhteissa RP:een olevat palkkatarjoukset) yhteydessä. Eri tapauksissa ei tehty eroa, oliko koehenkilö hyväksynyt vai hylännyt tarjouksen, vaan tutkittiin jokaista mainittua seitsemää tapausta niputtaen sekä hyväksytyt että hylätyt tapaukset yhteen.

Seuraavassa vaiheessa vertailu vietiin sitten ryhmätasolle, eli tehtiin yksilökohtaisiin malleihin pohjautuvat matriisit, jossa tutkittiin kaikkia analyysikelpoisia koehenkilöitä ryhmänä.

#### 4.5.4 Analysoinnista

Osuuteni projektissa ulottui ajallisesti koehenkilötason vaiheeseen ja hieman siitä eteenpäin. Datalle on mahdollista tehdä monenlaisia analyysejä erilaisilla menetelmillä tutkien erilaisista näkökulmista ja erilaisten hypoteesien pohjalta. Esimerkkinä mainittakoon ROI (Region Of Interest)-analyysi, jossa keskitytään tarkalleen johonkin tiettyyn aivoalueeseen, jonka oletetaan olevan merkityksellinen, ja tarkastellaan, esiintyykö siinä aktivaatiota ja missä tilanteissa. Voidaan myös tutkia, löytyykö eri tapausten välillä esimerkiksi lineaarista korrelaatiota; vaikkapa jonkin tietyn aivoalueen aktiviteetin voimistuminen palkkatarjousten kasvaessa tai vähetessä.

Aikani projektin parissa oli kuitenkin rajoitettu, ja rajoitun kuvaamaan tutkimusta pääasiassa siltä osin kuin siihen itse osallistuin.

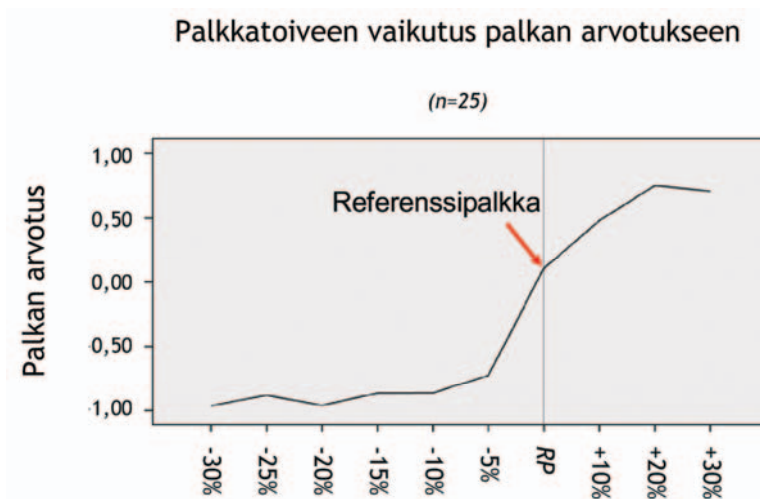
## 5 Tuloksista

Seuraavaksi esitellään sekä behavioraalisen analyysin tulokset että päätulokset.

### 5.1 Behavioraalinen analyysi

Lokitiedostojen behavioraalisen analyysin mukaan koehenkilöiden vastausten arvofunktiio vastaa prospektiteorian arvofunktiota. RP:n suhteen negatiiviset tarjoukset koetaan suhteessa

epämiellyttävämmiksi kuin tarjoukset, jotka ovat yhtä paljon positiivisia suhteessa RP:een. Lisäksi huomattiin, että funktion kuvaaja (kuvio 1) loivenee mentäessä kauemmas RP:stä, eli RP:stä vähäisemmin poikkeavat tarjoukset tuottavat suhteessa jyrkemmän vaikutuksen. (Liite 2.)



Kuvio 1: Palkkatutkimusprojektin behavioraalisen aineiston kuvaaja vastaa prospektiteorian arvofunktiota.

Behavioraalisen analyysin toteuttivat kollegani Jyrki Suomala ja Jarmo Heinonen. Itse osallistuin Yhdysvalloissa Evanstonissa Society for Neuroeconomicsin konferenssissa syyskuussa 2009 sekä Laurean tulevaisuusseminaarissa Mustialassa toukokuussa 2009 esitettyjen englannin- ja suomenkielisten tekstien sisällön parantelemiseen ja puhtaaksikirjoittamiseen.

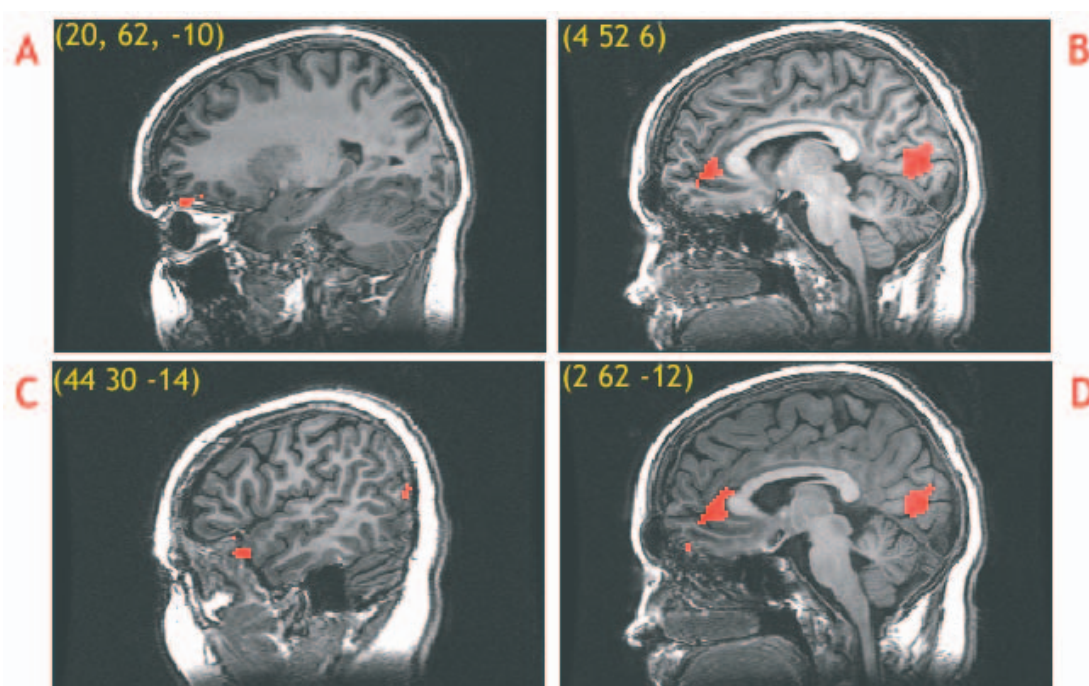
Suunnittelin ja toteutin tuloksista myös kaksi posteria, joista toinen esitettiin Evanstonin konferenssissa, ja sisälsi yksinkertaisesti saman tekstin kuin abstrakti. Se tulostettiin erillisille arkeille ja kiinnitettiin konkreettisesti liimaamalla isoon pohja-arkkiin. Toinen toteuttamani posterit esitettiin edellä mainitussa Mustialan seminaarissa, ja se löytyy pienoiskoossa liitteenä 3. Toteutukseen käytin Adobe InDesignin ja Illustratorin versioita CS3.

## 5.2 Päätulokset

FMRI-aineiston analyysin tuloksia esitettiin Society for Neuroeconomicsin vuotuisessa neurotieteen konferenssissa Evanstonissa 2011, noin kaksi vuotta sen jälkeen, kun aikani projektin parissa päättyi. Tulosten mukaan maksimoijien ja tyytymöijien tapa prosessoida tulostavoitteelliseen päätöksentekoon liittyviä arvosignaaleja orbitaalisessa ja mediaalisessa prefrontaalisessa aivokuoressa (OMPFC) poikkesi huomattavasti. Maksimoijilla (kuva 8) nämä signaalit korreloivat positiivisesti palkkatarjousten kasvaessa. Tyytymöijillä samoja signaaleita ei esiintynyt (liite 4).

Lisäksi tavoitteellinen arvosignaali alueilla right superior temporal gyrus, supramarginal gyrus sekä insula (aivosaareske) korreloi positiivisesti pienentyneiden palkkatarjousten kohdalla maksimoijilla. Signaali tyytymöijillä korreloi vastaavissa tilanteissa positiivisesti alueilla dorsal posterior cingulate ja superior cerebellum.

Tulokset osoittavat, että maksimoijien ja tyytymöijien käyttäytyminen valintatilanteissa poikkeaa neurofysiologisella tasolla toisistaan. Aiheesta on kirjoitettu myös journal-artikkeli, joka on tätä kirjoitettaessa vielä arvioitavana. (Suomala, J., Heinonen, J., Palokangas, L., & Numminen, J.)



Kuva 8: Palkkavalintatutkimuksen kuva-aineistoa OMPFC-verkoston aktiviteetista liittyen prospektiteorian arvofunktion maksimoijien ryhmässä; punaiset alueet merkitsevät aktivaatiota.

Vaikuttaisi siltä, että hedoniset/primaariset ja motivationaaliset/pitkän tähtäimen palkkionhakuisuudet liittyvät eri aivoalueisiin ja että jälkimmäisillä on mahdollisesti tekemistä aivojen ilmeisellä kyvyllä sisällyttää kulttuurillisesti perittyjä elementtejä arvotusjärjestelmiinsä.

## 6 Johtopäätöksiä ja pohdintoja

Tässä opinnäytetyön viimeisessä luvussa on johtopäätöksiä ja pohdintoja prosessien optimoinnin tarpeesta ja tavoista, suomeksi löytyvän, aihepiiriin liittyvän kirjallisen materiaalin vä-

hydestä, neurotutkimuksen tulevaisuudesta Suomessa sekä oppimisprosessista kaiken kaikkiaan.

## 6.1 Prosessien optimointi

Tein kollegoideni muistiinpanojen ja käytännössä toteuttamani SPM-analyysivaiheiden pohjalta yksinkertaisesti esitetyn, toiminnallispainotteisen dokumentin, joka ei juuri sisällä selityksiä, mutta toimii ikään kuin askel askeleelta seurattavana tutoriaalina. Tämän avulla muun muassa Lauri Palokangas pääsi alkuun omassa fMRI-tutkimusprojektissaan (Palokangas 2010), jollaisista hänellä oli yhtä vähän kokemusta kuin minulla ennen tätä projektia (ei yhtään). Tutkimuksesta, johon Palokankaan opinnäytetyö liittyy, on kirjoitettu myös journal-artikkeli, joka on vielä arvioitavana (Palokangas, L., Numminen, J., Heinonen, J., & Suomala, J.)

Kuten aiemmin luvussa 4.4.3 totesin, kaikkien vaiheiden toteuttaminen SPM2:llä tehtiin manuaalisesti vaihe vaiheelta. Käyttöliittymä on hyvin suurelta osin komentorivipohjainen ja pienenkin virheen tekeminen (siinäkin onnekaassa tapauksessa, että sen huomaa ajoissa) voi edellyttää palaamista pitkällekin taaksepäin. Esimerkiksi SPM8:ssa on jo hyvin kehittynyt skriptien käytön mahdollisuus, eikä niiden toteuttamiseen vaadita välttämättä ohjelmointitaitoa, koska niitä voidaan ohjelmoida ja ajaa valikkopohjaisen käyttöliittymän kautta. Sekä Palokankaan että myös muiden Laurean fMRI-projektien datat analysoidaan nykyään SPM 8:lla. Tästä huolimatta tässä työssä kuvatut vaiheet toteutetaan edelleen, mutta automaattisemmin.

Voidaan kaiken kaikkiaan sanoa, että olen ollut osallistumiseni ja dokumentaationi kautta tärkeänä osatekijänä luomassa uutta osaamista, en vain omalla henkilökohtaisella tasollani, vaan myös Laurean neurotalous-tieteen kehityksen kannalta tarkasteltuna.

Tekemäni dokumentti on oheistettu kuta kuinkin sellaisenaan (liite 5). Se annettiin eteenpäin viimeistelemättömänä versiona tulevien Laurean opiskelijoiden täydennettäväksi ja tutkimusprojekteihin osallistuvien henkilöiden työtä helpottamaan. Vaikka nykyään käytetään tuoreempaa, käyttöliittymältään ja muilta ominaisuuksiltaan kehittyneempää SPM:n versiota 8, ja kohta 12, taustalla toimivat tilastolliset menetelmät ja muut periaatteet ovat samat.

## 6.2 Kirjoitetun materiaalin vähyydestä suomeksi

Neurotalous-tieteelliseen fMRI-tutkimukseen, sen taustateorioihin ja käytännön toteuttamiseen liittyvää tekstimateriaalia on varsinkin suomeksi huomattavan vähän. Tietoa on kyllä saatavilla, mutta se on sirpaloitunutta ja pääasiassa englannin kielellä. Esimerkiksi fMRI-tutkimuksen SPM-analyysin toteuttamiseen ei ole olemassa selviä ohjeita. Ohjelman manuaa-

lista kyllä löytyy tietoa SPM:n eri toiminnoista ja niiden parametreista ja niin edelleen, mutta soveltaakseen niitä käytännössä täytyy oikeastaan löytää ja luoda sopivia kontakteja ihmisiin, jotka ovat tehneet vastaavanlaista tutkimusta ja kysellä heiltä. SPM:n englanninkielisestä postituslistasta voi olla myös jotakin hyötyä, mutta valmiita ohjeita ja suomeksi ei juuri ole.

Somaattisten merkkien hypoteesista on myös kirjoitettu valitettavan vähän artikkeleita suomeksi. Damasion kirjojen käännökset toki auttavat huomattavasti.

### 6.3 Neurotalous-tieteellisen tutkimuksen tulevaisuudesta Suomessa

Neurotieteellisen fMRI-tutkimuksen keinoin voidaan saada valtavasti arvokasta tietoa ihmisen käyttäytymisestä, päätöksenteosta, tunteista ja emootioista. Olisi hienoa, jos lähitulevaisuudessa yliopistot, ammattikorkeakoulut ja sovellusten toteuttajat (loppukäyttäjät) rakentaisivat aitoa yhteistyötä. Eri tahojen välillä käyty vuorovaikutus voisi tuottaa lisää aitoa, elävää, ”kenttätestattua” tietoa, ja saavutetulla tiedolla voitaisiin kehittää uusia sovelluksia ja käytäntöjä esimerkiksi markkinoinnin, turvallisuuden, psykiatrian ja pedagogiikan kentillä.

Tämänhetkisen tutkimustilanteen ongelma on siinä, että tutkimusta kyllä tehdään, mutta esimerkiksi akatemia pysyy varsin tiukasti omissa karsinassaan. Monialainen, monisuuntainen ja elävä tutkimuksen ekosysteemi puuttuu.

### 6.4 Loppusanat

Tutkimusprojekti oli aito oppimisprosessi, ja se oli sitä hyvin kokonaisvaltaisesti, koska lähes kaikki asiat olivat uusia sekä minulle että tutkimusryhmälle, lukuun ottamatta vastuulääkäri Jussi Nummista. Opittujen asioiden pohjalta on rakennettu Laureaan uutta tietämystä ja tutkimusta, joka toivon mukaan laajenee tulevaisuudessa kattavaksi tutkimuksen ja kehityksen yhteistyön verkostoksi tieteen ja sen soveltamisen eri aloilla.

Henkilökohtaisesti projekti toimi minulle ensimmäisenä askeleena neurotutkimuksen ihmeelliseen maailmaan; kenttään, johon en ollut koskaan aikaisemmin ajatellut astuvani. Seuraavaksi siirryin analysoimaan toisen fMRI-tutkimusprojektin dataa Aalto-yliopiston Kauppakorkeakoulun CKIR:n assistenttina. Suoriuduin tehtävästä suurelta osin palkkavalintatutkimukseen osallistumiseni aikana oppimieni tietojen pohjalta. Kyseinen projekti oli osa AivoAALTO-projektia, ja tein työtäni vuosina 2009–10 AMI-keskuksessa, missä sain kysyä neuvoja talossa toimivilta alan huippututkijoilta ja asiantuntijoilta. Tätä vaihetta voi pitää saman henkilökohtaisen oppimisprosessin johdonmukaisena jatkeena. Tämä opinnäytetyö olisi jäänyt ilman sitä kokemusta luultavasti huomattavasti ohuemmaksi sekä tietopohjaltaan että laadultaan.

## Lähteet

- AMI-keskus. 2008. AMI-keskuksen toiminta- ja turvallisuusohjeet tutkijoille. Viitattu 15.4.2012.  
[http://ami.aalto.fi/en/documents/04\\_ami\\_toimintaohjeet.pdf](http://ami.aalto.fi/en/documents/04_ami_toimintaohjeet.pdf)
- Bechara, A. & Damasio, A. 2005. The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior* 2005(52), 336-372.
- Casagrande, M. 2007. Valintakäyttäytyminen uusklassisen ja käyttäytymisen taloustieteen ehdoilla - tyytymöinnin ja maksimoinnin näkökulma. Laurea Leppävaara. Espoo. Opinnäytetyö.
- Collins, M. & Hiltunen, J. & Malinen, A. 2002. MRI-laitetekniikka. Viitattu 9.4.2012.  
[http://www.medicine oulu.fi/lttek/arkisto/05\\_MRI-laitetekniikka.pdf](http://www.medicine oulu.fi/lttek/arkisto/05_MRI-laitetekniikka.pdf)
- Costandi, M. 2010. Phineas Gage and the effect of an iron bar through the head on personality. Viitattu 9.4.2012.  
<http://www.guardian.co.uk/science/blog/2010/nov/05/phineas-gage-head-personality>
- Damasio, A. 2001. Descartesin virhe: Emootio, järki ja ihmisen aivot. Suom. Pietiläinen, K. Helsinki: Terra Cognita.
- Damasio, A. 2000. Tapahtumisen tunne: Miten tietoisuus syntyy. Suom. Pietiläinen, K. Helsinki: Terra Cognita.
- Facey, G. 2010. Dummy Scans. Viitattu 9.4.2012.  
<http://u-of-o-nmr-facility.blogspot.com/2010/04/dummy-scans.html>
- Friston, K. J., Ashburner, J. T., Kiebel, S. J., Nichols, T. E. & Penny, W. D. 2007. *Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images*. London, UK: Academic Press/Elsevier.
- Kahneman, D. & Tversky, A. 1979. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica* Vol. 47, No. 2., 263-292.
- Montague, R. 2007. *Your Brain Is (Almost) Perfect*. New York, NY, USA: Penguin Books.
- Palokangas, L. 2010. Measuring the Willingness to Purchase using Methods of Neuromarketing. Laurea Leppävaara. Espoo. Opinnäytetyö.  
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201004236826>
- Palokangas, L., Numminen, J., Heinonen, J., & Suomala, J. Virtual Customer Journey evokes brain's buying circuits. Tieteellinen journal-artikkeli. (Arvioitavana.)
- Suomala, J., Heinonen, J., Palokangas, L., & Numminen, J. Value Signals in the Human OMPFC Network Distinguish Maximizers from Satisficers during Goal Decision-Making. Tieteellinen journal-artikkeli. (Arvioitavana.)
- Vanni, S. 2009. What is Blood Oxygen Level Dependent Signal. Viitattu 9.4.2012.  
[http://tlt.tkk.fi/wiki/images/c/cc/Vanni\\_what\\_is\\_BOLD.pdf](http://tlt.tkk.fi/wiki/images/c/cc/Vanni_what_is_BOLD.pdf)
- Wikipedia. 2012a. Viitattu 9.4.2012.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Functional\\_magnetic\\_resonance\\_imaging](http://en.wikipedia.org/wiki/Functional_magnetic_resonance_imaging)
- Wikipedia. 2012b. Viitattu 9.4.2012.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Voxel>

## Kuvat

Kuva 1: T2-painotettu anatominen rakennekuva ihmisen aivoista (AMI-keskus 2012) .....	10
Kuva 2: Projektissa käytetty AMI-keskuksen 3T skanneri ja koehenkilö valmiina koetta varten. Kuvassa Jyrki Suomala ja koehenkilönä Paavo Lyytikäinen (Maunula 2011).....	11
Kuva 3: Kanoninen hrf, luotu SPM5:n funktion spm_hrf.m pohjalta (KCR_DukeU 2008) ....	12
Kuva 5: Sinisellä kuvassa aivojen otsalohko. Johdettu Grayn anatomian kuvasta 728 (Wikimedia Commons 2006).....	15
Kuva 6: Phineas Gage kuuluisan rautatankonsa kanssa (Wikimedia Commons. Kuvaaja ja vuosi tuntematon) .....	15
Kuva 7: Prospektiteorian arvofunktio (Rieger 2006) .....	18
Kuva 8: Palkkavalintatutkimuksen kuva-aineistoa OMPFC-verkoston aktiviteetista liittyen prospektiteorian arvofunktioon maksimoijien ryhmässä; punaiset alueet merkitsevät aktivaatiota. ....	27

## Kuviot

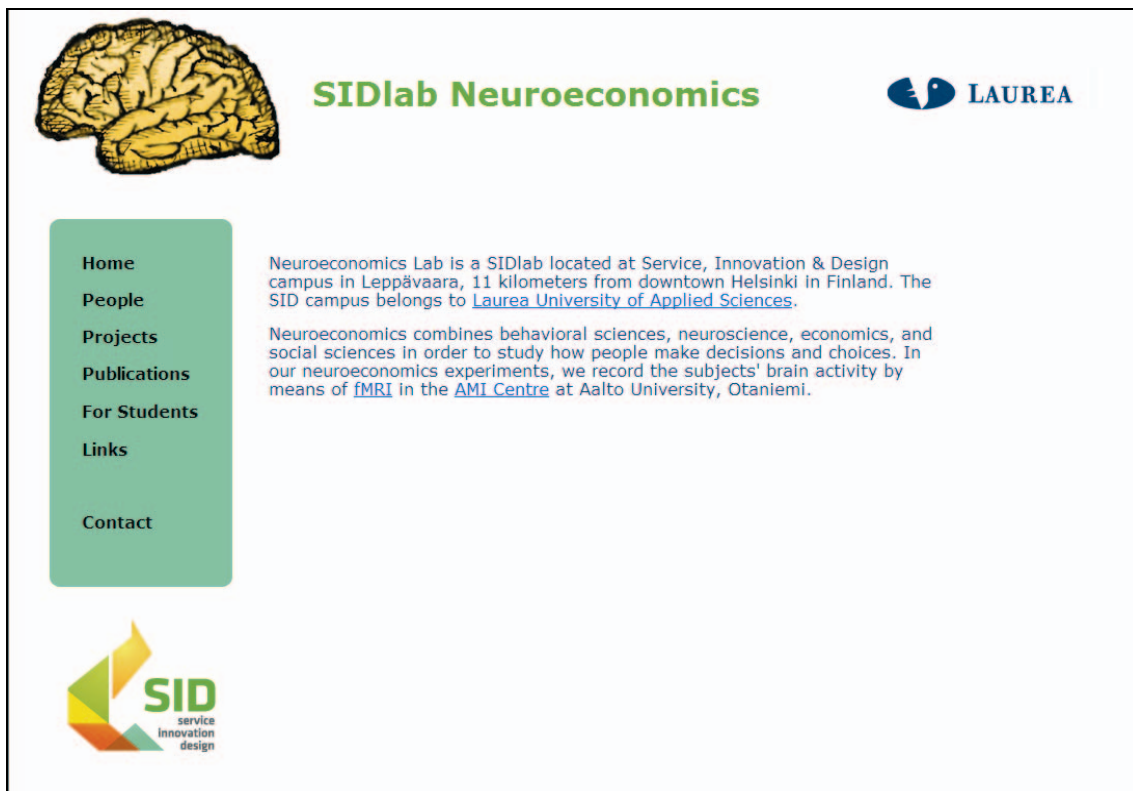
Kuvio 1: Palkkatutkimusprojektin behavioraalisen aineiston kuvaaja vastaa prospektiteorian arvofunktiota. ....	26
--	----



## Liitteet

Liite 1 Kuvakaappaus Laurea Neuroeconomics SIDlab -websivujen protoversiosta.....	34
Liite 2 Tiivistelmä liittyen behavioraalisiin tuloksiin.....	35
Liite 3 Posterit (Esitetty Laurean tulevaisuusseminaarissa, Mustiala 2009) .....	36
Liite 4 Tiivistelmä liittyen päätuloksiin .....	37
Liite 5 Dokumentti.....	38

Liite 1 Kuvakaappaus Laurea Neuroeconomics SIDlab -websivujen protoversiosta



Asettelu pohjautuu löyhästi Laurea Leppävaaran Viestintäpisteen websivujen vielä loppuvuonna 2008 käytössä olleen version asetteluun. Tyylitellyn kuvan aivoista on piirtänyt Jarmo Heino ja muokannut värittämällä ja kevyesti pehmentämällä Valtteri Leppihalme. Tämä versio sivustosta oli käytössä joitakin kuukausia vuonna 2009, kunnes Tuomas Tolvasen tekemät sivut otettiin käyttöön niiden tilalle.

Sivuston osoite on <http://neuroeconomics.laurea.fi/>

Liite 2 Tiivistelmä liittyen behavioraalisiin tuloksiin

**Expectation of Wage Offer Inherits the Properties of Prospect Theory Value Function:  
Behavioral Evidence from fMRI Study**

J. Suomala,<sup>1</sup> V. Leppihalme,<sup>1</sup> J. Heinonen,<sup>1</sup> and J. Numminen.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laurea University of Applied Sciences, Finland

<sup>2</sup> Hospital District of Helsinki and Uusimaa, Finland

**Objective:** Despite that the Prospect Theory (PT) value function has been used to explain a variety of behavior in fields ranging from economics to many other disciplines, choice behavior during economic search has been explained without PT. On the contrary, choice behavior in economic search literature has been explained by search cost, presence or absence of recall (Schotter & Braunstein 1981), the role of minimum wages (Falk, Fehr & Zehnder, 2005), and the variation in the amount of a fixed payment (Abeler, Falk, Götte & Huffman, 2009). In order to study the role of a subjective RP in economic search, we constructed a testable economic search model to represent the elements present in a subjective choice situation.

**Methods:** A novel ROA (Reject Or Accept) experiment suitable for fMRI studies has been constructed. In ROA, the subjects (n=25) evaluate a set of salary offers by rejecting or accepting the offer. Before the fMRI scan, the subjects answer a question on their personal salary goals after graduation. The content of the offers vary depending on the participants' subjective RP. However, the range of offers will be the same. During the fMRI scan, 50 sets of salary offers are presented, one at a time, for the participants to judge between "accept" and "reject". The number of offers in every set range from 1 to 5 and the content of offer is based on a uniform distribution in which salary offers range from -30% to +60% of the RP.

**Results:** The behavioral data has been analyzed. A personal valuation function has been counted for each subject. The study shows that the value function collected from economic search data inherits the properties of PT. First, the reference point divides the offers into regions of gain and loss. Second, during economic search, outcomes that are encoded as losses are more painful than gains of equal amount are pleasurable [ $v(x) < |v(-x)|$ ,  $x > 0$ ], e.g. [ $v(+10RP) > |v(-10RP)|$ ]. Further, the results show that outcomes have a smaller marginal impact when they are more distant from RP.

**Conclusions:** The study shows that during economic search the valuation of wage offers follows the features of the PT (Kahneman & Tversky 1979). To the best of our knowledge, this is the first time when choice behavior during economic search can be explained by PT. In near future, we may find out how brain activity correlates to the PT value function.

Liite 3 Poster (Esitetty Laurean tulevaisusseminaarissa, Mustiala 2009)

# Tavoitteen vaikutus valintaan esimerkkinä palkkavalinta

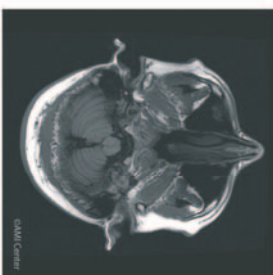
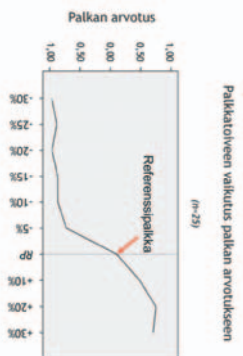


Suomala, J., LaurensID, MIBLab  
Numminen, J., HUS  
Kivikangas, M., Helsingin KKK  
Leppihalme, V., LaurensID, MIBLab  
Heinonen, J., LaurensID, MIBLab  
Ming, H., University of Illinois (UI)  
Bechara, A., University of Southern California (USC, USA)

## Tausta

Prospektiteorian mukaan ihmisen arvio suoritustaan vertaamalla sitä henkilökohtaiseen tavoitteeseen.  
(Kahneman & Tversky, 1979; Bechara & Damasio, 2005).  
Tavoitteen mukainen ja sitä parempi tarjous arvioitaan myönteisesti ja alle tavoitteen jäävä tarjous kielteisesti.

**Kokeen järjestäminen**  
Kehitimme palkkavalintaetävän, jossa koehenkilöt (n=25) joko hyväksyivät tai hylkäsivät palkkatarjouksia – yhden kerrallaan.  
Valintaprosessin aikana koehenkilöiden avot kuvattiin fMRI:llä (funktionaalinen magneettikuvaus) T1K:n-AMI-keskuksessa. Kaaviossa on esitetty behavioraalisen aineiston tulokset. (Magneettikuviin analyysi on vielä kesken).



## Tulokset

Kaavio osoittaa, että ihmisten arviofunktiio suhteessa palkkatarjoukseen noudattaa prospektiteorian arviofunktiota. Eli hieman alle (esim. -5% tai -10%) palkkatarjoukseen jäävä tarjous harrmittaa suhteessa enemmän kuin mitä saman verran tavoitepalkan ylä menevä tarjous aiheuttaa tyytyväisyydentunnetta (410%) > (-105%)).  
On siis tärkeää tietää palkkaneuvottelussa – kuten opiskelussakin – mikä on henkilön subjektiivinen referenssitaso.  
Mielenkimmella odotamme, noudattavako avojen ns. self-relevance -alueet myös prospektiteorian arviofunktiota.

Prospektiteoriaa on tutkittu lääketeiteneesi, karnantoloustieteessä, koluttajatutkimuksessa ja psykologiasa. Kokeemme on tehtävädi etuimmainen, jossa teorian toimivuus on osoitettu palkkatestinin (economic search) yhteydessä. Lisäksi looasetelma, jossa tarjoukset vaihtelevat henkilön oman palkkatarvoitteen ympärillä, on ensimmäinen.

## Tulevat neurotalous-tieteen projektit

**Henkilökohtaisen tavoitteen vaikutus intertemporaaliseen valintaan**  
(opiskelija Leppihalme, Numminen, Heinonen, Suomala, Ming ja Bechara)  
**Ruokavalinnan neurofysiologiset ja behavioraaliset tekijät**  
(Leppihalme, Suomala, Heinonen, Numminen, Weber, Plassman ja Bechara)

#### Liite 4 Tiivistelmä liittyen päätuloksiin

### Activation in the Human OMPFC Network Distinguish Maximizers from Satisficers during Decision-Making

Jyrki Suomala<sup>1</sup>, PhD., Jarmo Heinonen<sup>1</sup>, PhD., Lauri Palokangas<sup>1</sup>, BSc., Jussi Numminen<sup>2</sup>, MD, PhD.

<sup>1</sup> Laurea University of Applied Sciences, SID Campus Leppävaara, Finland

<sup>2</sup> Helsinki Medical Imaging Center, Töölö Hospital, University of Helsinki, Finland

The objective of this study was to describe the role of deep-seated goals in decision-making. We constructed an experiment in which the subjects' wage expectations were used as stimuli. Eighteen healthy, right-handed university students (11 women) - 9 maximizers and 9 satisficers - were recruited to participate to the fMRI study.

The subjects were scanned while engaging in a task to accept or reject the wage offers. These two groups differed markedly in how goal decision value signals were engaged in the orbital and medial prefrontal cortex (OMPFC) network during the experiment. When using weighted Prospect Theory value function in accordance to conventional parameterization the goal valuation signals in the OMPFC network correlated positively with increased salary offers in the maximizers group. Such signal was absent among the satisficers.

In addition, we found that while the goal valuation signal in the right superior temporal gyrus, supramarginal gyrus and insula correlated positively with decreased salary offers in the maximizers group, the goal value signal in the dorsal posterior cingulate and superior cerebellum correlated positively with decreased salary offers in the satisficers group. Previous studies have suggested that the behaviour of maximizers and satisficers differs in real life contexts. This study showed that the difference occurs also in the neurophysiological level.

A possible explanation for this might be that the brain has capability to incorporate cultural considerations into its standard valuation circuitry. When most of previous decision studies have focused on the valuation of primary appetitive rewards, we have studied valuation of non-primary reward relating to deep-seated goal. The reason for the differences between the results of this study and previous decision studies could be that there are dissociation between motivational decisions and hedonic decisions. The hedonic aspects of reward appear to be mediated by opioid systems in the ventral striatum and palladium and by midbrain dopamine systems in the midbrain. Our results provide suggestion that it is dissociation between primary appetitive relating goal decisions and non-primary - more cultural - deep-seated goal decision.

## Liite 5 Dokumentti

## Tärkeimmät kansiot:

Koehenkilöiden kansiot, joiden alla magneettikuvadata: /opt/fMRI\_data  
Presentation logitiedostot koehenkilökansioiden alla: /opt/Tallennetut

## 1. MRICRO-vaihe

- Alkuperäisten Dicom-kuvien muuttaminen 4D-kuviksi
- 4D-kuvien muuttaminen 3D-kuviksi
- Kansiorakenteen luominen ja tiedostojen siirtäminen oikeisiin kansioihin
- Käsitellään sessioita EPI1, EPI2, CEPI sekä anatomista rakennekuva T1. Katso muistiinpanoista, mikä on mikäkin kansio.
- Voi myös päätellä tiedostojen määrästä:

EPI1&2 16740, volumes 620

C-EPI: 16200, volumes: 600

T1: 176, volumes: 1

DICOM --> 4D

Import> Convert foreign to Analyze

Valitse kansioista (epi1, epi2 tai Capi) ensimmäinen tiedosto (MR\*1).

Tallenna (export dicom heard/image as) nimellä SnnnnMRyyyy, jossa nnnn on koehenkilön numero ja yyyy on joko EPI1, EPI2, CEPI tai T1.

Huom! Varmista, ettei flip left/right (tai muu valinta) ole aktivoituna, paitsi autodetect mo-saics saa olla päällä.

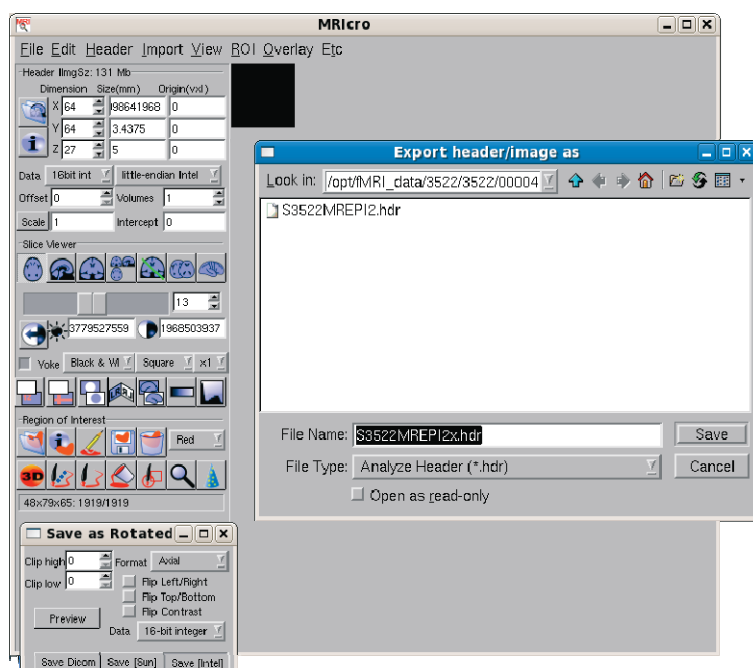
4D --> 3D

File> Open Analyze format hdr+img

File> Save as [rotate/clip/format/4D->3D]

Save as rotated-ikkunasta Save [Intel]

Tarjoaa tiedostonimeksi samaa+x alussa tai lopussa. Tallenna sillä nimellä.



Uudelleennimeä kansiot --> Cepi, epi1, epi2 ja T1anat  
Luo T1anat alle kansiot 4D sekä original\_data  
Luo epi-kansioiden (1, 2, C) alle kansiot 4D, dummy\_scans sekä original\_data

Kansioon original\_data siirretään alkuperäiset Dicom-kuvat eli MR\*.\*  
Kansioon dummy\_scans siirretään kaksi ensimmäistä leikettä, eli \*001.hdr, \*002.hdr, \*001.img  
sekä \*002.img

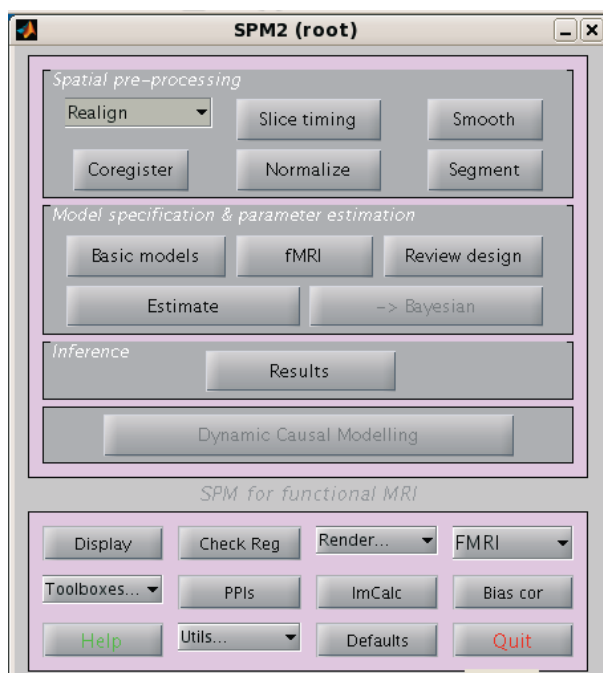
Kansioita ja tiedostoja voidaan käsitellä joko graafisen käyttöliittymän tai komentorivitilan (terminal) kautta. Ainakin Fedoran kautta käytettynä monitiedostoisten kansioiden avaaminen on hyvin hidasta.

## 2. MATLAB/SPM-vaihe A

(realignointi&liikekorjaus, ko-rekisteröinti, normalisaatio, smoothaus)

matlab  
spm

REALIGN  
(Realign-alasvetovalikosta pelkkä Realign)



Aukeaa ikkuna SPM2 (root): Realign

Num subjects: 1  
Num sessions, subj 1: 1

Images, subj 1, sess1:  
mene kansioon /opt/fMRI\_data/<koehenkilo>/<epi1>

Valitse kuvat siitä kansioista (yksi setti),  
(SnnnnMREPI1\*IMAGE)  
sitten sama epi2 & cepi:lle (jos cepi on tehty).

<1834 tiedostoa?>

Done

Which option?...

\* Coregister & Reslice

Create what?...

\* All Images + Mean Image

-----  
CO-REGISTER

Aukeaa ikkuna SPM2 (root): Coregister

Number of subjects: 1

Which option?...

\* Co-register only

Target image, subj 1

valitaan T1 (xSnnnnMRT1.img), nnnn=koehlon nro

Done

Source image, subj 1

Valitaan mean-kuva, yleensä CEPI tai EPI1 kansiossa.

(useimmiten meanSnnnnMREPI1x003.img, jos dummy scanit on poistettu asianmukaisesti)

Done

Other images, subj 1

<ei valita mitään>

Done

-----  
NORMALISE

Aukeaa ikkuna SPM2 (root): Normalise

Which option?...

\* Determine Parameters & Write Normalised

Template image(s):

Valitaan T1.mnc

Done

Source image, subj 1:

T1-kuva /opt/fMRI\_data kautta (xSnnnnMRT1.img)

Done

Images to write, subj 1:

Valitaan T1, EPI1, EPI2, CEPI kuvat sekä mean.

Eli



```
xSnnnnMRT1.img  
rSnnnnMREPI1x*IMAGE  
meanSnnnnMREPI1x003.img (tässä tapauksessa)  
rSnnnnMREPI2x*IMAGE  
rSnnnnMRCEPIx*IMAGE
```

<1836 tiedostoa, ellei CEPI puutu>

Done

Source image, subj 2:  
Ei valita mitään

Done

SMOOTH

Valitaan taas wr-alkuiset kansioista CEPI, EPI1 ja EPI2. Tiedostojen eteen tulee s. Tärkeä parametri on Gaussian kernelin koko (meillä 5 mm).

---

### 3. Ajanhetkien lataaminen (MATLAB) ja perusmallin luominen (SPM.mat ...)

käynnistetään spm valmiiksi oikeaan tilaan:

```
matlab  
spm --> fMRI time series
```

Ensin ladataan matlabiin ajanhetkiä ref\_points-hakemistosta.

```
load onsetfile_epi1_30rp.mat  
load onsetfile_epi1_20rp.mat  
load onsetfile_epi1_10rp.mat  
load onsetfile_epi1_rp10.mat  
load onsetfile_epi1_rp20.mat  
load onsetfile_epi1_rp30.mat
```

epi1 alle jokaiselle mallille oma kansio, asetetaan se työhakemistoksi.  
(kutsutaan mallia, jossa äsken luetellut, nimellä malli\_perus)

```
fMRI --> design  
interscan interval (secs): 1.8  
scans per session: 618  
specify design in: secs  
(Select basis set:) hrf  
model interactions (Volterra) --> no
```

Session 1: trial specification in secs

```
number of conditions/trials: 7  
name for condition/trial n? 30rp  
vector of onsets - 30rp: onsets_epi1_30rp  
duration[s] (events = 0) 0  
parametric modulation: none
```

(sama onsets\_epi1\_20rp:lle ja muille, järjestys sama kuin load-sekvenssissä)

Other regressors: 0

(Explore design)

Kun malli on tehty,  
fMRI: valitaan Data (ei Design)

valitse SPM.MAT-tiedosto (malli) (Done)  
valitse scans for session esim. swr3521MREPI1x\*.img (kuvat, 618 kpl)

remove Global effects: scale

High-pass filter? specify  
cutoff period (secs) 128  
Correct for serial correlations: AR(1)

Saadaan näkyviin Statistical analysis: Design, lineaarinen regressiomalli datasta.

Valitaan: Estimate  
Valitaan taas SPM.MAT (Done)  
ja sitten odotellaan.

#### 4. Yksilötason t-kontrastit (30rp, 20rp, 10rp, rp, rp10, rp20, rp30 sekä muita)

Results, taas valitaan sama SPM.MAT (Done)  
Select contrasts: show t-contrasts

```
define new contrast
t-contrast
name: 30rp
contrast, contrast weights vector: 1 0 0 0 0 0
submit
OK
Done
mask with other contrast(s) : no
title for comparison: 30 rp
p value adjustment to control: none
threshold (T or p value) 0.001
& extent threshold (voxels): 3
```

(voidaan katsella mm. näin: overlays --> sections  
select image for rendering on: T1: wx...)

```
sama definointi uudestaan järjestyksessä,
20rp, contrast:      0 1 0 0 0 0
10rp, contrast:     0 0 1 0 0 0
rp, contrast:       0 0 0 1 0 0
```

jne. aina rp30 asti,

lisäksi seuraavat yksilökontrastit samalla logiikalla:

```
017: 10rp-rp      0 0 1 -1 0 0
018: rp10-rp     0 0 0 -1 1 0
019: rp-rp10     0 0 0 1 -1 0
020: rp10-10rp   0 0 -1 0 1 0
021: 10rp-rp10   0 0 1 0 -1 0
```