

Hidasaaltouen vahvistaminen unenaikaisilla äänillä ja sen vaikutus muistisuoritukseen

Liikka Yli-Kyyny

Pro gradu –tutkielma

Psykologia

Käyttäytymistieteiden laitos

Joulukuu 2016

Ohjaajat: Minna Huotilainen ja Petri Paavilainen

Tutkimusprojekti: Sound Deep Sleep

Esipuhe	5
1. Johdanto.....	6
1.1. Uni	7
1.2. Muisti.....	10
1.2.1. Muistiin tallentuminen	12
1.3. Uni ja muisti	15
1.4. Hidasaaltojen vahvistaminen eri menetelmin.....	18
1.5. Tutkimuskysymykset ja hypoteesit	20
2. Menetelmät	21
2.1. Koehenkilöt	21
2.2. Koeasetelma	22
2.3. Ääniärsykkeet	22
2.4. Kokeen kulku.....	22
2.5. Unen rekisteröinti ja äänten esittäminen.....	23
2.6. Aineiston keruu	25
2.6.1. Muistitehtävät	25
2.6.2. Mieliäla-, kuormitus- ja unenlaatukyselyt	26
2.7. Aineiston analysointi	27
3. Tulokset	29
3.1. Muistisuoriutuminen.....	29
3.2. Unen jälkeinen mieliäla	32
3.3. Vaikutus unenlaatuun ja äänen voimakkuuden säätelyn onnistuminen.....	34
4. Pohdinta.....	35
Lähteet	41
Liitteet	53

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Käyttäytymistieteellinen tiedekunta	Laitos – Institution – Department Käyttäytymistieteiden laitos
Tekijä – Författare – Author Iikka Yli-Kyyny	
Työn nimi – Arbetets titel – Title Syvän unen ja muistijälkien vahvistaminen unenaikaisilla äänillä	
Oppiaine – Läroämne – Subject Psykologia	
Työn ohjaaja(t) – Arbetets handledare – Supervisor Minna Huotilainen (TTL), Petri Paavilainen (HY)	Vuosi – År – Year 2016
<p>Tiivistelmä – Abstrakt – Abstract</p> <p><i>Tavoitteet:</i> Unen merkitys normaalin muistin toiminnan ja muistiin tallennuksen kannalta on alkanut valjeta tieteellisen tutkimuksen kautta viime vuosina. EEG:ssä syvän unen aikana havaittavien hidasaaltojen on todettu uudelleenaktivoivan tuoreita muistijälkiä prosessoiden niiden sisältöjä edelleen ja vahvistaen niiden tallennusta kestonmuistiin. Aiemmissä tutkimuksissa lyhyiden ääniärsykkeiden on todettu voimistavan aivojen luontaista hidasaaltorytmiä ja parantavan deklaraatiivisen aineksen tallennusta kestonmuistiin, mutta myös haittaavan unen jälkeistä mielialaa. Tämä tutkimus liittyy Sound Deep Sleep tutkimusprojektiin, jossa kehitetään kotikäyttöistä lääkkeetöntä keinoa hidasaaltorytmin voimistamiseen lyhyiden, hidasaaltoon vaihelukittujen ääniärsykkeiden avulla. Tutkielmassa selvitettiin äänen esittämisaajan ja ääniärsyksen miellyttävyyden vaikutusta muistisuoriutumiseen ja mielialaan.</p> <p><i>Menetelmät:</i> 21 tervettä vapaaehtoista aikuista koehenkilöä osallistui tutkimukseen. He nukkuivat Työterveyslaitoksen unilaboratoriossa neljä yötä, joiden aikana heidän aivosähkökäyrää, muistisuoriutumista ja mielialaa mitattiin. Muistisuoriutumista mitattiin assosioituvien sanaparien tehtävällä, nimimuistitehtävällä ja sorminaputtelutehtävällä kerran illalla ja toisen kerran aamulla. Mielialaa mitattiin POMS kyselyllä ja kuormitusta NASA-TLX kyselyllä. Neljän yön aikana koehenkilöille esitettiin satunnaisessa järjestyksessä joko koko yön tai yön ensimmäisen neljän tunnin ajan lyhyitä kohinapurskeääniä, koko yön perkussiosoitinääniä tai ei mitään ääniä. Äänet esitettiin etukäteen valmistetun ohjelman tunnistaman hidasaallon aikana ja siten, että äänenvoimakkuuden säätely tapahtui automaattisesti koehenkilön unen syvyyden mukaan.</p> <p><i>Tulokset ja johtopäätökset:</i> Koetilanteella ei havaittu olevan vaikutusta koehenkilöiden muistisuoriutumiseen, mielialaan, kuormittuneisuuteen tai unen rakenteeseen. Muistisuoritusten osalta tulokset ovat ristiriidassa aiemman tutkimusaineiston kanssa ja mahdollisia selityksiä tähän käsitellään tarkemmin. Aiempiin tutkimuksiin nähden suurempi otoskoko, mutta identtinen koasetelma viittaavat äänen esittämisen vaikutuksen olevan luultua pienempi tai koskevan vain tiettyä ryhmää ihmisistä. Ehdotuksia menetelmän jatkokehitykseen käydään läpi tämän tutkimuksen tulosten pohjalta.</p>	
Avainsanat – Nyckelord – Keywords EEG, syvä uni, hidasaalto, muistijäljen vahvistuminen	
Säilytyspaikka – Förvaringsställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi	

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Behavioral Sciences	Laitos – Institution – Department Department of behavioral science
Tekijä – Författare – Author Iikka Yli-Kyyny	
Työn nimi – Arbetets titel – Title Memory and mood effects of auditory deep sleep stimulation	
Oppiaine – Läroämne – Subject Psychology	
Työn ohjaaja(t) – Arbetets handledare – Supervisor Minna Huotilainen (TTL), Petri Paavilainen (HY)	Vuosi – År – Year 2016
<p>Tiivistelmä – Abstrakt – Abstract</p> <p><i>Objectives:</i> In recent years, scientific inquiry has been able to dig into the effects of sleep on memory. More specifically, slow oscillations (SO) detected with EEG during deep sleep, have been found to reactivate memory representations which further enhances their processing and consolidation into long-term memory. In previous studies, auditory stimulation during deep sleep has been found to strengthen the brain's natural SO cycles and enhance consolidation of declarative memory but it has also been found to have unwanted side-effects on mood. This study is part of a research project, Sound Deep Sleep, where the objective is to develop a non-pharmacological method for home use to enhance the positive effects of deep sleep using auditory stimulation. In this study the effects of different auditory stimuli and their duration on memory consolidation and mood was investigated.</p> <p><i>Methods:</i> 21 healthy adult volunteers took part in the study. The subjects slept in a sleep research lab in the Institute of Occupational Health for four nights with electrodes attached to the scalp and their memory performance and mood was tested once every evening and once every morning. Memory performance was tested with paired associative words, face-name test and with sequential finger tapping. Subject's mood was tested with POMS questionnaire and task load with NASA-TLX. During the four nights, subjects were presented with brief auditory noise or percussion sounds for the whole night or for the first four hours or with no auditory stimulation in a randomized order. The auditory stimulation was time locked to SO cycles according to online detection by a previously developed algorithm. The volume of the sound was adjusted according to online detection of sleep depth by the same algorithm.</p> <p><i>Results and conclusions:</i> Auditory stimulation did not affect memory consolidation, mood, task load or subject's sleep architecture. The results on memory consolidation are contradictory to previously published data and possible explanations for the contradiction are discussed. The fact that this study had larger sample size and almost identical design than previous studies casts doubt that the effects size of auditory stimulation on memory consolidation might be smaller than previously expected or that it concerns only a sub-population of people. Based on the results of this study, suggestions for future research designs are introduced.</p>	
Avainsanat – Nyckelord – Keywords EEG, deep sleep, slow oscillation, memory consolidation	
Säilytyspaikka – Förvaringsställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) thesis.helsinki.fi	

Esipuhe

Tämä tutkimus on osa Sound Deep Sleep -projektia, joka toteutetaan Työterveyslaitoksen ja Northwestern Memorial Hospitalin (Chicago) yhteistyönä. Projekti on TEKESin ja Työterveyslaitoksen rahoittama lääketieteellinen tutkimus, jonka tavoitteena on kehittää lääkkeetön, kotona käytettäväksi soveltuva syvän unen voimistamiseen keskittyvä menetelmä. Ikääntyminen sekä monet somaattiset ja psyykkiset ongelmat johtavat muuntuneeseen unen rakenteeseen, mikä voi heikentää yksilön toimintakykyä työelämässä ja arjessa. Tässä osatutkimuksessa selvitetään voiko syvän unen muistille edullisia piirteitä voimistaa terveillä koehenkilöillä. Tutkimusprojektin myöhemmässä vaiheessa on tarkoitus tutkia menetelmän soveltuvuutta potilailla.

Tutkimuksen aineisto on kerätty Työterveyslaitoksen Vireystila- ja unilaboratoriossa. Osallistuin projektiin tämän osatutkimuksen yhteydessä. Rekrytoin itse koehenkilöt, mittasin puolet tutkimusöistä ja suunnittelin ja toteutin aineiston jälkikäsitteilyn. Unihoitaja Nina Lapveteläinen mittasi puolet tutkimusöistä ja toteutti univaiheiden luokituksen.

1. Johdanto

Mahdollisuus terveiden ihmisten kognitiivisten kykyjen tehostamiseen ja siihen liittyvät menetelmät ovat herättäneet kiinnostusta viime vuosina (Dresler ym., 2013). Lääkkeellisiin keinoihin sisältyy usein haitallisia sivuoireita, joten vaihtoehtoisia keinoja on mietitty. Pään pinnalta mitattava aivosähkökäyrä heijastelee muun muassa ihmisen tarkkaavuutta ja valmiutta omaksua uutta tietoa (Ngo ym., 2013b) ja siksi onkin aiheellista kysyä, missä määrin siihen voi vaikuttaa ulkoisesti. Esimerkiksi syvää unta ja sille ominaista hidasaaltorytmiä voimistamalla voitaisiin mahdollisesti edistää unen positiivisia vaikutuksia muun muassa muistissa säilymisen kannalta (Oudiette ym., 2013; Diekelmann, 2014). Alustavia tuloksia menettelyn vaikutuksista on julkaistu tieteellisissä julkaisuissa. Tononi, Riedner, Hulse, Ferrarelli ja Sarasso (2010) tutkivat erilaisia tapoja hidasaaltojen synnyttämiseen ja havaitsivat, että lyhyillä hidasaaltojen taajuudella esitetyillä ääniärsykkeillä on mahdollista voimistaa hidasaaltorytmiä kevyessä ja syvässä unessa. Hidasaaltojen voimistamiseen tähtäävät menetelmät ovat kiinnostavia, sillä hidasaallot vaikuttavat unenaikaiseen tiedonkäsittelyyn ja ne heikentyvät esimerkiksi ikääntyessä.

Unen yksi keskeinen tarkoitus on ilmeisesti palvella muistia. Sen aikana aivoissa tapahtuu plastisia eli aivojen muovautuvuuteen perustuvia muutoksia, joiden avulla tieto siirtyykestomuistiin ja vapautuu tilaa uuden tiedon vastaanottamiselle (Abel, Havekes, Saletin & Walker, 2013). Esittelen myöhemmin eri teorioita siitä, miten hidasaallot ohjaavat tätä prosessia.

Tämän tutkielman koeasetelmassa pyrittiin voimistamaan unenaikaista hidasaaltorytmiä tarkoituksena vahvistaa tiedon säilymistä muistissa. Hidasaaltojen voimistaminen tapahtui niihin vaihelukittujen lyhyiden ääniärsykkeiden avulla. Menetelmän vaikutuksia tarkasteltiin erilaisten muistitehtävien ja mielialakyselyjen avulla. Koeasetelman logiikka avautunee lukijalle helpommin unen ja muistin yhteyksien seikkaperäisemmän esittelyn jälkeen. Selvitän ensin perusasioita unesta ja sen aikaisista neurofysiologisista ilmiöistä. Tämän jälkeen esittelen yleisesti muistin toimintaa ja unen vaikutuksia muistijälkien vahvistumiseen. Johdannon lopuksi käyn läpi tutkimustietoa unen tehostamisesta erilaisin välineellisin menetelmin.

1.1. Uni

Uni- ja valvetilan vaihtelu on yhteistä kaikille maapallon selkärangkaisille eläimille. Unen aikana eläin on liikkumatta ja reagointi ympäristön tapahtumiin vähenee. Uni on homeostaattisesti säädeltyä eli sen tarve lisääntyy eläimen valvoessa ja sen tarve poistuu eläimen nukuttua. Riittävä uni on ihmisen kannalta tärkeä, koska sen häiriintä johtaa pitkällä aikavälillä vakaviin kognitiivisiin ja emotionaalisiin ongelmiin (Durmer & Dinges, 2005; Gais, Lucas, & Born, 2006; Yoo, Hu, Gujar, Jolesz & Walker, 2007). Usean viikon unenpuutteesta seuraa kehon lämpötilan ja painon säätelyhäiriöitä ja lopulta tulehduksista ja kudosisvaurioista aiheutuva kuolema (Basch & Born, 2013). Unen on arveltu palvelevan energiansäästöä, energian palautumista, kudosten korjausta, lämpötilan säätelyä, aineenvaihdunnan säätelyä ja immuunijärjestelmän toimintaa (Rasch & Born, 2013). Alentunut tietoisuuden tila viittaa kuitenkin siihen, että uni on pääasiassa aivoja varten. Unen ajatellaankin olevan hinta aivojen muovautuvuudesta ja kyvystä oppia (Tononi & Cirelli, 2006).

Unen syvyys määritellään pään pinnalta mitattavan aivojen sähköisen toiminnan eli elektroenkefalogrammin (EEG) ja lihasten jännityksen eli elektromyogrammin (EMG) perusteella (Stickgold, Hobson, Fosse & Fosse, 2001; Walker & Stickgold, 2004; Walker, 2009). Unen syventyessä tajunnan taso alenee ja lihasten jännitys laskee. Uni etenee kevyemmistä vaiheista syvempiin ja taas kevyempään uneen. Yksi tällainen kierto kestää keskimäärin 90 minuuttia. EEG:n taajuus muuttuu unen syventyessä univaiheesta toiseen nopeammasta alfarytmistä (8-13 Hz) kohti hidasta deltarytmiä (0,5-4 Hz) ja lihasjännitys laskee.

Uni jaotellaan eri vaiheisiin EEG-signaalissa tapahtuvien ilmiöiden perusteella, joita ovat hidasaallot, unisukkulat (engl. sleep spindles), K-kompleksit ja hippokampuksen ”terävät aallot” (engl. hippocampal sharp wave-ripple complex) (kuva 1). Hidasaallot näkyvät EEG-signaalissa suuriamplitudisina (>50 μV) 0,5-4 Hz taajuuskaistan värähtelyinä ja ne ovat syvän unen tunnusmerkki (Antonenko ym., 2013). Hidasaallojen aikana solut aktivoituvat ja hiljentyvät vaiheittain ja yhtäaikaaisesti eri puolilla aivoja. Näitä vaiheita kutsutaan depolarisoiviksi nousuvaiheiksi (engl. up-state) ja hyperpolarisoiviksi laskuvaiheiksi (down-state) (Diekelmann & Born, 2010; Chauvette, Seigneur & Timofeev, 2012; Rasch & Born, 2013; Cox, van Driel, de Boer & Talamini, 2014b). Nousu- ja laskuvaiheiden vuorottelu edesauttaa eri puolilla aivoja olevien neuronien välistä yhteistyötä tahdistamalla niitä yhteiseen aktivaatiorytmiin (Cox ym. 2014b). Hidasaalloja syntyy useimmiten aivosaaressa (insula) ja pihtipoimun (cingulate gyrus) alueella (Murphy ym., 2009). Hidasaalloja yhdistää talamokortikaalinen hermoverkko, joka ohjaa niiden

syntyä eri puolilta aivoja ja niiden etenemistä aivokuorella (Crunelli, David, Lörincz & Hughes, 2015).

K-kompleksit muistuttavat muodoltaan hidasaaltoja. Niitä esiintyy spontaanisti kevyessä unessa vaiheessa N2 yksittäisinä tapahtumina (Bellesi, Riedner, Garcia-Molina, Cirelli & Tononi, 2014; Halász, 2016). K-komplekseja on myös mahdollista tuottaa unenaikaisesti esitetyillä äänillä, mistä tuleekin niiden nimi – K niinkuin koputus (engl. ”knock”; Caporro ym., 2012; Halász, Bódizs, Parrino & Terzano, 2014). Tällöin K-kompleksi koostuu voimakkaasta frontosentraalisilta elektrodeilta havaittavasta hyperpolarisaatiosta 500 ms äänen jälkeen, jota seuraa pidempi 900 ms äänen jälkeen voimakkaimmillaan oleva depolarisaatio (Halász ym., 2014, Halász, 2016).

Unisukkuloilla viitataan EEG-signaalin 10-15 Hz taajuuskaistalla tapahtuvaan värähtelyyn, josta erotellaan edelleen alle 12 Hz taajuudella etummaisilta aivoalueilta havaittavat hitaat unisukkulat ja yli 12 Hz taajuudella päälaen elektrodeilta havaittavat nopeat unisukkulat (Mölle, Bergmann, Marshall & Born, 2011; Lüthi, 2014). Ne ilmenevät tyypillisimmin yksittäisinä nousevina ja laskevina 0,5 – 3 sekunnin kestoisina sarjoina (Caporro ym., 2012; Lüthi, 2014) univaiheen N2 yhteydessä, mutta myös delta-aaltojen (Mölle, Marshall, Gais & Born, 2002; Gais & Born, 2004a; Mölle, Eschenko, Gais, Sara & Born, 2009; Mölle ym., 2011) ja K-kompleksien yhteydessä (Caporro ym., 2012; Lüthi, 2014). Unisukkulat syntyvät talamuksen retikulaarisessa tumakkeessa, josta ne kulkevat kohti aivokuorta talamokortikaalisia ratoja pitkin (Rasch & Born, 2013; Lüthi, 2014). Unisukkuloiden on ajateltu olevan seurausta unta ylläpitävästä mekanismista, joka sulkee ulkoisten ärsykkeiden huomiota herättävän vaikutuksen (Caporro ym., 2012; Lüthi, 2014).

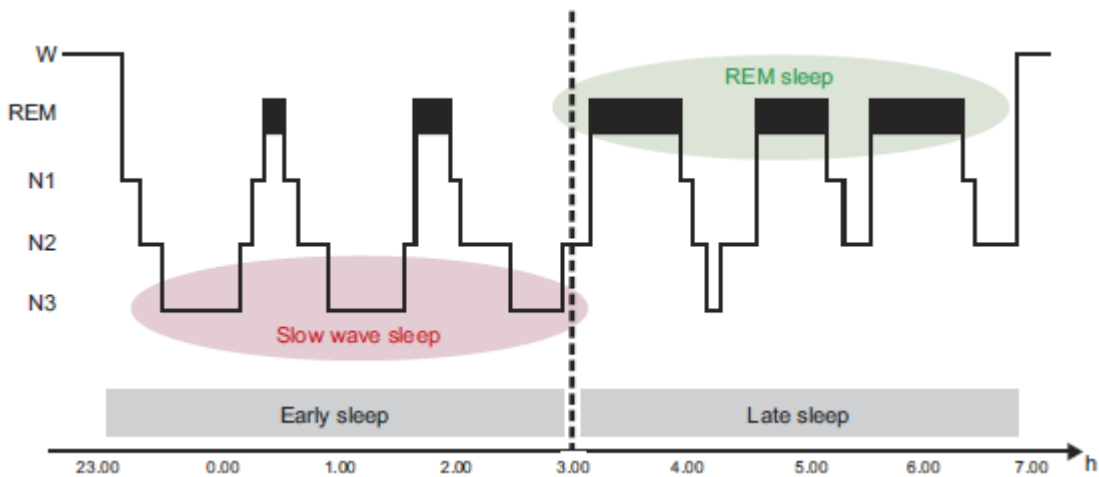
Hippokampuksen terävät aallot koostuvat päällekkäisestä hippokampuksen CA3-solujen nopeasta depolarisoivasta potentiaalista ja CA1-solujen tuottamasta nopeasta jännitevaihtelusta 100-300 Hz taajuudella (Eschenko, Ramadan, Mölle, Born & Sara, 2008; Carr, Jadhav & Frank, 2011; Girardeau & Zugaro, 2011). Niitä havaitaan pääosin syvän unen aikana hidasaaltojen yhteydessä (Battaglia, Sutherland & McNaughton, 2004; Axmacher, Elger & Fell, 2008; Eschenko ym., 2008), mutta myös valveilla (Girardeau & Zugaro, 2011).



Kuva 1. Kevyen ja syvän unen ja muistissa säilymisen kannalta olennaiset EEG-ilmiöt. Vasemmalta oikealle: Hidasaalto, unisukkula, terävä aalto. Hidasaallon kesto on 250 ms – 2 s, unisukkulan 500ms – 3 s ja terävän aallon 40-100ms. Kuva muokattu Raschin ja Bornin (2013) artikkelista.

Keskeisiä univaiheita ovat kevyt uni, syvä uni ja REM-uni (engl. Rapid Eye Movement). Unen alkaessa henkilö on levollisessa valveillaolon tilassa ja reagoi vielä ympäristön tapahtumiin. Tätä univaihetta kutsutaan univaiheeksi N1 ja se kattaa 5-10 % koko unesta (Robins ym., 2008). N1-univaiheessa alfarytmi hidastuu. Noin 50 % unesta on vaiheen N2 unta, jonka tunnusmerkkejä ovat yksittäiset nopeasti voimistuvat ja heikentyvät unisukkulat ja K-kompleksit (Morin ym., 2008; Caporro ym., 2012; Robins ym., 2008). Unen edetessä syvään N3 vaiheen uneen EEG:llä havaitaan hidasaaltorytmiä (Antonenko, Diekelmann, Olsen, Born & Mölle, 2013). Tätä univaihetta kutsutaan syväksi uneksi tai hidasaaltouneksi. Syvän unen aikana kaikki aivoalueet ovat vähemmän aktiivisia kuin valveilla (Stickgold ym., 2001). Hidasaaltouni, kuten uni ylipäänsä, on homeostaattisesti säädeltyä eli sen tarve lisääntyy valveilla ja vähenee unen edetessä (Tononi & Cirelli, 2006). Hidasaalounen suhteellinen osuus on suurin unijakson alkuvaiheessa, jonka jälkeen se vähenee tehden tilaa REM-unelle, jonka suhteellinen osuus on suurin unijakson loppuvaiheessa (kuva 2). Noin 80 % unesta on joko kevyttä tai syvää unta ja loput REM-unta (Lüthi, 2014).

REM-uni muistuttaa aivoaktiivisuudeltaan valvetilaa, mistä johtuen sitä joskus kutsutaan paradoksaaliseksi uneksi. Sen tunnusmerkkejä ovat nopeat silmänliikkeet, lihasvelttaus (Walker & Stickgold, 2004) sekä EEG:llä havaittavat ponto-genikulo-okkipitaaliset (PGO-) aallot, jotka siis syntyvät aivosillassa (engl. pons) ja ilmenevät talamuksen näkötumakkeessa (engl. lateral geniculate nucleus) ja näköaivokuorella (Walker, 2009). Herätettäessä REM unesta ihmiset raportoivat nähneensä juuri unta. REM unen aikana erityisesti tietoisesta toiminnanohjauksesta vastaavan dorsolateraalisen etuotsalohkon aktiivisuus vähenee ja tunteita säätelevien limbisten alueiden aktiivisuus lisääntyy, mikä voi selittää sitä, miksi unisällöt eivät yllätä uneksijaa ja ovat voimakkaan emotionaalisia (Stickgold ym., 2001).



Kuva 2. Univaiheet esitettyinä ajan funktiona. Alkuyöstä univaihe N3 ja hidasaaltouni (syvä uni) on vallitsevaa kun taas loppuyöstä REM-unta esiintyy suhteessa enemmän. Kuva lainattu Raschin ja Bornin (2013) artikkelista.

1.2. Muisti

Muisti on kognitiivinen prosessi, jossa tietoa tallennetaan, ylläpidetään ja palautetaan mieleen. Sen avulla hetkelliset aistimukset linkitetään olemassa oleviin muistoihin. (Born & Wilhelm, 2012).

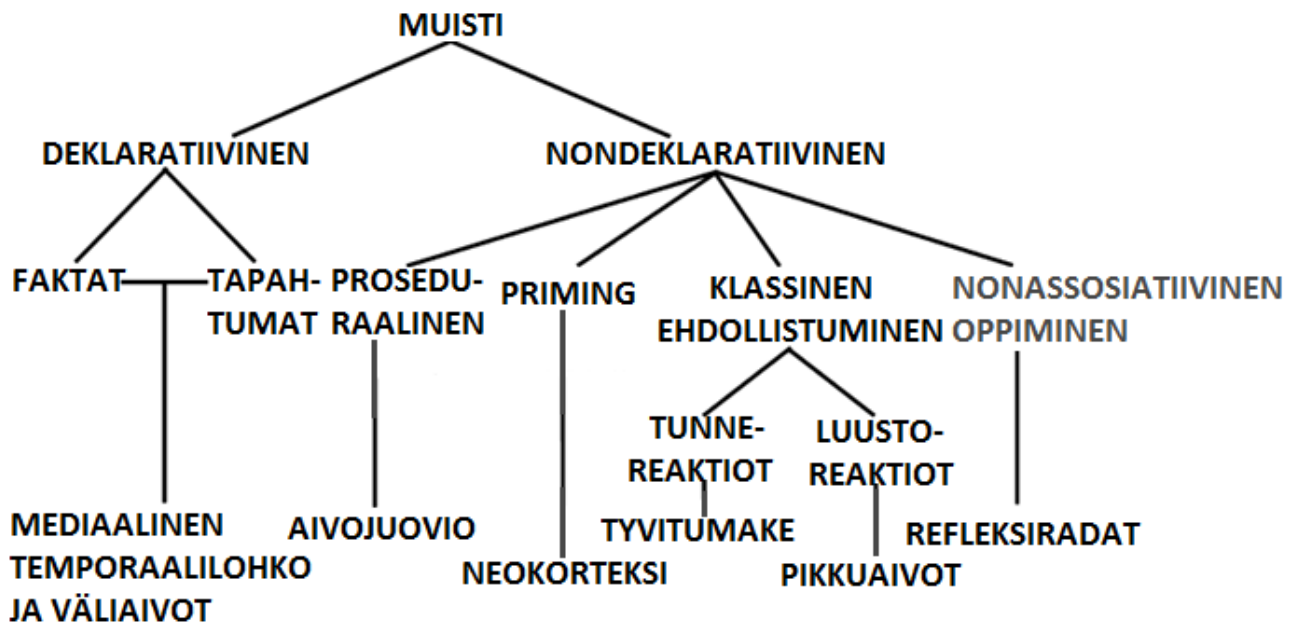
Ilman muistia tietoisuus hajoaisi loputtoman moneksi hetkeksi. Muisti on luonteeltaan konstruktivistista, mikä tarkoittaa, että palautettaessa tietoa muistista, sen sisältö ja tulkinta rakentuu uudelleen suhteessa sen hetkiseen kontekstiin ja muuhun muistitietoon (Landmann ym., 2014). Eläinkokeilla sekä aivovaurio- ja muistisairaita potilaita tutkimalla on havaittu, että jotkut muistin toiminnot voivat pysyä ennallaan toisten heikentyessä. Näiden havaintojen perusteella vallitsevaksi käsitykseksi on muodostunut, että muisti koostuu useasta eri osa-alueesta, joilla on eri tehtävät ja toimintaperiaatteet. Muistia on tieteellisessä kirjallisuudessa käsitteellistetty erilaisin dikotomioin: kielellinen ja motorinen muisti, lyhyt- ja pitkäkestoinen muisti, tiedostettu ja tiedostamaton muisti, asia- ja taitomuisti (Squire, Knowlton & Musen, 1993; Squire, 2004). Nykyisin dikotomiasta on laajalti luovuttu ja on alettu puhua deklaratiiivisesta muistista spesifinä muistin muotona ja nondeklaratiiivisesta muistista sateenvarjoterminä usealle muunlaiselle muistin muodolle (kuva 3).

Deklaratiivinen muisti viittaa kykyyn muistaa tai tunnistaa tapahtumia (episodinen muisti) ja maailmaa koskevia tosiasioita (semanttinen muisti). Sen sisältämää tietoa voidaan käsitellä kielellisesti ja sitä voidaan hyödyntää toiminnan tukena useissa eri tilanteissa. Nopeudestaan huolimatta deklaratiiivinen muisti ei ole aina luotettavaa, koska sen sisältämät asiat unohtuvat ja mieleenpalautuksessa tapahtuu usein virheitä (Squire ym., 1993; Schacter, 1999).

Nondeklaratiivinen muisti on puolestaan kokoelma erilaisia kykyjä, joihin kuuluvat taidot ja tavat, erilaiset klassiset ehdollistumat, emotionaaliset ehdollistumat ja alustus (priming).

Nondeklaratiivinen muisti on luotettavaa, mutta jäykkää, koska se on sovellettavissa vain alkuperäistä oppimistilannetta muistuttavassa tilanteessa.

Muisti liittyy useiden aivoalueiden toimintaan, mutta keskeisimmät alueet sijaitsevat ohimolohkon aivokuorella ja väliaivoissa (Squire ym., 1993; Squire, 2004). Muistin toiminnot eli muistiin tallentaminen, muistissa säilyttäminen ja muistista hakeminen liittyvät keskeisesti ohimolohkolla sijaitsevan hippokampuksen ja sitä ympäröivien pykäläpoimun (dentate gyrus), entorinaalisen-, peririnaalisen- ja parahippokampaalisen aivokuoren toimintaan (Squire ym., 1993; Buzsáki, 1996; McGaugh, 2000; Squire, Stark & Clark, 2004). Hippokampus osallistuu tiedon nopeaan vastaanottamiseen, sitä seuraavaan tallennukseen ja muistista hakuun (Carr ym., 2011). Se on laajasti vuorovaikutuksessa aivokuoren eri osien kanssa, toimii linkkinä niiden välillä sekä mahdollistaa eri alueiden välisten yhteyksien vahvistumisen ja muistiin talletettavan informaation järjestelyn (Buzsáki, 1996; Squire ym., 2004). Sen on havaittu olevan erityisen tärkeä paikkamuistille. Yksittäissolumittauksin on havaittu, että hippokampuksen solut reagoivat selektiivisesti kun ihminen on sijoittuneena tiettyyn paikkaan tilassa (Ekström ym., 2003; Moser, Kropff & Moser, 2008). Väliaivoissa mediaalisen talamuksen etummainen talaaminen tumake, mediodorsaalinen tumake sekä sisemmällä medullaarisella kalvolla (internal medullary lamina) sijaitsevat vievät ja tuovat hermosyyt osallistuvat muistin toimintaan (Squire ym., 1993). Kaiken muistin tutkimisen voi ajatella tarkoittavan mieleenpalautuksen tutkimusta, koska ilman sitä ei ole näyttöä muistamisesta (Sara, 2010). Noradrenaliinin ja sitä etuaivoihin erittävän sinitumakkeen (locus coeruleus) on osoitettu vahvistavan mieleenpalautusta ja olevan tärkeä osa muistin neurobiologiaa (Sara, 2010).



Kuva 3. Muistin osa-alueet ja niiden kannalta tärkeitä aivojen anatomiset rakenteet. Kuva muokattu Squiren (2004) julkaisusta.

1.2.1. Muistiin tallentuminen

Tieto tallentuu kestonmuistiin konsolidaatioksi eli muistijäljen vahvistumiseksi kutsutun mekanismin kautta. Müller ja Pilzecker (Lechner, Squire & Byrne, 1999) olivat ensimmäisiä, jotka havaitsivat, että vastaopitun materiaalin muistaminen on vaikeampaa kun oppimisen ja mieleen palauttamisen välillä on häiriötekijöitä. Muistin konsolidaatiohypoteesin mukaan muistijälki onkin aluksi epävakaa ja muokattavissa, kunnes saman muistijäljen toistuvan uudelleenaktivaation kautta se vahvistuu (McGaugh, 2000; Gais ym., 2011). Korman ym. (2007) havaitsivat unen suojelevan muistijälkeä häirinnältä. On myös osoitettu, että mieleen palautuksessa muistijälki päivitetään ja vahvistetaan uudelleen, jolloin se on väliaikaisesti taas muutoksille alttiissa tilassa (Sara, 2010). Tällöin puhutaan rekonsolidaatiosta. Muistijäljen vahvistuminen ilmenee sitä vaativassa suoriutumisessa kehittymisenä ja siten, ettei se unohdu tai muutu.

Muistijälkien vahvistuminen on hidasta ja valikoivaa. Vahvistumisprosessin hitaus mahdollistaa sisäsyntyisten prosessien vaikutuksen muistijäljen voimakkuudelle (McGaugh, 2000). Esimerkiksi emotionaalisesti voimakkaat kokemukset muistetaan yleensä paremmin kuin neutraalit (McGaugh, 2000; Landmann ym., 2014). Vahvistumisen valikoivuus on adaptiivista, koska muuten täysin merkityksetönkin informaatio vahvistuisi kestonmuistiin johtaen ylikuormitukseen (Born & Wilhelm, 2012). Unenaikaisen muistijäljen vahvistumisen onkin havaittu olevan voimakkainta niille muistoille, joilla arvioidaan olevan suurempi merkitys tulevaisuuden kannalta (Diekelmann,

Wilhelm & Born, 2009; Rauchs ym., 2011). Myös hippokampuksen aktivaatio lisääntyy jo tietoa tallennettaessa, jos tiedolla arvioidaan olevan tulevaisuuden kannalta merkitystä (Rauchs ym., 2011).

Muistiin tallentuminen ja uuden oppiminen perustuu aivojen muovautuvuuteen. Tallentumista ja muistijälkien vahvistumista tapahtuu erikseen *synaptisella ja järjestelmätasolla* (Diekelmann & Born, 2010). Synaptisella tasolla muistijäljen vahvistuminen tarkoittaa sitä vastaavien solujen välisten synapsiyhteyksien voimistumista. Pääosin hippokampuksen soluissa ilmenevän NMDA reseptorin aktivaation kautta tapahtuvan kestopotentialin (Long-term potentiation, LTP) ja kestoheikentymisen (Long-term depression, LTD) ajatellaan olevan synaptisen tason vahvistumisen mekanismeja (Bear & Malenka, 1994; McGaugh, 2000).

Järjestelmätasolla muistijäljen vahvistuminen tarkoittaa vaihdosta muistijälkeen toiminnallisesti liittyvissä soluissa. Tuoreiden muistijälkien käsittely on yhteydessä hippokampuksen solujen toimintaan, kunnes ajan ja muistijäljen toistuvan uudelleenaktivaation myötä aktivaatioon liittyy soluja myös aivokuorelta. Sen ajatellaan vastaavan kesto-muistiin tallennusta, jota tapahtuu merkittävästi juuri unen aikana (Sirota, Csicsvari, Buhl & Buzsáki, 2003; Gais & Born, 2004a; Ji & Wilson, 2007; Mehta, 2007; Abel ym., 2013; Landmann ym., 2014). Eläinkokeissa tehdyillä yksittäissolumittauksilla on osoitettu, että hippokampuksen ja aivokuoren solujen jännitevaihtelut ovat tiiviisti yhteydessä toisiinsa (Sirota ym., 2003), mikä saattaa ilmentää tiedonsiirron mekanismeja näiden alueiden välillä. Ihmisaivoja fMRI-menetelmällä kuvantaessa on havaittu, että ajan myötä mieleenpalautukseen liittyvä hippokampuksen aktivaatio vähenee ja ventromediaalisen etuotsalohkon aktivaatio lisääntyy (Gais ym., 2006; Takashima ym., 2006). Lopulta muistijälkeen liittyvä toiminta siirtyy kokonaan aivokuorelle ja pois hippokampuksesta (Bontempi, Laurent-Demir, Destrade & Jaffar, 1999; Squire ym., 2004; Born & Wilhelm, 2012; Landmann ym., 2014).

Muistijälkien vahvistumisen mekanismeista on olemassa kaksi hypoteesia: *Aktiivisen järjestelmän hypoteesi* ja *synaptisen homeostaasin hypoteesi*. Aktiivisen järjestelmän hypoteesin mukaan muistijäljen vahvistuminen järjestelmätasolla on seurausta muistijälkien uudelleenaktivoinnista (Gais & Born, 2004a), jota tapahtuu myös lepotilassa valveilla (Carr ym., 2011). Uni tarjoaa optimaalisimman tietoisuuden tilan muistijälkien uudelleenaktivaatiolle, koska sen aikana uuden tiedon vastaanottamista on rajoitettu (Cox, Korjoukov, de Boer & Talamini, 2014a). Valvetilassa muistijälkien uudelleenaktivaatio häiritsee tiedon vastaanottamista ja unitilassa tiedon vastaanottaminen häiritsee muistijälkien vahvistamista.

Aivosolujen unenaikaista uudelleenaktivaatiota tapahtuu niillä alueilla, jotka olivat aktiivisia valveilla (Ji & Wilson, 2007; Mehta, 2007; Peyrache, Khamassi, Benchenane, Wiener & Battaglia, 2009; Sara, 2010). Eläinkokeissa hippokampuksen paikkasolujen on havaittu aktivoituvan tietyssä järjestyksessä tehtävää, kuten labyrinttia ratkaistaessa, ja uudelleenaktivoituvan unenaikaisten hidasaaltojen aikana samoin kuin tehtävää tehdessä (Ji & Wilson, 2007; Sara, 2010; Abel ym., 2013). Asia on osoitettu myös tilastollisilla malleilla, joissa merkittävä osuus kahden alueen neuronien aktivaatiosta syvän unen aikana pystyttiin selittämään valveilla tapahtuneella aktivaatiolla (Kudrimoti, Barnes & McNaughton, 1999). Erilaisten unenaikaisesti esitettyjen vihjeiden vaikutukset aivoissa ja muistisuoriutumisen tarjoavat myös näyttöä aktiivisen järjestelmän hypoteesin puolesta (Diekelmann, Biggel, Rasch, & Born, 2012). Oppimistilanteesta muistuttavien äänivihjeiden esittäminen syvän unen aikana aktivoi parahippokampaalista aivokuorta, minkä yhteisaktivaatio mediaalisen etuotsalohkon kanssa ennustaa parempaa avaruudellista muistisuoriutumista myöhemmin (Van Dongen ym., 2012). Aiemmin opitun materiaalin tai siitä muistuttavien vihjeiden esittämisen edullinen vaikutus muistisuoriutumiseen on havaittu myös tuoksuilla ja melodioilla (Rasch, Büchel, Gais & Born, 2007; Antony, Gobel, O'Hare, Reber & Paller, 2012; Rihm, Diekelmann, Born & Rasch, 2014).

Synaptisen homeostaasin hypoteesin mukaan neuronien väliset synapsiyhteydet voimistuvat valveilla, mikä on yhteydessä hidasaaltouuden homeostaattiseen säätelyyn. Lisäksi hidasaaltorytmi on yhteydessä synapsiyhteyksien vaimentamiseen, mikä johtaa unen neuraalista toimintaa ja muistisuoriutumista edistäviin vaikutuksiin (Tononi & Cirelli, 2006). Hidasaaltoaktiivisuuden onkin havaittu lisääntyvän paikallisesti juuri niillä alueilla, jotka olivat aktiivisia ennen nukahtamista korreloiden myöhemmän muistisuoriutumisen kanssa (Huber ym., 2004). Hypoteesin mukaan unenaikaiset hidasaallot palvelevat muistia epäsuorasti vaimentamalla synapsiyhteyksien voimakkuuksia kaikkialla aivoissa poistaen heikoimmat yhteydet (muistijäljet) ja tehden tilaa uuden tiedon omaksumiselle. Mieleenpainaminen paraneekin nukkumisen ja hidasaaltojen seurauksena (Yoo ym., 2007; Antonenko, Diekelmann, Olsen, Born & Mölle, 2013). Unen edetessä hidasaallot heikkenevät ja neuronien yhdenaikainen toiminta vähenee, mikä synaptisen homeostaasin hypoteesin mukaan johtuu solujen välisten synapsiyhteyksien vaimentumisesta hidasaaltorytmin seurauksena (Tononi & Cirelli, 2006).

Molemmissa hypoteeseissa siis unen ja valvetilan vaihtelun ajatellaan olevan välttämätöntä muistiin tallennuksen kannalta. Aktiivisen järjestelmän hypoteesin mukaan muistijäljet vahvistuvat ja siirtyvät kestonmuistiin unen aikana solujen uudelleenaktivaation kautta. Synaptisen homeostaasin

hypoteesin mukaan vahvimmat muistijälkeä edustavat synapsiyhteydet selviytyvät niitä vaimentavista hidasaalloista johtaen kestonmuistiin siirtymiseen ja kykyyn vastaanottaa tietoa. Hypoteesit eivät ole toisiaan poissulkevia ja ne voivat molemmat olla tosia: Uni edistää muistamista, koska sen aikana tuoreita muistijälkiä uudelleenaktivoidaan, vahvistetaan ja uudelleenjärjestellen niitä olemassa olevaan muistivarastoon ja lisäksi unen aikana tehdään tilaa uuden tiedon vastaanottamiselle (Gais & Born, 2004a; Born & Wilhelm, 2012; Oudiette, Santostasi & Paller, 2013). Walker (2009) vertasi unenaikaista muistin prosessointia havainnollistavasti veistostaiteeseen; hereillä ”savea” kootaan yhteen, josta unen aikana aletaan muodostaa oikeata muotoa, ylimääräinen poistaen ja tärkeimmät säilyttäen.

1.3. Uni ja muisti

Nukkumisen tiedetään edistävän merkittävästi aiemmin valvetilassa opittujen tietojen ja taitojen muistamista (Stickgold, 2005; Gais ym., 2006; Marshall & Born, 2007; Walker, 2009; Payne ym., 2012; Dresler ym., 2013) jo hyvin lyhyillä päiväunilla (Backhaus & Junghanns, 2006; Korman, 2007; Lahl, Wispel, Willigens & Pietrowsky, 2007). Koehenkilöt muistavat enemmän sanapareja nukkumisen jälkeen kuin yhtä pitkän valveillaolon jälkeen (Tucker ym., 2006; Lahl ym., 2007). Välittömästi oppimisen jälkeen uni parantaa muistisuoriutumista vielä vuorokauden kuluttua (Payne ym., 2012). Unen vaikutukset muistiin on tehokkainta niille muistoille, jotka tulee myöhemmin muistaa (Drosopoulos, Wagner & Born, 2005). Unen edulliset vaikutukset muistille ja kognitiolle laajemmin ilmenevät valvetilan pidentyessä. Unideprivaation tiedetään heikentävän suoriutumista päättelyä, muistia, oppimista, reaktionopeutta, kielellisiä taitoja ja tarkkaavaisuutta vaativissa tehtävissä (Gais ym., 2006; Yoo ym., 2007; Landsness ym., 2009; Diekelmann, 2014).

Uni ei kuitenkaan vain passiivisesti suoja muistia häirinnältä, vaan sen aikana tapahtuu aktiivista muistijäljen vahvistamista ja prosessointia (Landmann ym., 2014). Koehenkilöt ovat esimerkiksi unen jälkeen parempia huomaamaan aiemmin oppimansa monimutkaisen tehtävän säännönmukaisuuksia (Spencer, Sun & Ivry, 2006; Landmann ym., 2014) ja muodostavat luovempia assosiaatiota asioiden välille (Walker, 2009).

Tutkimus on pyrkinyt selvittämään niitä mekanismeja, joiden kautta uni palvelee muistia. Univaiheiden on joskus ajateltu olevan muistiin tallennuksen mekanismi. Niiden roolia on tutkittu kokeissa, joissa eri univaiheita on häiritty herättämällä (Stones, 1977; Genzel, Dresler, Wehrle, Grözinger & Steiger, 2009) tai, joissa eri univaiheiden pituutta on verrattu myöhempään muistisuoriutumiseen (Tucker ym., 2006). REM-unen pituuden on havaittu olevan yhteydessä proseduraalisten ja emotionaalisten muistijälkien vahvistumiseen (Smith, 2001; Stickgold ym.,

2001; Gais & Born, 2004a; Marshall & Born, 2007; Diekelmann ym., 2009; Walker, 2009). Syvän unen pituuden on havaittu olevan yhteydessä deklaratiivisten muistijälkien vahvistumiseen (Smith, 2001; Stickgold ym., 2001; Gais & Born, 2004a; Tucker ym., 2006; Diekelmann ym., 2009; Marshall & Born, 2007; Diekelmann ym., 2012), mutta myös proseduraalisten muistijälkien vahvistumiseen (Antony, Gobel, O'Hare, Reber & Paller, 2012).

Univaiheiden muistivaikutusten tutkimus on ollut perusteltua, koska eri univaiheissa vallitsee erilaiset välittäjäainejärjestelmät (Stickgold ym., 2001; Walker & Stickgold, 2004), joita ei kuitenkaan ole tarkoituksenmukaista esitellä tarkemmin tässä tutkielmassa. Mainittakoon kuitenkin, että verrattuna REM-uneen, syvän unen aikana asetyylikoliini-, serotoniini-, kortisoli- ja noradrenaliinipitoisuudet ovat keskimäärin matalat (Bierwolf, Struve, Marshall, Born & Fehm, 1997; Hasselmo, 1999; Stickgold ym., 2001; Gais & Born, 2004b; Power, 2004; Diekelmann & Born, 2010). Erityisesti matalan kortisolitason ajatellaan olevan hippokampuksen solujen uudelleen aktivaation kannalta helpottava tekijä (Hasselmo, 1999; Gais & Born, 2004a, Gais & Born, 2004b). Tutkimus yksittäisten univaiheiden merkityksestä muistin kannalta tuotti ristiriitaisia tuloksia (Rasch, Pommer, Diekelmann & Born, 2009) ja kehittyi ajatus, että kukin univaihe palvelee muistijäljen vahvistamisprosessia, mutta eri tavalla (Smith, 2001; Stickgold, 2005; Diekelmann & Born, 2010; Rasch & Born, 2013). Syvän unen on esimerkiksi ajateltu olevan tärkeä muistijäljen uudelleenjärjestelyssä, kun taas REM-unen on ajateltu olevan tärkeä muistijäljen synaptisessa vahvistumisessa uudessa sijainnissa (Born & Wilhelm, 2012).

Univaiheiden tutkimuksesta on siirrytty niiden aikaisten neurofysiologisten ilmiöiden tutkimiseen. Näistä eniten tutkittuja ovat hidasaallot, talamokortikaaliset unisukkulat ja hippokampuksen terävät aallot (Diekelmann & Born, 2010). Kaikki kolme esiintyvät kiinteässä vuorovaikutuksessa, sillä unisukkulat ja terävät aallot esiintyvät usein hidasaallojen yhteydessä (Mölle ym., 2002; Sirota ym., 2003; Battaglia ym., 2004; Gais & Born, 2004a; Clemens ym., 2007; Axmacher ym., 2008; Mölle ym., 2009; Mölle ym., 2011; Cox ym., 2014b; Lüthi, 2014), terävän aallot esiintyvät läheisessä ajallisessa suhteessa unisukkuloiden kanssa (Sirota ym., 2003; Clemens ym., 2007; Clemens ym., 2011; Lüthi, 2014) ja nopeat unisukkulat esiintyvät yleensä ensimmäisen hidasaallon nousuvaiheessa, kun taas hitaat unisukkulat esiintyvät hidasaallon negatiivisen huipun jälkeen hyperpolarisaation alkaessa (Mölle, Bergmann, Marshall & Born, 2011; Mölle ym. 2011).

Intensiivinen oppiminen lisää kaikkia kolmea aaltotyyppiä korreloiden paremman muistisuoriutumisen kanssa unen jälkeen (Gais & Born, 2004a; Huber ym., 2004; Mölle, Marshall, Gais & Born, 2004; Axmacher ym., 2008; Eschenko ym., 2008; Morin ym., 2008; Mölle ym., 2009;

Abel ym., 2013; Lüthi, 2014). Hidasaallot lisääntyvät erityisesti deklarativisen oppimisen jälkeen (Mölle ym., 2004; Holz ym., 2012) ja niiden häiritseminen haittaa muistamista (Landsness ym., 2009). Unisukkulat lisääntyvät erityisesti motorisen oppimisen jälkeen (Morin ym., 2008; Barakat ym., 2011), mutta myös deklarativisen oppimisen jälkeen (Lüthi, 2014) ja erityisesti silloin kun opitun tiedon integroiminen olemassa olevaan muistivarastoon vaatii enemmän työtä (Tamminen ym., 2013). Unisukkulat palvelevat muistia voimakkaimmin silloin, kun ne esiintyvät yhdessä hidasaaltojen kanssa (Cox, Hofman & Talamini, 2012). Molemmat lisääntyvät erityisesti niillä aivoalueilla, jotka ovat olleet aktiivisia valveilla (Huber ym., 2004; Nishida & Walker, 2007).

Vaikka hidasaallot on yhdistetty solujen uudelleenaktivaatioon (Ji & Wilson, 2007; Antony ym., 2012), niiden kanssa yhdessä esiintyvät terävät aallot saattavat olla hippokampuksen solujen uudelleenaktivaation olennaisin mekanismi (Sirota ym., 2003; Battaglia ym., 2004; Sara, 2010; Carr ym., 2011; Girardeau & Zugaro, 2011; Abel ym., 2013). Hidasaallot itsessään vaikuttaisivat tuottavan muistia parantavia plastisia muutoksia aivoissa kestoporostumisen kautta (Steriade & Timofeev, 2003; Chauvette ym., 2012). Synaptisten muutosten lisäksi ne ohjaavat tuoreisiin muistijälkiin liittyvien toimintojen siirtymistä hippokampuksesta aivokuorelle (Gais & Born, 2004a; Takashima ym., 2006; Mehta, 2007; Born & Wilhelm, 2012; Abel ym., 2013). Myös unisukkuloiden ajattelaaan liittyvän tähän toimintaan (Clemens ym., 2007; Andrade ym., 2011; Clemens ym., 2011; Stickgold ym., 2001; Gais & Born, 2004a; Tamminen, Ralph, Lewis, 2013; Abel ym., 2013) kenties lisäämällä toiminnallisia yhteyksiä hippokampuksen ja tiettyjen aivokuoren alueiden välillä (Andrade ym., 2011; Abel ym., 2013) tai yhdistämällä eri aivoalueet unen aikana yhdeksi tiedonkäsittely-yksiköksi (Lüthi, 2014).

Näiden unen aikaisten mekanismien tarkempi tuntemus on lisännyt tutkijoiden kiinnostusta niihin vaikuttamisesta. Ne eivät selvästikään ole hyödyllisiä vain unen syvyyttä arvioitaessa, vaan esimerkiksi unisukkuloiden tiheyden on osoitettu korreloivan positiivisesti yleisen älykkyyden kanssa (Fogel & Smith, 2011). Lisäksi unisukkuloiden, kognitiivisen prosessointinopeuden ja oppimiskyvyn on havaittu olevan kolmisuuntaisessa yhteydessä toisiinsa (Lustenberger, Maric, Dürr, Achermann & Huber, 2012). Unisukkuloiden tiheys saattaa siis ennustaa älykkyyttä ja niitä voimistamalla voitaisiin kenties ehkäistä kognitiivisia muutoksia, jotka liittyvät moniin psykiatrisiin häiriöihin.

1.4. Hidasaaltojen vahvistaminen eri menetelmin

Häiriintynyt unensaanti ja unen rakenne liittyy haitallisiin kognitiivisiin muutoksiin muistissa ja toiminnanohjauksessa sekä useisiin mielenterveysongelmiin, kuten masennukseen ja skitsofreniaan (Göder ym., 2004; Dresler, Kluge, Genzel, Schüssler & Steiger, 2010; Fortier-Brochu, Beaulieu-Boneau, Ivers & Morin, 2012; Landmann ym., 2014). Myös ikääntyminen aiheuttaa unen rakenteen muutoksia. Esimerkiksi hidasaaltorytmi muuttuu iän myötä; hidasaaltojen amplitudi voimistuu murrosikästä asti ja alkaa vaimentua siitä eteenpäin (Campbell & Feinberg, 2009).

Aivojen sisäsyntyisiin toimintoihin ulkoisesti vaikuttamalla voitaisiin mahdollisesti lievittää psykiatristen häiriöiden ja ikääntymisen aiheuttamia muistin ja muiden kognitiivisten toimintojen muutoksia (Stickgold, 2005; Backhaus ym., 2007; Spencer, Gouw & Ivry, 2007; Dresler ym., 2010; Göder ym., 2013). Hidasaalloilla on osoitettu olevan merkittävä rooli unenaikaisessa tiedonkäsittelyssä ja muistijälkien vahvistumisessa, joten niiden vahvistaminen helposti toteutettavalla menetelmällä voisi kompensoida ikääntymisestä johtuvaa hidasaaltojen vaimenemista ja muistin heikkenemistä. Pitkälle kehitetyllä unenaikaiseen tiedonkäsittelyyn vaikuttavalla menetelmällä voisi olla myös psykoterapeuttista arvoa, kun eri muistoja voitaisiin valikoivasti vahvistaa tai vaimentaa (Landmann ym., 2014).

Transkraniaalinen tasavirtastimulaatio 0,75 Hz taajuudella lisää syvän unen, hidasaaltojen ja hitaiden unisukkuloiden määrää parantaen samalla unen aikaista deklaratiivisten muistijälkien vahvistamista (Marshall, Helgadóttir, Mölle & Born, 2006). Tulos on toistettu ADHD-lapsilla (Prehn-Kristensen ym., 2014), skitsofreniaa sairastavilla aikuisilla (Göder ym., 2013), terveillä aikuisilla (Antonenko ym., 2013) ja eläinkokeilla (Binder ym., 2014). Sahlem ym. (2015) eivät tosin havainneet deklaratiivisen muistin parantumista vastaavalla menetelmällä. Hidasaaltorytmiä on onnistuttu voimistamaan unen aikana myös transkraniaalisella magneettistimulaatiolla (Massimini ym., 2007). Sensomotorisen eli mu-rytmin (12-15 Hz) välineellisen ehdollistamisen on kahdessa tutkimuksessa havaittu vaikuttavan unen aikaisiin unisukkuloihin, nukahtamisnopeuteen ja deklaratiivisen muistijäljen vahvistumiseen (Hoedlmoser ym., 2008; Schabus ym., 2014). On myös todettu, että sängyn hidas keinuminen (0,25 Hz) nopeuttaa nukahtamista, pidentää univaiheen N2 pituutta, voimistaa hidasaaltorytmiä ja lisää unisukkuloita (Bayer ym., 2011).

Magneetti- ja tasavirtastimulaatiota kevyempi menetelmä on tarpeen, mikäli hidasaaltojen voimistamista halutaan hyödyntää laajasti. Hidasaaltojen synnyttäminen akustisesti on yksi vaihtoehto. Unen aikana esitetyn akustisen ärsyksen tiedetään tuottavan heräteasteena K-kompleksin, jonka ajatellaan olevan hidasaallon esiaste (Caporro ym., 2012; Halász, Bódizs,

Parrino & Terzano, 2014). Tononi ym. (2010) tutkivat erilaisia tapoja hidasaaltojen synnyttämiseen ja havaitsivat, että lyhyillä, hidasaaltotaajuudella esitetyillä ääniärsykkeillä on mahdollista voimistaa hidasaaltotoimintaa kevyessä ja syvässä unessa. Heidän tutkimuksen raportoinnissa oli kuitenkin puutteita, sillä he eivät esimerkiksi raportoineet, millaisia ääniä he esittivät koehenkilöille. Saksalainen tutkimusryhmä selvitti syvän unen aikana esitettyjen kohinapurskeäänten vaikutusta hidasaaltorytmiin ja myöhempään muistisuoriutumiseen (Ngo ym., 2013a; Ngo ym., 2013b; Ngo ym., 2015). Näissä kokeissa koehenkilöt nukkuivat unilaboratoriossa ensin totutteluyön, minkä jälkeen he nukkuivat vielä kaksi yötä, joko äänet päällä tai pois päältä satunnaisessa järjestyksessä. Ngo ym. (2013a) esittivät koehenkilöiden nukkuessa lyhyitä 50 ms kohinapurskeita hidasaaltorytmissä (0,8 Hz) yön ensimmäisen 90 minuutin ajan ja havaitsivat hidasaaltorytmin voimistuvan ja synkronoituvan rytmisen äänen tahtiin, mutta haittavaikutuksena se viivytti nukahtamista. Myöhemmässä kokeessa he havaitsivat hidasaallon nousuvaiheessa esitetyn äänen voimistavan hidasaaltorytmiä, lisäävän peräkkäisten hidasaaltojen määrää, sekä vahvistavan deklaratiivista muistijälkeä (Ngo ym., 2013b). Hidasaaltorytmin voimistamisessa tulee nopeasti raja vastaan. Toistuvasti hidasaaltoon vaihelukittuja ääniä esitettäessä muistijälki ei vahvistu verrattuna vain kahden peräkkäisen äänen esittämiseen nähden (Ngo ym., 2015). Toistuvat äänet tuottivat vasteena useamman hidasaallon, mutta vain ensimmäiseen aaltoon liittyi nopeita unisukkuloita. Tutkijat päättelivät tämän viittaavan talamokortikaalisten solujen kasvavaan vastustukseen äänten esittämisen vaikutuksille (Ngo ym., 2015).

Vielä ei ole täysin selvää, miten äänten esittäminen unenaikaisesti voimistaa hidasaaltorytmiä. Bellesi ym. (2014) spekuloiivat, että äänet aktivoivat tarpeeksi suurta joukkoa neuroneita kuuloradan kautta johtaen neuronien synkronisaatioon ja lopulta hidasaallon syntyyn. Tutkijat ehdottivat muuttujia, jotka tulisi optimoida kun tavoitteena on voimistaa hidasaaltorytmiä äänien avulla: Sopiva äänen voimakkuus, vaihteleva äänentaajuus, sopiva äänen esittämisen ajoitus ja äänten esittäminen rytmisesti hidasaaltotaajuudella. Äänen on tärkeää olla intensiteetiltään sopiva, jotta se aiheuttaisi depolarisaation riittävän monessa neuronissa ilman, että se herättää unesta tai keventää unta. Lisäksi äänentaajuuden tulisi vaihdella yön aikana riittävästi, jotta kuuloradan solujen vaste ei pienenesi toiston vuoksi. Tutkijat päättelivät myös, että äänten esittäminen tulisi ajoittaa hidasaallon depolarisoivaan nousuvaiheeseen lähellä hidasaallon negatiivista huippua. Ngo ym. (2013b) osoittivatkin, että äänen esittäminen hidasaallon nousuvaiheessa voimisti hidasaaltoja kun taas sen esittäminen hidasaallon laskuvaiheessa häiritsi seuraavien hidasaaltojen syntyä. Lüthi (2014) kuvaa artikkelissaan unisukkuloiden inhiboivan aivokuoren neuroneita hidasaallon nousuvaiheen aikana, jottei liiallinen aivokuoren aktiivisuus johtaisi heräämiseen, ja ajattelee täten äänten esittämisen

ajoittamisen olevan tärkeää hidasaaltotoiminnan synnyttämiseksi. Halász ym. (2014) päättelivät, että äänen synnyttämä hidasaalto on välitön unenaikaiseen homeostaasiin tähtäävä mekanismi, jonka avulla ihminen pysyy unessa, kun siihen on vielä tarvetta. Idean mukaan tarpeeksi nukuttua äänet herättäisivät täten helpommin kuin unen varhaisessa vaiheessa. Äänten esittäminen rytmisesti hidasaaltotaajuudella voisi tahdistaa (entrain) sisäsyntyisten hidasaaltojen esiintymisen äänen kanssa, kuten Ngo ym. (2013a) osoittivat tutkimuksessaan.

Tämän tutkimusprojektin aiemmassa pilottitutkimuksessa havaittiin lisääntyntä jännittyneisyyttä äänten esittämisen jälkeen (Leminen, 2014). Mielialavaikutus liittyi luultavasti tarkasti ääniin, sillä toisessa, hidasaaltojen voimistamiseen tähtäävässä tutkimuksessa tasavirtastimulaation havaittiin parantavan potilaiden mielialaa (Göder ym., 2013). Siispä tässä osatutkimuksessa haluttiin tutkia ääniärsyksen laadun vaikutusta mielialaan. Unihäiriöistä kärsivien unenlaatua on onnistuttu parantamaan musiikkiterapialla, jossa ennen nukahtamista on soitettu miellyttäviä ja luonnollisia ääniä (Wang, Sun & Zang, 2014), joten optimaalisin ääniärsyke unen aikana esitettäväksi löytyy todennäköisesti musiikissa käytetyistä soittimista. Etenkin, jos koehenkilö herää yön aikana ja kuulee äänen, sen on parempi olla tuttu ja miellyttäväksi arvioitu (Leminen ym., 2014). Näinollen tässä tutkimuksessa kokeiltiin kohinapurskeen lisäksi vaihtoehtoista ääniärsykettä, joka valittiin perkussiosoitteiden äänistä.

Hidasaaltojen voimistaminen äänillä näyttäisi olevan mahdollista, mutta siinä on rajoituksia. Sen on todettu muutamissa tutkimuksissa parantavan deklaratiivista muistisuoriutumista, mitä testattiin myös tässä tutkimuksessa. Lisäksi tässä tutkimuksessa haluttiin selvittää ääniärsyksen laadun ja äänten esityksajan vaikutusta.

1.5. Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Tämän tutkimuksen keskeisimpänä tehtävänä on selvittää, mistä unenaikaisten äänten jälkeinen vaikutus mielialaan johtuu ja, onko äänten esittämisen pituudella merkitystä muistin kannalta. Koeasetelmaa on käytetty aiemmissakin tutkimuksissa, joissa on esitetty ääniä unen aikana ja tutkittu sen vaikutusta muistiin (Tononi ym., 2010; Ngo ym., 2013b; Saure, 2014; Leminen, 2014; Ngo ym., 2015). Nyt sitä sovellettiin tutkimuskysymyksiin, jotka ovat aiemmin jääneet avoimiksi tai epäselviksi. Näiden lisäksi pyrittiin toistamaan aiempien tutkimusten löydökset unenaikaisten äänten vaikutuksista muistiin ja unen jälkeiseen mielialaan. Tutkimuskysymysten ja aiempien tutkimustulosten pohjalta on muodostettu seuraavia hypoteeseja:

Äänten esittämisen vaikutus muistisuoriutumiseen:

1. Unen aikana esitetyt äänet parantavat myöhempää muistisuoriutumista.
2. Koko yön ajan esitetyt äänet parantavat muistisuoriutumista enemmän kuin alkuyöhön rajattu äänten esittäminen.

Äänten esittämisen vaikutus unen jälkeiseen mielialaan:

3. Unen aikainen äänten esittäminen alentaa unen jälkeistä mielialaa.
4. Kohinapurskeäänien unen aikainen esittäminen alentaa unen jälkeistä mielialaa enemmän kuin miellyttäviksi koettujen äänten esittäminen.
5. Äänten esittäminen vain alkuyön aikana alentaa mielialaa vähemmän kuin äänten esittäminen koko yön ajan.

2. Menetelmät

2.1. Koehenkilöt

Koehenkilöt rekrytoitiin Helsingin yliopiston opiskelijoiden sähköpostilistojen sekä Työterveyslaitoksen työntekijöiden kautta. Heille maksettiin kokeeseen osallistumisesta 15 € arvoinen S-ryhmän lahjakortti jokaista laboratoriossa nukuttua yötä kohden. Lisäksi koehenkilöt saivat osallistumisestaan heidän untaan kuvaavan hypnogrammin. Kokeeseen osallistui yhteensä 21 henkilöä, joista 14 oli naisia. Koehenkilöiden ikä vaihteli 22 ja 60 vuoden välillä keskiarvon ollessa 29,4 vuotta. Koehenkilöt olivat tietoisia tutkimuksen tarkoituksesta ja menetelmistä ja allekirjoittivat suostumuksensa erillisessä lomakkeessa. Helsingin ja Uudenmaan Sairaanhoidopiirin eettinen toimikunta hyväksyi tutkimussuunnitelman. Tutkimuksen toteuttamisessa noudatettiin Helsingin julistusta (World Medical Association, 2001).

Tullakseen hyväksytyksi kokeeseen osallistujaksi, koehenkilöiden tuli olla fyysisesti terveitä ja hyvin nukkuvia, mikä varmistettiin unihoitajan haastattelulla. Pääosin keskushermostoon vaikuttavien lääkkeiden käyttö, lääkärin diagnosoima unihäiriö tai unta häiritsevä perussairaus olivat poissulkevia kriteerejä niiden unta häiritsevien vaikutusten vuoksi. Koehenkilöiden elintapoja sekä fyysistä ja psyykkistä terveydentilaa selvitettiin kyselylomakkeella, jonka koehenkilöt täyttivät ennen ensimmäistä koeyötä.

Ennen laboratoriossa nukuttuja öitä koehenkilöt täyttivät viikonlopun yli unipäiväkirjaa ja merkkasivat siihen nukkumaanmenon ja heräämisen ajankohdat ensimmäistä koeyötä edeltävältä ajalta. Lisäksi koehenkilöille annettiin ranteeseen mukaan kiihtyvyyssanturi eli aktigrafi, jolla

mitattiin koehenkilöiden kehon liikkeitä. Koehenkilöitä ohjeistettiin olemaan nukkumatta päiväunia ja olemaan juomatta alkoholia lainkaan ja kahvia klo 15 jälkeen ennen laboratorioissa vietettyjä öitä.

2.2. Koeasetelma

Koehenkilöt viettivät unilaboratoriossa neljä peräkkäistä yötä. Koetilanteita oli neljä ja niiden järjestys oli satunnaistettu kullekin yölle siten, että kussakin unilaboratorion kolmesta huoneesta oli käynnissä sama koetilanne:

1. Koko yön ajan esitetyt äänet kohinapurskeella (jatkossa Kohina 8h),
2. yön ensimmäisen neljän tunnin ajan esitetyt äänet kohinapurskeella (Kohina 4h),
3. koko yön ajan esitetyt äänet perkussiosoitimella (Sävel 8h),
4. verrokkitalanteena hiljaisuus (Äänetön).

2.3. Ääniärsykkeet

Ääniärsykkeet esitettiin koehenkilöille Genelec 2029A (Genelec Oy, Iisalmi, Suomi)-kaiuttimesta, joka oli sijoitettu noin 125 cm korkeudelle koehenkilön sängyn yläpuolelle.

Tässä tutkimuksessa käytetty 1/f-kohinapurskeääni oli sama, mitä on käytetty aiemmissakin tutkimuksissa (Ngo ym., 2013a; Ngo ym., 2013b; Saure, 2014; Leminen, 2014; Ngo ym., 2015). Kohinapurske oli 50 ms pitkä 5 ms nousu- ja laskurampeineen. Toisena ääniärsykkeenä käytettiin keski-C-säveltä perkussiosoitimesta (kalimba, marimba tai vibrafoni). Perkussiosoitinten äänet valittiin aiemman tutkimuksen perusteella, jossa ne oli arvioitu subjektiivisesti miellyttäväiksi unenaikaiseen kuunteluun (Ahonen ym., 2013). Kyseiset äänet oli toisessa tutkimuksessa arvioitu miellyttäväiksi myös objektiivisemmän mittarin, kasvojen lihaksista mitatun jännitevaihtelun perusteella (Leminen ym., 2014). Perkussiosoitimista poimitut ääniärsykkeet muokattiin kestoltaan sekä nousu- ja laskurampeiltaan vastaamaan kohinapurskeen ominaisuuksia.

2.4. Kokeen kulku

Ennen ensimmäistä tutkimusyötä koehenkilöt täyttivät unipäiväkirjaa, jonka he palauttivat yhdessä taustatietolomakkeen kanssa ensimmäisen tutkimusyön iltana. Ensimmäisen tutkimusyön iltana koehenkilöt täyttivät suostumuslomakkeen tutkimukseen osallistumisesta. Kunkin tutkimusyön

iltana koehenkilöihin kiinnitettiin elektrodit neurofysiologisia mittauksia varten heidän saavuttuaan unilaboratorioon.

Elektrodien kiinnityksen jälkeen koehenkilöt aloittivat klo 21 tekemään muistitehtäviä tablettitietokoneella, jonka jälkeen he täyttivät mielialakysely- ja kuormitusindeksilomakkeen. Tehtävien jälkeen koehenkilöt söivät kevyen iltapalan ja heidän rintaansa asetettiin Enobio-mittalaitteisto (Neuroelectrics, Barcelona, Espanja) EEG-, EOG- ja EMG-signaalien keruuta varten.

Ennen nukkumaanmenoa koehenkilöt valitsivat kolmesta perkussiosoitimmilla tuotetusta äänestä yhden mieleisensä. Tämän jälkeen mitattiin koehenkilöiden kuulokynnys kohinapurskeelle ja itse valitulle äänelle erikseen siten, että koehenkilöt makasivat sängyssä ja heille esitettiin unilaboratorion valvomon kautta huoneeseen asennetuista kaiuttimista toistuvasti ääniärsykettä äänenvoimakkuutta vaihdellen. Koehenkilöiden tehtävänä oli nostaa käsi kun he kuulivat äänen ja laskea käsi kun he eivät enää kuulleet sitä. Näin pystyttiin määrittämään hiljaisin äänenvoimakkuus, jonka koehenkilöt kuulivat. Valot sammutettiin klo 23, jolloin käynnistettiin EEG-rekisteröinti ja siihen liittyvä ohjelma äänten esittämiselle.

Koehenkilöt herätettiin klo 7 aamulla, jolloin elektrodit irrotettiin ja he täyttivät unenlaatukyselyn. Klo 7.30 alkaen koehenkilöt tekivät muistitehtävien viivästetyn mieleen palautuksen osiot ja täyttivät kuormitusindeksi- ja mielialakyselylomakkeen. Koehenkilöille tarjottiin kevyt aamupala ja heidät ohjeistettiin täyttämään mielialakysely mobiililaitteella aina klo 10, klo 14 ja klo 18. Koehenkilöt poistuivat unilaboratoriosta viimeistään klo 9.

2.5. Unen rekisteröinti ja äänten esittäminen

EEG:tä rekisteröitiin viideltä pään pinnan keskiviivan kanavalta kansainvälisen 10/20 -järjestelmän mukaisesti (Oz, Cz, Cpz, Fz ja Fpz), jossa Cpz toimi häiriötä vähentävänä DRL-kytkentänä (engl. Driven right leg). Lisäksi standardin polysomnografian mukaisesti signaalia rekisteröitiin mastoideilla M1 ja M2, silmänliikkeitä rekisteröivällä elektro-okulografialla (EOG) sekä lihastonusta mittaavalla elektromyografialla (EMG). Kokeessa käytettiin suositusten mukaisia EOG-elektrodien paikkoja: EOG-vasen (EOG-L) hieman sivuun ja 1 cm alas vasemman silmän silmäkulmasta, EOG-oikea (EOG-R) hieman sivuun ja 1cm ylös oikean silmän silmäkulmasta. Mastoidielektrodit M1 ja M2 kiinnitettiin korvien taakse. Lihassähkökäyrää rekisteröivä EMG-elektrodi kiinnitettiin vasempaan hartiaan.

Elektrodisijainnit valmistettiin puhdistamalla ne hohkakiviliuoksella (ABRALYT 2000, Easyap, Gilching, Germany). Keskilinjaan kiinnitettävät Oz, Cz, CpZ ja Fz Ag/AgCl-elektrodit kiinnitettiin elektrodipastalla (Grass Technologies, EC2, Warwick, Yhdysvallat). Muut elektrodit kiinnitettiin kertakäyttöisillä tarraelektrodeilla (Ambu, Kööpenhamina, Tanska). Elektrodien kontakti-impedanssit mitattiin erillisellä mittarilla (Nicolet Biomedical, Schaumburg, Yhdysvallat) ja pidettiin alle 5 k Ω :ssa. EEG-signaali siirtyi bluetooth-yhteydellä valvomon tablettitietokoneelle (Surface, Microsoft, Redmond, Yhdysvallat).

Hidasaaltojen havaitseminen ja äänten esittäminen tapahtui adaptiivisesti referoimalla Fpz-elektrodi paremman signaalin sisältävään mastoidiin M1 tai M2. Kun näin saatu signaali ylitti kynnsarvon -50 μ V ja seuraava nollan ylitys (siirtymä negatiivisesta positiiviseksi) tapahtui 125-500 ms:n kuluttua, algoritmi valitsi aallon äänen esittämistä varten. Tasan 600 ms:n kuluttua valitun aallon negatiivisesta huipusta ohjelma esitti koetilanteesta riippuen joko äänen tai nollasignaalin. Hidasaalloiksi tunnistettujen negatiivisten huippujen ajankohdat tallennettiin myöhempää analyysia varten.

Äänten voimakkuutta säädettiin reaaliaikaisesti perustuen unen automaattiseen analysointiin (yksityiskohtainen kuvaus: Virkkala ym. (2007a; 2007b; 2007c)). Menetelmän perusideana on, että koehenkilön ollessa hereillä tai unen ollessa kevyttä äänenvoimakkuus on säädetty 5 dB alle kuulokynnyksen, jolloin koehenkilö ei kuule ääntä. Unen syventyessä äänenvoimakkuus nousee hiljalleen 0,25 dB 500 ms välein maksimissaan 15 dB yli kuulokynnyksen. Näin pyrittiin varmistamaan, etteivät koehenkilöt kuulisi ääniä hereillä ollessaan tai unesta havahtuessaan. Algoritmi tarvitsee toimiakseen mastoidiin referoituja silmänliike-elektrodeja, joista se laskee adaptiivisesti kahden sekunnin jaksoissa indikaattoreita unen kevenemisestä, havahtumisesta, REM-unesta ja syvästä unesta, joita ovat esimerkiksi beta- (18-30Hz) tai alpha -toiminnan (8-12Hz) nousu, silmänliikkeet ja hidasaallot.

Koehenkilöiden sänkyihin oli lisäksi asennettu kolme venymäliuska-anturia (Embla Systems, Thornton, Yhdysvallat) mittaamaan huoneen valoisuutta ja koehenkilöiden liikehdintää unen aikana. Tätä aineistoa ei hyödynnetty tässä osatutkimuksessa.

2.6. Aineiston keruu

2.6.1. Muistitehtävät

Tutkittavien muistia mitattiin kolmella yksinkertaisella tehtävällä. Tehtävät olivat assosioituvien sanaparien tehtävä, sarjallisen sorminaputuksen tehtävä ja nimimuistitehtävä. Tehtävät tehtiin aina em. järjestyksessä. Iltaisin tehtäviin kuului mieleen painaminen ja välitön mieleen palautus. Aamuisin tehtäviin kuului viivästetty mieleen palautus. Kaikkien tehtävien ärsykkeet olivat kutakin yötä kohden uusia. Tehtävät tehtiin iltaisin klo 21 ja aamuisin klo 7.30.

2.6.1.1. Assosioituvat sanaparit

Assosioituvien sanaparien tehtävä mukaili aiemmassa, saksankielisessä tutkimuksessa sovellettua deklarativisen muistin tehtävää, jonka on todettu olevan sensitiivinen unen vaikutuksille (Ngo ym., 2013b). Tässä tutkimuksessa käytetyt sanaparit muodostettiin saman tutkimushankkeen toisessa osatutkimuksessa kääntämällä Ngon ja kumppaneiden (2013b) tutkimuksessa käytetyt 240 sanaparia saksasta suomeksi ja luomalla lisäksi 240 uutta, vastaavaa sanaparia. Sanalistat muodostettiin luomalla assosioituvia sanoja, joista karsittiin pois foneettiset samankaltaisuudet ja liian pitkät sanat. Viideltä koehenkilöltä kysyttiin arviota sanojen assosiaatiosta ja tulosten perusteella poistettiin ne sanaparit, jotka eivät assosioituneet ollenkaan (Brandt, tekeillä oleva pro gradu -tutkielma). Sanalistoja oli yhteensä neljä ja niiden esitysjärjestys satunnaistettiin (liite 1, sanalistat A-D).

Illalla koehenkilöille esitettiin tietokoneen ruudulta yksitellen yhteensä 120 semanttisesti toisiinsa assosioituvaa sanaparia, jotka koehenkilöiden tuli painaa mieleen. Kukin sanapari näkyi tietokoneen ruudulla neljän sekunnin ajan esityskertojen välisen ajan ollessa 1 sekunti. Välittömästi mieleen painamisen jälkeen koehenkilöille esitettiin satunnaistetussa järjestyksessä juuri opittujen sanaparien ensimmäiset osat. Koehenkilöiden tehtävä oli kirjoittaa tietokoneelle sanaparin toinen osa. Vastauksen jälkeen ruudulle ilmestyi aina palautteena oikea vastaus, jolloin koehenkilöillä oli mahdollisuus painaa se uudestaan mieleen. Aamulla tehtävänä oli viivästetysti palauttaa mieleen edellisiltana opitut sanat vihjeen perusteella ilman vastauksen jälkeen saatavaa palautetta. Jokaista tutkimusyötä kohden koehenkilöille esitettiin uudet sanaparit. Tehtävä pisteytettiin summaamalla oikeisiin vastauksiin myös ne vastaukset, jotka sisälsivät muutoin oikeassa vastauksessa ilmeisen kirjoitusvirheen tai väärän taivutusmuodon.

2.6.1.2. Sarjallinen sorminaputtelu

Sarjallinen sorminaputtelu on proseduraalista muistia mittaava tehtävä, jonka on todettu olevan sensitiivinen unen vaikutuksille (Morin ym., 2008; Landmann ym., 2014). Tässä tehtävässä koehenkilöiden tuli heikomman käden pikkusormea, nimetöntä, keski- ja etusormea näppäimistön numeroita 1-4 käyttäen naputtaa tietokoneen ruudulla näytettyä viiden numeron sarjaa (esim. 3-1-2-4-2) niin nopeasti ja tarkasti kuin pystyi. Naputeltavaa numerosarjaa sai ensin harjoitella 10 kertaa. Tämän jälkeen koehenkilöiden tuli kuuden 30 sekunnin jakson aikana naputtaa numerosarja niin monta kertaa kuin mahdollista. Kunkin 30 sekunnin jakson välillä oli viiden sekunnin tauko. Tehtävässä oli yhteensä neljä erilaista numerosarjaa, joiden esitysjärjestys satunnaistettiin. Tehtävässä pisteytettiin kuuden 30 sekunnin jakson aikana oikein naputeltujen numerosarjojen lukumäärä.

2.6.1.3. Nimimuisti

Nimimuistitehtävä on deklarativisen muistin tehtävä, joka oli kehitetty aiemmin samassa tutkimushankkeessa (Leminen, 2014). Koehenkilöiden tehtävänä oli illalla painaa mieleen 20 suomenkielistä nimeä, jotka esitettiin tietokoneen ruudulla ja kaiuttimista yhdessä neutraali-ilmeisen kasvokuvan kanssa. Välittömästi mieleen painamisen jälkeen koehenkilöiden tuli kirjoittaa oikeat nimet tietokoneelle pelkän kasvokuvan perusteella. Kunkin vastauksen jälkeen koehenkilöt kuulivat kaiuttimista palautteena oikean vastauksen, jolloin heillä oli mahdollisuus painaa se uudelleen mieleen. Aamulla koehenkilöiden tehtävänä oli viivästetysti palauttaa mieleen edellisiltana opitut nimet kasvokuvan perusteella ilman vastauksen jälkeen saatavaa palautetta. Kutakin yötä kohden koehenkilöille esitettiin uudet kasvo- ja nimiparit, joiden esitysjärjestys oli satunnaistettu. Tehtävä pisteytettiin summaamalla oikeisiin vastauksiin myös ne muuten oikeat vastaukset, jotka sisälsivät ilmeisen kirjoitusvirheen.

2.6.2. Mieliala-, kuormitus- ja unenlaatukyselyt

Koehenkilöiden mielialaa mitattiin *Profile of Mood States (POMS) short form* – mielialakyselylomakkeella (Curran, Andrykowski & Studts, 1995). Kyselyssä on 38 väittämää, joihin vastataan asteikolla 0-4 perustuen siihen, kuinka hyvin väittämä kuvaa vastaajan sen hetkistä mielentilaa. Väittämistä muodostettiin kahdeksan summamuuttujaa, jotka kuvasivat vastaajan jännittyneisyyttä, väsymystä, muistamattomuutta, tarmokkuutta, depressiivisyyttä, ärtyneisyyttä, saamattomuutta ja epävarmuutta. Kukin summamuuttuja muodostettiin 3-7 kysymyksestä, jotka on esitelty liitteessä 2.

Muistitehtävien jälkeistä kuormittuneisuutta mitattiin kuormitusindeksilomakkeella (NASA Task Load Index, NASA-TLX, Hart & Staveland, 1988). Kyselyssä on kuusi kohtaa, joilla arvioitiin tehtävän psyykkistä ja fyysistä kuormittavuutta, tehtävässä koettua kiirettä, subjektiivista suoriutumisen tasoa tehtävässä, tehtävän vaatimaa ponnistelua ja tehtävään turhautumista. Kukin kohta arvioitiin asteikolla 1-10, jossa 1 tarkoittaa vähän/eri mieltä väitteen kanssa ja 10 tarkoittaa paljon/samaa mieltä väitteen kanssa riippuen kysymyksen asettelusta. NASA-TLX-kuormittavuusindeksilomakkeen yhteydessä kysyttiin myös koehenkilöiden subjektiivisesti koettua vireystilaa.

Koeöiden jälkeisinä päivinä koehenkilöt täyttivät erillisellä mobiililaitteella POMS mielialakyselylomakkeen rakennetta mukailevan lyhyen itsearvion klo 10, 14 ja 18. Asteikko koostui yhdeksästä sen hetkistä olotilaa kuvaavasta väittämästä, joihin vastattiin VAS-asteikolla (*Visual Analogue Scale*) asettamalla piste janalle, jonka ääripäät vastasivat ”vähän” ja ”paljon” -vastauksia. Tätä aineistoa ei hyödynnetty tässä osatutkimuksessa.

Koehenkilöiden itse koettua unenlaatua arvioitiin Työterveyslaitoksen taustatietolomakepohjista muokatulla kyselyllä. Kysymyksistä ”miten nukuitte viime yönä?” ja ”nukuitteko viime yönä huonommin vai paremmin kuin tavallisesti?” muodostettiin summamuuttuja, jota käytettiin unenlaatua koskevissa analyyseissa.

2.7. Aineiston analysointi

Muuttujien jakaumien normalisuus testattiin Shapiro-Wilks-testillä ja analyysit tehtiin jakaumaoletusten mukaisesti joko toistettujen mittausten varianssianalyysillä tai Friedmanin testillä. Koetilanteen ja mittausajankohdan (ilta/aamu) yhteisvaikutusta testattiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä kaikissa muistitehtävissä. Iän vaikutus muuttujiin kontrolloitiin ottamalla se mukaan malliin kovariaattina muodostamalla ikäryhmät alle ja yli 26 vuotta ja lisäämällä ne malliin koehenkilöiden väliseksi muuttujaksi. Koetilanteen ja mittausajankohdan välisen yhteisvaikutuksen ollessa tilastollisesti merkitsevä, koetilanteita vertailtiin illan ja aamun erotusmuuttujalla yksisuuntaisilla testeillä oletusten mukaisesti. Kaikissa post hoc -vertailuissa käytettiin merkitsevyytensä bonferroni-korjausta.

Tutkimuksen aineiston keruun jälkeen ilmeni, että yhdessä unilaboratorion kolmesta tablettitietokoneesta kaksi sanalistaa olivat erilaisia kuin kahdessa muussa tietokoneessa (Liite 1.

Sanalista E & F). Assosioituvien sanaparien tehtävässä käytetty tablettitietokone lisättiin siksi tilastomalliin koehenkilöiden väliseksi muuttujaksi.

Muistitehtäväaineistosta analysoitiin erikseen aiempien tutkimuskertojen vaikutus. Koehenkilöiden muistisuoriutumisen oletettiin paranevan tutkimuskertojen mukaan siksi, että tehtävät ja poikkeuksellinen nukkumisjärjestely tulivat tutummiksi tutkimuksen edetessä. Mikäli aiemmilla tutkimuskerroilla oli tilastollisesti merkitsevä päävaikutus muistisuoriutumiseen, se otettiin huomioon koetilanteen vaikutusta analysoitaessa lisäämällä koetilanteiden esitysjärjestys tilastolliseen malliin koehenkilöiden väliseksi muuttujaksi.

Saure (2014) raportoi saaneensa tilastollisesti merkitseviä tuloksia sorminaputtelutehtävässä vasta keskiarvoistettuaan molempien koeöiden iltojen suoriutumisen ja vertailemalla eri koetilanteiden aamujen tuloksia siihen. Sorminaputtelutehtävän osalta raportoidaan tässäkin molemmat tulokset. Lisäksi Leminen (2014) raportoi kehittämänsä nimimuistitehtävän tulokset illan ja aamun muutoksen ja illan suoritustason suhdelukuna, joten tässäkin raportoidaan samalla tavalla muodostetun muuttujan tulokset nimimuistitehtävässä.

Puuttuvien arvojen osuus koko aineistosta oli 4,8 %. Yksi koehenkilö sairastui kesken mittausten ja hänen toinen koeönsä laboratoriossa keskeytettiin. Kolmen muun koehenkilön kolmas koeö peruutettiin unilaboratoriossa tehtyjen sähkötöiden vuoksi. Kaikki puuttuvat arvot osuivat yölle, jolloin koetilanteena olisi ollut perkussiosoitimen äänen esittäminen. Littlen MCAR-testin mukaan puuttuvat arvot esiintyivät aineistossa satunnaisesti, ($\chi^2(18)=18,124$, $p=0,448$), joten ne korvattiin koehenkilön aiempien mittausten keskiarvolla. Puuttuvien arvojen korvaaminen ei vaikuttanut analyysien johtopäätöksiin minkään muuttujan osalta. Tässä raportoidut tulokset ovat aineistosta, jossa puuttuvat arvot on korvattu. Yhden koehenkilön tulokset jouduttiin pudottamaan pois assosioituvien sanaparien tehtävässä, koska hänen suoriutumisensa illan mittauksissa oli jostain syystä kaksi keskihajontaa alle muiden koehenkilöiden keskiarvon. Riittävän hyvä mieleenpainaminen illalla on edellytys unen vaikutuksille muistiin tallennuksessa (Diekelmann ym., 2009), joten poikkeavan havainnon poistaminen aineistosta nähtiin perustelluksi.

Tilastoanalyseissä käytettiin IBM:n SPSS Statistics tilasto-ohjelmaa (ver. 22, IBM, Armonk, Yhdysvallat).

3. Tulokset

3.1. Muistisuoriutuminen

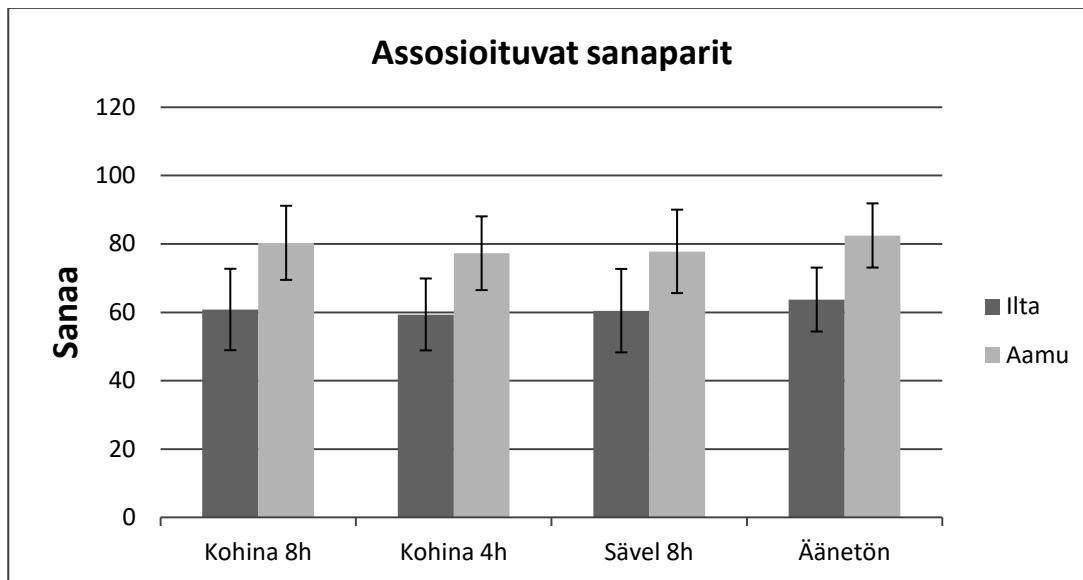
Koehenkilöiden vireystila aamuisin ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi eri aamuina ($F(3,76)=0,450$, $p=0,718$), joten sitä ei jatkoanalyysissä otettu huomioon. Muistitehtävien tunnusluvut on nähtävissä taulukossa 1.

Taulukko 1. Muistitehtävien tunnusluvut. Luvut on laskettu aamu- ja iltasuoriutumisen erotuksesta. KA=Keskiarvo, KH=Keskihajonta.

	Koetilanne	N	KA	KH
	Kohina 8h	20	19,5	11,5
	Kohina 4h	20	17,9	10,2
	Sävel 8h	20	17,4	9,7
Sanaparit	Äänetön	20	18,8	9,5
	Kohina 8h	21	22,4	16,3
	Kohina 4h	21	15,5	11,5
Sarjallinen sorminaputtelu	Sävel 8h	21	19,4	13,5
	Äänetön	21	17,8	15,3
	Kohina 8h	21	1,0	3,2
	Kohina 4h	21	0,8	3,1
	Sävel 8h	21	1,1	2,6
Nimimuisti	Äänetön	21	0,7	2,8

Aiempien tutkimuskertojen lukumäärää ei huomioitu assosioituvien sanaparien tehtävän analyysissä, koska koetilanteiden järjestyksellä ei ilmennyt tilastollisesti merkitsevää päävaikutusta muistettujen sanojen lukumäärään ($F(3,60)=0,745$, $p=0,529$, $\eta^2=0,036$). Kaksisuuntainen toistettujen mittausten sekamalli ei havainnut tilastollisesti merkitsevää koetilanteen ja mittausajankohdan yhteisvaikutusta ($F(3,51)=0,365$, $p=0,779$, $\eta^2=0,021$). Sanaparit tallentuivat koehenkilöiden muistiin yön aikana samalla tavalla riippumatta koetilanteesta. Mittausajankohdalla oli odotetusti tilastollisesti merkitsevä päävaikutus ($F(1,17)=127,340$, $p<.001$, $\eta^2=0,882$). Koehenkilöt muistivat aamulla keskimäärin 18 sanaparia enemmän kuin illalla (kuva 4). Käytetyn tietokoneen ja mittausajankohdan välinen yhteisvaikutus osoittautui tilastollisesti merkitseväksi ($F(1,17)=6,137$, $p=0,024$, $\eta^2=0,265$). Aamun ja illan välinen erotus oli keskimäärin 9 sanaparia pienempi tietokoneella, joka sisälsi poikkeavat sanalistat. Koetilanteen ja

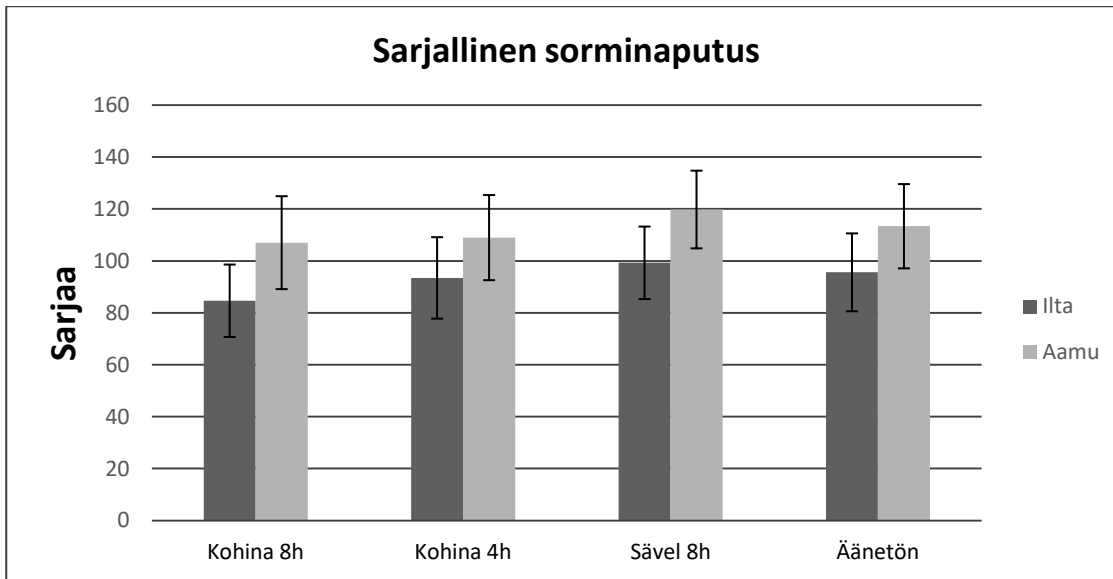
mittausajankohdan yhteisvaikutusta testattiin uudelleen ilman poikkeavan sanalistan sisältävää aineistoa, mutta se ei ollut edelleenkään tilastollisesti merkitsevä ($F(3,30)=0,243$, $p=0,866$, $\eta^2=0,024$). Ikäryhmän ja mittausajankohdan yhteisvaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ($F(1,17)=5,506$, $p=0,031$, $\eta^2=0,245$). Vanhemmassa ikäryhmässä (>26 vuotta) unen aikana muistiin tallentui keskimäärin 8 sanaa vähemmän kuin nuoremmassa ikäryhmässä.



Kuva 4. 120 sanaparista oikein muistettujen sanaparien lukumäärien keskiarvot eri koetilanteissa 95% luottamusväleillä. Musta pylväs kuvaa illan keskiarvoa ja harmaa pylväs kuvaa aamun keskiarvoa.

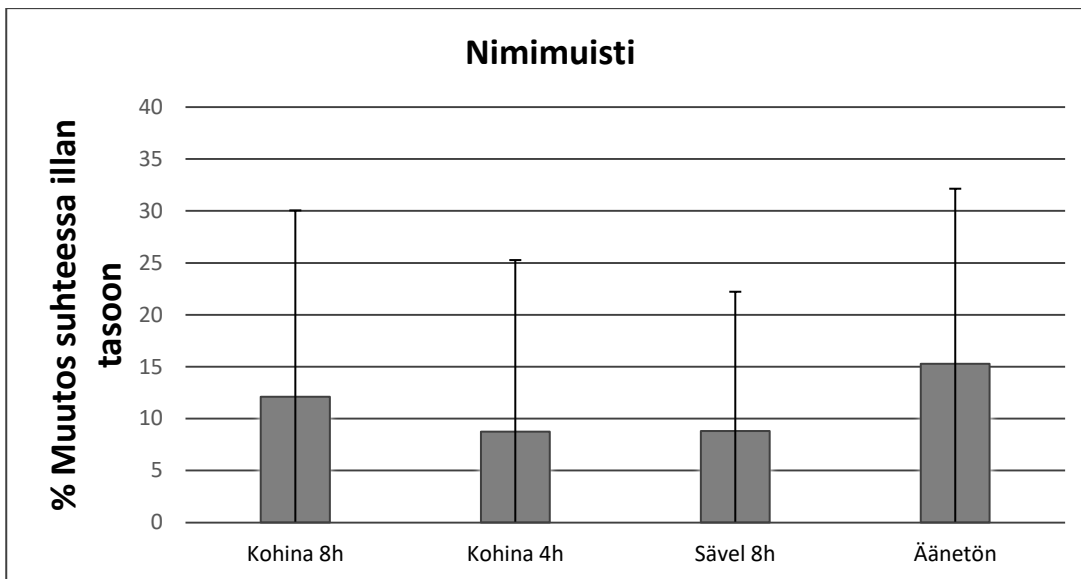
Aiempien tutkimuskertojen lukumäärän päävaikutus osoittautui tilastollisesti merkitseväksi sorminaputtelutehtävässä ($F(3,60)=5,731$, $p=0,002$, $\eta^2=0,223$). Kaksisuuntainen toistettujen mittausten sekamalli, joka huomioi aiempien tutkimuskertojen lukumäärän, ei havainnut tilastollisesti merkitsevää yhteisvaikutusta koetilanteen ja mittausajankohdan välillä ($F(3,33)=1,051$, $p=0,383$, $\eta^2=0,087$). Koetilanne ei siis vaikuttanut yön aikaiseen muistiin tallentumiseen sarjallisen sorminaputuksen tehtävissä. Mittausajankohdalla sen sijaan oli odotetusti merkitsevä päävaikutus oikein naputeltujen numerosarjojen lukumäärässä ($F(1,11)=104,803$, $p<0,001$, $\eta^2=0,905$). Koehenkilöt naputtelivat enemmän numerosarjoja aamuisin kuin iltaisin eron ollessa keskimäärin 19 sarjaa (kuva 5). Vertailtaessa kunkin koetilanteen aamun suoriutumista kaikkien koetilanteiden illan suoriutumisen keskiarvoon koetilanteiden välisten erojen varianssit eivät olleet yhtä suuria Mauchly'n sfäärisyystestin mukaan ($\chi^2(5)=11,611$, $p=0,041$, $\epsilon=0,737$), joten toistettujen mittausten anovan F-suureen tulkinnassa käytettiin Greenhouse-Geisser-korjausta. Koetilanteen ja mittausajankohdan yhteisvaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä näin

muodostetuissa muuttujissa ($F(2,073;22,800)=2,688$, $p=0,062$, $\eta^2=0,196$). Sorminaputtelutehtävän tulokset on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 5. Kolmessa minuutissa oikein naputettujen numerosarjojen lukumäärien keskiarvot eri koetilanteissa 95% luottamusväleillä. Musta pylväs kuvaa illan keskiarvoa ja harmaa pylväs kuvaa aamun keskiarvoa.

Nimimuistitehtävässä aiempien tutkimuskertojen lukumäärällä ei ollut tilastollisesti merkitsevää päävaikutusta oikein muistettujen nimien lukumäärään ($F(3,60)=1,080$, $p=0,365$, $\eta^2=0,051$), joten koetilanteiden esitysjärjestystä ei otettu huomioon. Nimimuistitehtävässä ei ollut havaittavissa tilastollisesti merkitsevää yhteisvaikutusta koetilanteen ja mittausajankohdan välillä ($F(3,60)=0,157$, $p=0,925$, $\eta^2=0,008$). Yön aikainen muistiin tallennus ei siis ollut riippuvaista koetilanteesta nimimuistitehtävässä. Nimimuistitehtävä osoittautui ylipäänsä epäsensitiiviseksi unen vaikutuksille, sillä mittausajankohdalla ei ollut tilastollisesti merkitsevää päävaikutusta oikein muistettujen nimien suhteen ($F(1,20)=4,049$, $p=0,058$, $\eta^2=0,168$). Koetilanteella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta myöskään silloin, kun riippuva muuttuja muodostettiin illan ja aamun muutoksen ja illan suoritustason suhdelukuna ($F(3,60)=0,163$, $p=0,921$, $\eta^2=0,008$). Nimimuistitehtävän tulokset on havainnollistettu kuvassa 6.



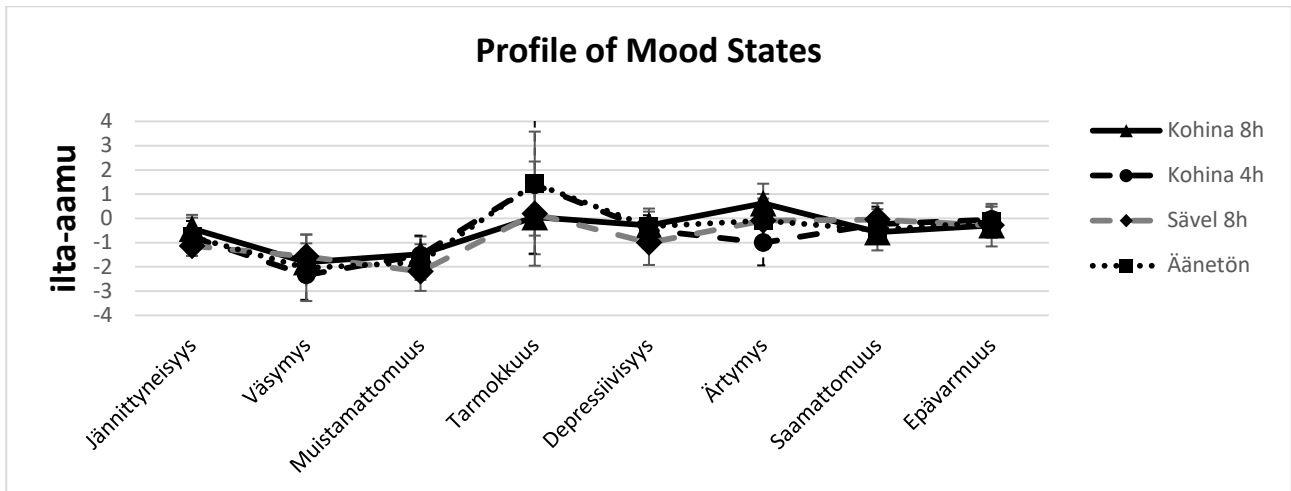
Kuva 6. Illan ja aamun välinen muutos suhteessa illalla 20:stä nimestä oikein muistettujen nimien lukumäärään eri koetilanteissa 95% luottamusväleillä.

3.2. Unen jälkeinen mieliala

POMS-, NASA-TLX- ja unenlaatumuuttujien jakaumat eivät noudattaneet normaalijakaumaa, joten niiden käsittelyssä käytettiin jakaumaoletuksista vapaita tilastoanalyyskejä.

Äänen esittämisen vaikutusta unenaikaiseen palautumiseen tutkittiin laskemalla POMS-summamuuttujien aamun ja illan pistelukujen välinen erotus ja testaamalla koetilanteen vaikutusta erotusmuuttujiin käyttämällä Friedmanin testiä. Koetilanteella oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus ainakin joidenkin erotusmuuttujien välillä ($\chi^2(31)=99,388$, $p<.001$). Kutakin erotusmuuttujaa vertailtiin parittaisesti koetilanteiden välillä käyttäen yksisuuntaisia testejä. Koetilanteiden välisiä vertailuja tehtiin yhden muuttujan osalta $3 \times 2 \times 1 = 6$, ja kun POMS summamuuttujia oli yhteensä kahdeksan, tehtiin lopulta yhteensä $6 \times 8 = 48$ erillistä parittaista vertailua. Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen avulla tehtyjen post hoc-analyysien merkitsevyystasoksi asetettiin bonferroni-korjauksella täten $p=0,05/48 < .001$. Erotusmuuttujien parittaiset vertailut eivät paljastaneet tilastollisesti merkitseviä eroja koetilanteiden välillä. Jännittyneisyyden erotusmuuttujan ero koetilanteiden 1 ja 3 välillä oli lähes tilastollisesti merkitsevä ($Z=2,018$, $p=0,022$). Koko yön ajan esitettyjen perkussiosoitinäänten jälkeen koehenkilöiden jännittyneisyys-pisteet olivat pienempiä suhteessa iltaan verrattuna koko yön ajan esitettyjen kohinapurskeäänien jälkeiseen mittaukseen, mutta tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevä bonferroni-korjauksen jälkeen. Myös ärtyneisyyden erotusmuuttujalla havaittiin lähes tilastollisesti merkitsevä ero koetilanteiden A ja B välillä ($Z=-$

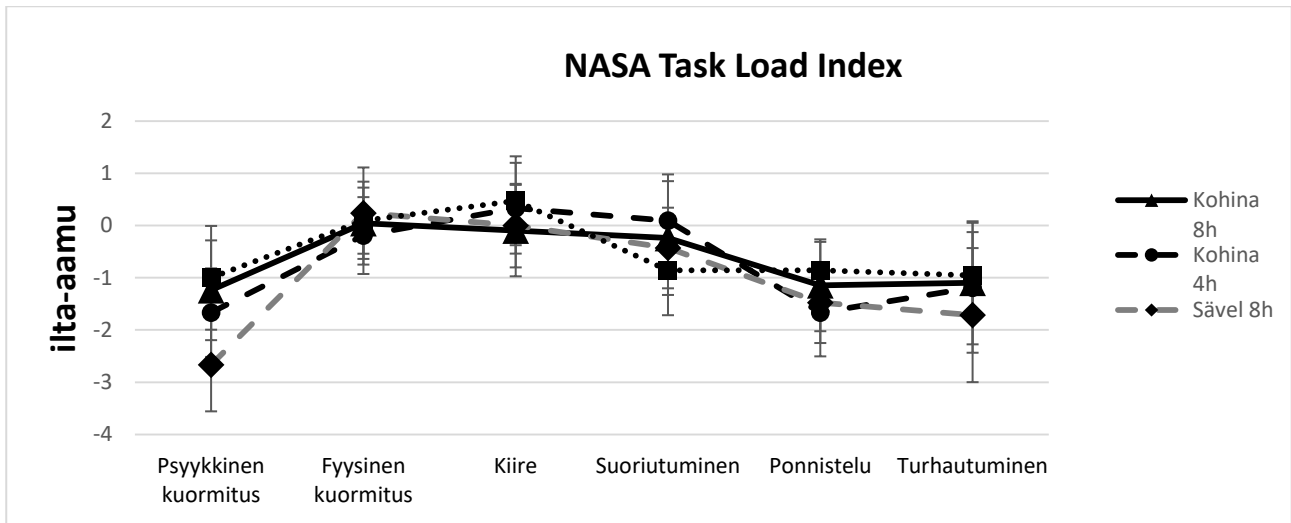
2,035, $p=0,021$). Yön ensimmäisen neljän tunnin ajan esitettyjen kohinapurskeäänien jälkeen koehenkilöt raportoivat vähentynyttä ärtymystä suhteessa illan pistemäärään. Koetilanteessa, jossa kohinapurskeääniä esitettiin koko yön, koehenkilöt raportoivat aamulla korkeampaa ärtymystä kuin illalla, mutta ero näiden koetilanteiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä bonferroni-korjauksen jälkeen. Koetilanne ei siis vaikuttanut koehenkilöiden unenaikaiseen palautumiseen; koehenkilöiden mieliala palautui aamuun mennessä identtisesti riippumatta äänten esittämisestä. POMS-tuloksia on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. POMS summamuuttujista lasketut aamun ja illan välisen erotuksen keskiarvot 95 % luottamusväleillä.

Äänten esittämisen vaikutusta koettuun tehtävien kuormittavuuteen testattiin laskemalla NASA-TLX-muuttujien aamun ja illan pistelukujen välinen erotus ja tutkimalla niiden eroja eri koetilanteissa. Friedmanin testi paljasti tilastollisesti merkitsevän eron ainakin jossakin NASA-TLX-erotusmuuttujista ($\chi^2(27)=64,932$, $p<.001$). NASA-TLX-muuttujien yksisuuntaisia parittaisia vertailuja eri koetilanteiden välillä tehtiin kuudella muuttujalla yhteensä 36 ($6 \times 3 \times 2 \times 1$), joten Wilcoxonin merkittyillä sijaluvuilla tehtyjen post hoc-analyysien merkitsevyytasoksi asetettiin bonferroni-korjauksella $p=0,05/36=0,0014$. Erotusmuuttujien parittaiset vertailut koetilanteiden välillä eivät osoittautuneet tilastollisesti merkitseviksi. Psykkisen kuormittuneisuuden erotusmuuttujalla havaittiin lähes tilastollisesti merkitsevä ero koetilanteiden 1 ja 3 sekä 3 ja 4 välillä ($Z=-2,103$, $p=0,017$; $Z=-2,694$, $p=0,004$). Koehenkilöt raportoivat aamuisin vähemmän tehtävien aiheuttamaa psyykkistä kuormittuneisuutta perkussiosoitinänten esittämisen jälkeen verrattuna hiljaisiin öihin tai öihin, jolloin esitettiin kohinapurskeääniä, mutta tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevä bonferroni-korjauksen jälkeen. Äänten esittäminen ei vaikuttanut tehtävien

aiheuttamaan kuormitukseen vaan ne kuormittivat koehenkilöitä samalla tavalla riippumatta koetilanteesta. Tulokset NASA-TLX-muuttujien osalta on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. NASA-TLX -muuttujista lasketut aamun ja illan välisten erotusten keskiarvot 95 % luottamusväleillä.

3.3. Vaikutus unenlaatuun ja äänen voimakkuuden säätelyn onnistuminen

Koetilanne ei vaikuttanut unen rakenteeseen. Syvän unen minuuttimäärä oli keskimäärin sama kaikissa koetilanteissa ($F(3,60)=2,475$, $p=0,070$, $\eta^2=0,110$). Syvän unen määrän ollessa sama myös hidasaaltoon vaihelukittuja ääniärsykykeitä esitettiin kaikissa koetilanteissa keskimäärin yhtä monta. Univaiheiden luokitukset ovat nähtävissä taulukossa 2.

Taulukko 2. Unen rakenne. Univaiheissa vietetty aika minuuteissa eri koetilanteissa. W=hereillä, R=REM uni, N1 & N2=kevyt uni, N3=syvä uni. Viimeisellä rivillä laskettuna unessa vietetyn ajan suhteellinen osuus koko yöstä.

	Koetilanne			
	Kohina 8h	Kohina 4h	Sävel 8h	Äänetön
W	53,9	40,3	45,8	50,7
R	83,4	82,0	76,5	90,7
N1	27,1	29,6	32,3	26,4
N2	193,0	203,8	197,4	191,8
N3	105,3	117,8	97,7	121,6
Unessa/yö	88 %	91 %	90 %	89 %

Unikyselystä muodostettu summamuuttuja ei noudattanut normaalijakaumaa, joten analyysseissa käytettiin jakaumaoletuksista vapaita tilastollisia menetelmiä.

Asteikolla 1-4 (1=hyvin, 2=melko hyvin, 3=melko huonosti, 4=huonosti) koehenkilöt raportoivat nukkuneensa keskimäärin melko hyvin ($Md=2$). Koetilanteen vaikutusta unenlaatuun tutkittiin Friedmanin testillä. Koetilanteella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta koehenkilöiden subjektiivisesti koettuun unenlaatuun, $\chi^2(3)=4,157$, $p=0,245$. Tutkimuksen edetessä koehenkilöiden subjektiivisesti koettu unenlaatu parani tilastollisesti merkitsevästi, $(\chi^2(3)=10,811$, $p=0,013)$. Wilcoxonin merkityillä sijaluvuilla tehtyjen parittaisten vertailujen merkitsevyystasoksi asetettiin bonferroni-korjauksella $p=0,05/(3 \times 2 \times 1)=0,0083$. Koehenkilöt raportoivat nukkuneensa neljäntenä yönä tilastollisesti merkitsevästi paremmin kuin ensimmäisenä yönä ($Z=-2,931$, $p=0,003$). Myös kolmannen ja ensimmäisen yön välillä havaittiin ero, mutta se ei ollut merkitsevä bonferroni-korjauksen jälkeen ($Z=-2,230$, $p=0,026$). Muidenkaan parittaisten vertailujen osalta tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Unenlaatukyselyn loppuun oli lisätty kysymys, jolla haluttiin selvittää, onnistuiko etukäteen valmistettu algoritmi säätämään äänenvoimakkuuden alle koehenkilön yksilöllisen kuulokynnyksen tämän havahduttua unesta. Kysymys indikoi myös koehenkilöiden sokkouttamisen onnistumista koetilanteen suhteen. Sokkoutuksen onnistumista testattiin χ^2 -yhteensopivuustestillä asettamalla odotettu arvo kunkin koetilanteen kohdalla siihen, miten usein koehenkilöt raportoivat kuulleensa ääniä hiljaisena yönä ($n=4/21$). Koehenkilöt raportoivat kuulleensa ääniä tilastollisesti merkitsevästi useammin koko yön ajan esitettyjen kohinapurskeäänien ($\chi^2(1,21)=4,941$, $p=0,026$) ja koko yön ajan esitettyjen perkussiosoitinäänien aikana ($\chi^2(1,21)=25,015$, $p<0,001$). Koehenkilöt eivät kuulleet hiljaiseen yöhön nähden enemmän ääniä yön ensimmäisen neljän tunnin ajan esitettyjen kohinapurskeäänien aikana ($\chi^2(1,21)=0,309$, $p=0,578$). Algoritmi onnistui siis säätämään äänenvoimakkuutta vielä alkuyöstä, mutta loppuyöstä, kun uni oli oletettavasti kevyempää, koehenkilöt mahdollisesti kuulivat ääniärsykkkeitä havahduttuaan unesta.

4. Pohdinta

Tässä tutkimuksessa selvitettiin aivojen unenaikaiseen hidasaaltotoimintaan vaihelukittujen äänten esittämisen vaikutusta deklaratiivisen ja proseduraalisen muistin tallentumiseen sekä äänten esittämisen mahdollisia haitallisia sivuvaikutuksia unen jälkeiseen mielialaan tai tehtävien kuormittavuuteen. Koehenkilöt nukkuivat unilaboratoriossa elektrodit päähän kiinnitettynä yhteensä neljä yötä, joiden aikana heille esitettiin satunnaisessa järjestyksessä erilaisia ääniä joko koko yön ajan, ensimmäisen neljän tunnin ajan tai ei ollenkaan. Muistisuoritusta mitattiin kahdella deklaratiivisen muistin tehtävällä ja yhdellä proseduraalisen muistin tehtävällä. Unen jälkeistä

palautumista ja tehtävien kuormittavuutta mitattiin mieliala- ja kuormituskyselyillä illalla ja aamulla. Muistiin tallentuminen, unen jälkeinen mieliala ja tehtävien kuormittavuus määriteltiin kussakin tehtävässä illan ja aamun pistemäärien erotuksella. Käytetty menetelmä äänen esittämiseksi oli identtinen tutkimusprojektin aiempiin tutkimuksiin, joissa sen on osoitettu vahvistavan hidasaaltoja (Leminen, 2014).

Äänen esittämisellä ei ollut vaikutusta unenaikaiseen deklaratiiivisen tai proseduraalisen muistin tallentumiseen missään koetilanteessa. Tämä siitä huolimatta, että tässä kokeessa käytetyn äänen esittämisen on aiemmin todettu voimistavan hidasaaltorytmiä (Leminen, 2014). Koetilanne ei myöskään vaikuttanut koehenkilöiden unen jälkeiseen palautumiseen lukuunottamatta tilastollisia trendejä jännittyneisyyttä ja ärtyneisyyttä mittaavilla muuttujilla verrattaessa koko yön kohinapurskeääniä perkussioääniin tai yön ensimmäisen neljän tunnin ääniin, tässä järjestyksessä. Kuormittuneisuusmuuttujilla ei havaittu koetilanteen vaikutusta lukuunottamatta tilastollisia trendejä, joissa perkussioäänten esittämisen jälkeen koehenkilöt kokivat vähemmän psyykkistä kuormitusta kuin kohinapurskeäänien tai hiljaisuuden jälkeen. Unen rakenne ei muuttunut äänen esittämisen seurauksena, mistä ei tosin seuraa, että hidasaaltorytmi ei olisi voinut voimistua. Aiemmissa tutkimuksissa, joissa on tutkittu äänen esittämisen vaikutusta hidasaaltorytmiin, on osoitettu, ettei hidasaaltojen ajallinen määrä lisäännny, vaan niiden amplitudi. Koehenkilöt raportoivat nukkuneensa yhtä hyvin riippumatta koetilanteesta, vaikka he nukkuivatkin subjektiivisesti arvioituna paremmin myöhempinä koeöinä. Koehenkilöt myös kuuluivat äänet useammin, jos niitä esitettiin koko yön ajan verrattuna yön ensimmäiseen neljään tuntiin.

Sanapari- ja sorminaputtelutehtävissä koehenkilöiden suoriutuminen kyllä parani yön jälkeen, mutta paraneminen oli saman suuruista riippumatta koetilanteesta. Nimimuistitehtävässä suoriutuminen ei parantunut merkittävästi yön aikana, joten deklaratiiivisen muistin laajempaan arviointiin on tulevaisuudessa syytä käyttää unen vaikutuksille sensitiivisempää tehtävää. Saure (2013) raportoi koehenkilöiden sorminaputtelusuoritusten parantuneen unen aikaisten äänen esittämisen jälkeen, kun aamun suoritusta verrattiin kunkin koehenkilön iltojen keskiarvoon. Tässä tutkimuksessa ei vastaavaa tulosta löydetty. Myöskään Leminen (2014) ei havainnut äänen unen aikaisella esittämisellä olevan vaikutusta sorminaputtelutehtävässä suoriutumiseen.

Ngo ym. (2013b; 2015) raportoivat parantuneesta deklaratiiivisesta muistisuoriutumisesta vastaavassa assosioituvien sanaparien tehtävissä unen aikaisten äänen esittämisen jälkeen. Tämän tutkimuksen tulokset kyseisessä tehtävässä olivat samansuuntaisia kuin Ngo ym., mutta eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Heidän kokeessaan koehenkilöt muistivat kohinapurskeäänten esittämisen

jälkeen $22 \pm 2,3$ sanaparia ja hiljaisen yön jälkeen $13 \pm 2,5$ sanaparia enemmän illalla kuin aamulla. Tässä kokeessa vastaavat luvut olivat $19,6 \pm 4,8$ ja $18,6 \pm 4$. Osa tässä tutkimuksessa käytetyistä sanalistoista oli käännetty Ngon ja kumppanien (2013b) saksankielisestä tutkimuksesta. On mahdollista, että sanalistojen kääntäminen on muuttanut tehtävää. Aineiston keruun jälkeen selvisikin, että osa sanalistoista olivat erilaisia yhdessä unilaboratorion kolmesta tietokoneesta. Mukana oli sanoja, jotka oli käännetty suoraan saksankielisestä listasta ja sanoja, joiden merkityksellisyys oli huolellisemmin tarkistettu (Brandt, tekeillä oleva pro gradu –tutkielma). Lisäksi näissä listoissa oli päällekkäisiä sanoja siten, että sama sana saattoi olla yhteydessä kahteen muuhun sanaan, esimerkiksi ”instrumentti – oboe” ja ”soitin – oboe”, mikä voi perustellusti olettaa aiheuttavan tarpeetonta sekaannusta tehtävää tehdessä.

Myös tämän tutkimusprojektin aiemmassa osatutkimuksessa raportoitiin deklaratiivisen muistin parantuneen vastaavassa tehtävässä äänen esittämisen jälkeen (Leminen, 2014). Saure (2013) puolestaan raportoi proseduraalisen, mutta ei deklaratiivisen, muistisuoriutumisen parantuneen äänen esittämisen jälkeen. Lemisen (2014) mukaan muistin tallentuminen saadaan assosioituvien sanaparien tehtävässä näkyviin vain, mikäli koehenkilöt saavat sanoja opetellessa palautteena oikean vastauksen, mitä ei Sauren (2013) tutkimuksessa annettu. Tämän tutkimuksen tulokset olivat kuitenkin saman suuntaiset Sauren (2013) tutkimuksen kanssa, vaikka tässä tutkimuksessa koehenkilöt saivatkin palautteena oikean vastauksen. Deklaratiivisen muistin osalta eroja Lemisen (2014) tutkimukseen saattaa selittää tähän osatutkimukseen muutettu assosioituvien sanaparien tehtävän ohjeistus. Osalla koehenkilöistä kului aiemmissa kokeissa liikaa aikaa assosioituvien sanaparien tehtävän tekemiseen, joten tässä heitä kannustettiin menemään eteenpäin, mikäli vastausta ei pian vihjeen esittämisen jälkeen tullut mieleen. Siksi on mahdollista, että tähän osatutkimukseen muutettu tehtävien ohjeistus johti tilanteeseen, jossa koehenkilöt eivät suoriutuneet parhaan kykynsä mukaan vaan he priorisoivat nopeutta tarkkuuden ja huolellisuuden kustannuksella. Tulevissa tutkimuksissa assosioituvien sanaparien tehtävässä koehenkilöiden suoriutumisen vaihtelua voisi pienentää ohjeistamalla heitä käyttämään tiettyä samaa muististrategiaa. Yksi aiemmissa tutkimuksissa käytetty strategia on sanojen välisen yhteyden visualisoiminen (Wilson, Baran, Pace-Schott, Ivry & Spencer, 2012). Tässä tutkimuksessa koehenkilöiden välillä oli myös suurempaa vaihtelua muistisuoriutumisessa kuin Lemisen kokeessa (tässä tutkimuksessa keskiharjonta koko yön kohinapurskeäänillä ja hiljaisena yönä olivat $11,5$ ja $9,5$, kun taas Lemisen kokeessa vastaavat luvut olivat $7,7$ ja $8,1$), mikä pienensi tämän tutkimuksen analyysien voimaa.

Leminen (2014) raportoi koehenkilöiden olleen jännittyneempiä äänten esittämisen jälkeen verrattuna hiljaiseen yöhön. Tulosta ei onnistuttu toistamaan tässä tutkimuksessa. Vaikka tulokset olivat samansuuntaisia (jännittyneisyyden ja ärtyneisyyden erot olivat suurimpia POMS-mielialamuuttujista), eivät erot saavuttaneet tilastollista merkitsevyyttä. On kuitenkin huomioitava, että itse valitun perkussioäänen vaikutukset olivat muistitehtävissä identtiset kohinapurskeäänien kanssa, joten jatkotutkimuksissa vaikuttaisi olevan perusteltua vähentää haitallisten sivuvaikutusten todennäköisyyttä käyttämällä miellyttävämmiksi koettuja perkussioääniä.

Äänten esittämisen vaikutusta muistiin ja mielialaan ei onnistuttu tässä tutkimuksessa toistamaan, mikä on yllättävää, sillä tämän tutkimuksen otoskoko oli tähän asti tehdyistä tutkimuksista suurin, yhteensä 21 koehenkilöä, jolloin efektin havaitsemisen todennäköisyyden pitäisi kasvaa. Ngon ja kumppanien tutkimuksissa otoskoot olivat 11 (2013b) ja vuoden 2015 tutkimuksen ensimmäisessä osassa otoskoko oli 18 ja toisessa osassa 16 (2015). Lemisen (2014) tutkimuksessa otoskoko oli 15 ja Sauren (2013) otoskoko oli 10. Kaikissa näissä tutkimuksissa koehenkilöt koostuivat terveistä aikuisista, joilla ei ollut aiempaa historiaa unihäiriöistä tai muista neurologisista häiriöistä. Saure (2013) ehdotti tutkimuksessaan, että unen aikaisten äänten esittämisen vaikutus saattaisi olla ikäryhmästä riippuvaista. Tämän tutkimuksen otoksen ikäjakaumassa olikin suurempaa vaihtelua kuin aiemmissa kokeissa. Aineiston analyyseissa iän vaikutus kuitenkin kontrolloitiin jakamalla aineisto iän perusteella kahteen ryhmään, alle ja yli 26-vuotiaat, ja lisäämällä ikäryhmä koehenkilöiden väliseksi muuttujaksi. Erot tämän tutkimusprojektin aiempien kokeiden tuloksiin ovat vaikeampia selittää kuin Ngon ym. tuloksiin, koska koeasetelmat olivat käytännössä identtiset tämän tutkimusprojektin kaikissa osatutkimuksissa. Sauren (2013) ja Lemisen (2014) tutkimuksissa tosin käytettiin adaptaatioyötä, jonka aikana koehenkilöt nukkuivat unilaboratoriossa elektrodit kiinnitettyinä, mutta heille ei esitetty ääniä eikä heidän tarvinnut tehdä muistitehtäviä.

Tarkoituksena oli vain tutustua normaalista poikkeavaan unijärjestelyyn. Tässä tutkimuksessa adaptaatioyötä ei käytetty, koska koetilanteiden järjestys satunnaistettiin kullekin koehenkilölle, jolloin normaalista poikkeavan unijärjestelyn vaikutus voitiin kontrolloida. Koehenkilöt kuitenkin raportoivat nukkuneensa huomattavasti huonommin ensimmäisenä yönä verrattuna viimeiseen yöhön, joten jatkotutkimuksissa voisi olla perusteltua tarjota mahdollisuus totutteluyöhön.

Ngon ja kumppaneiden (2013a; 2013b; 2015) tutkimuksissa oli joitain eroja tähän tutkimukseen. Heidän kokeissa koehenkilöt nukkuivat unilaboratoriossa ennen varsinaista koetta totutteluyön ja äänet esitettiin koehenkilöille kuulokkeiden kautta. Tässä tutkimuksessa käytetty kaiutinjärjestelmä saattoi johtaa siihen, että koehenkilön asento vaikutti olennaisesti siihen, oliko ääniärsyke riittävän

voimakas intensiteetiltään. Lisäksi tässä tutkimuksessa äänenvoimakkuutta säädeltiin etukäteen tehdyllä ohjelmalla, mitä ei Ngon ja kumppanien tutkimuksissa tehty. He käyttivät tasaista 55 dB äänenvoimakkuutta, kun taas tässä tutkimuksessa jokaiselle koehenkilölle äänenvoimakkuus asetettiin yksilöllisen kuulokynnyksen perusteella. On mahdollista, että tässä tutkimuksessa ei täyttynyt Bellesin ja kumppaneiden (2014) esittämä ehto ääniärsyksen laadusta äänenvoimakkuuden osalta. Vastaavaa asetelmaa ja äänenvoimakkuuden mukauttamista univaiheeseen on kuitenkin käytetty onnistuneesti aiemminkin. Äänen esittäminen kuulokkeista tasaisella äänenvoimakkuudella saattaisi kuitenkin jatkotutkimuksissa maksimoida äänen esittämisen vaikutukset hidasaaltorytmiin. Tässä tutkimuksessa äänenvoimakkuuden automaattinen säätely ei tuottanut merkittävää etua, sillä koehenkilöt raportoivat kuulleensa äänet siitä huolimatta varsinkin yön aamupuolella, mikä tukee Halászín ym. (2014) ajatusta siitä, että unen tarpeen vähentyessä äänet herättävät unesta herkemmin. Ngo ym. esittivät koehenkilöille ääniä vain yön ensimmäisen 210 minuutin ajan. Tässä tutkimuksessa ääniä esitettiin joko koko yön ajan tai yön ensimmäisen 240 minuutin ajan. Tulokset muistitehtävissä olivat tässä tutkimuksessa kuitenkin samansuuntaisia riippumatta äänen esittämisen ajan pituudesta. Saattaa kuitenkin olla, että optimaalisin aika äänen esittämiselle on alkuyöstä, jolloin syvän unen määrä on suurimmillaan.

Tämän tutkimuksen tuloksia voi tulkita kahdella tavalla. Yksi mahdollisuus on, että äänen esittäminen ei vaikutakaan hidasaaltorytmiin ja siksi menetelmän muistivaikutuksia ei voida havaita. Menetelmän vaikutus hidasaaltorytmiin on kuitenkin osoitettu useissa eri tutkimuksissa (Tononi ym., 2010; Ngo, 2013a; Leminen, 2014). Toinen mahdollisuus on, että äänen esittäminen vaikuttaa hidasaaltorytmiin, mutta sen yhteys muistisuoriutumisen paranemiseen ei olekaan todellinen, jolloin aiempien tutkimusten tulokset ovat tyypin I virheitä, tai yhteyttä ei nyt saatu esiin edellä mainittujen koeasetelman ongelmien vuoksi. Merkittäviä psykologian ja sosiaalitieteiden tutkimustuloksia on testattu viime aikoina laajoissa toistoprojekteissa, joissa on epäonnistuttu siinä määrin, että psykologian tieteellistä uskottavuutta on kyseenalaistettu (Open Science Collaboration, 2015). Ei siis olisi poissuljettua, jos aiemmin julkaistut tutkimustulokset unenaikaisesti esitettyjen äänen muistivaikutuksista osoittautuisivat myöhemmissä toistokokeissa virheellisiksi. On myös mahdollista, että unenaikaisten äänen esittäminen parantaa muistin tallentumista vain tietyllä ryhmällä ja erot aiempiin tuloksiin johtuvat tämän tutkimuksen laajemmasta ikäjakaumasta. Tulevissa tutkimuksissa voitaisiin esimerkiksi testata stimulaation vaikutusta eri ikäryhmillä, kuten Saure (2013) ehdotti, jotta tällainen ryhmä voitaisiin tunnistaa.

Toimiva menetelmä unenaikaisen hidasaaltorytmin voimistamiseen ei välttämättä löydy äänen

avulla. Tavoite on arvokas, sillä hidasaaltorytmin on viime vuosina havaittu olevan unen palauttavien vaikutusten ja erityisesti muistin toiminnan kannalta keskeistä. Toimiva menetelmä saattaa kuitenkin löytyä jonkun muun aistin kuin kuulon kautta tai sähköisellä stimulaatiolla, kuten Tononi ym. (2010) ehdottavat.

Kokonaisuudessaan vaikuttaisi siltä, että syvän unen aikaiseen hidasaaltoon vaihelukitun äänen esittämisen muistivaikutuksen efektikoko on oletettua pienempi, ja että mahdollisesti se näkyy vain tietyillä ihmisillä. Tässä tutkimuksessa verrattiin tietävästi ensimmäistä kertaa erilaisten äänten ja esitysaikojen vaikutusta muistiin ja mielialaan. Vaikka millään äänillä ei havaittu tässä tutkimuksessa efektiä, kohinapurskeäänten esittämisellä ei ollut etua perkussioääniin verrattuna, joten tulevissa tutkimuksissa on syytä käyttää subjektiivisesti miellyttävämmiksi koettuja ääniä, jolloin äänten esittämisen haitalliset sivuvaikutukset saattavat olla lievempiä. Äänten esittäminen koko yön ajan ei myöskään eronnut alkuyön äänten esittämisestä, joten tulevissa tutkimuksissa on perusteltua ajoittaa perkussioäänet vain alkuyöhön, jolloin minimoidaan mahdollisuus, että koehenkilöt kuulevat äänet kesken yön. Koehenkilöt havaitsivat ääniärsykkeet unen aikana, jos niitä esitettiin koko yön ajan, mikä tarkoittaa, että äänenvoimakkuutta säätelevä algoritmi ei tunnistanut koehenkilöiden heräämisiä tarpeeksi tehokkaasti. Tästäkin syystä tulevissa tutkimuksissa on perusteltua esittää ääniä vain alkuyöstä. On mahdollista, että yksilöllisen kuulokynnyksen asettaminen ja äänten esittäminen kaiuttimien kautta hiljensi äänenvoimakkuutta siinä määrin, etteivät äänet kyenneet aiheuttamaan riittävän suuren neuronijoukon yhteisaktivaatiota ja siten hidasaallon syntyä. Jatkotutkimuksissa olisi siis syytä vakioda äänenvoimakkuus ja mahdollisesti käyttää esitysmenetelmänä kuulokkeita kaiuttimien sijaan.

Aiemmissa kokeissa unen aikaisten äänten esittämisen muistivaikutus on havaittu nimenomaan semanttista prosessointia vaativissa tehtävissä. Olisi kuitenkin mielenkiintoista arvioida sen vaikutusta laajemmin muistiin ja kognitioon, esimerkiksi työmuistitehtävässä (esim. n-back), visuospatiaalisissa tehtävissä (piirtäminen mallin mukaan), reaktionopeutta vaativissa tehtävissä tai episodisen muistin tehtävissä (tunnistustehtävä). Mikäli unenaikaisesti esitettyjen äänten oletetaan voimistavan hidasaaltorytmiä, synaptisen hypoteesin mukaisesti ihmisen oppimiskyvyn tulisi parantua äänten esittämisen jälkeen. Myös tätä voitaisiin testata koeasetelmassa, jossa koehenkilöille esitettäisiin uutta opittavaa materiaalia heti unen jälkeen.

Tämä tutkimus on tuonut arvokasta tietoa unenaikaiseen muistijäljen vahvistamiseen tähtäävään menetelmään liittyen ja tulevaisuudessa tuleekin keskittyä huomioimaan erityisesti äänten esitystapa, esitysaikat ja äänten koettu miellyttävyys

Lähteet

Abel, T., Havekes, R., Saletin, J. M. & Walker, M. P. (2013). Sleep, plasticity and memory from molecules to whole-brain networks. *Current biology*, 23, R774-R788.

Ahonen, L., Gröhn, M., Huotilainen, M., Jagadeesan, S., Paunio, T. & Virkkala, J. (2013). Designing auditory stimulus for sleep enhancement. *In Proceedings of the 19th International Conference of Auditory Display (ICAD 2013)*, Lodz, PL, 2013.

Andrade, K. C., Spoormaker, V. I., Dresler, M., Wehrle, R., Holsboer, F., Sämann, P. G. & Czisch, M. (2011). Sleep spindles and hippocampal functional connectivity in human NREM sleep. *The Journal of Neuroscience*, 31, 10331-10339.

Antonenko, D., Diekelmann, S., Olsen, C., Born, J. & Mölle, M. (2013). Napping to renew learning capacity: enhanced encoding after stimulation of sleep slow oscillations. *European Journal of Neuroscience*, 37, 1142-1151.

Antony, J. W., Gobel, E. W., O'Hare, J. K., Reber, P. J. & Paller, K. A. (2012). Cued memory reactivation during sleep influences skill learning. *Nature neuroscience*, 15, 1114-1116.

Axmacher, N., Elger, C. E. & Fell, J. (2008). Ripples in the medial temporal lobe are relevant for human memory consolidation. *Brain*, 131, 1806-1817.

Backhaus, J. & Junghanns, K. (2006). Daytime naps improve procedural motor memory. *Sleep medicine*, 7, 508-512.

Backhaus, J., Born, J., Hoeckesfeld, R., Fokuhl, S., Hohagen, F. & Junghanns, K. (2007). Midlife decline in declarative memory consolidation is correlated with a decline in slow wave sleep. *Learning & memory*, 14, 336-341.

Barakat, M., Doyon, J., Debas, K., Vandewalle, G., Morin, A., Poirier, G., Martin, N., Lafortune, M., Karni, A., Ungerleider, L. G., Benali, H. & Carrier, J. (2011). Fast and slow spindle involvement in the consolidation of a new motor sequence. *Behavioural brain research*, 217, 117-121.

Battaglia, F. P., Sutherland, G. R. & McNaughton, B. L. (2004). Hippocampal sharp wave bursts coincide with neocortical "up-state" transitions. *Learning & Memory*, 11, 697-704.

- Bayer, L., Constantinescu, I., Perrig, S., Vienne, J., Vidal, P. P., Mühlethaler, M. & Schwartz, S. (2011). Rocking synchronizes brain waves during a short nap. *Current Biology*, *21*, R461-R462.
- Bear, M. F. & Malenka, R. C. (1994). Synaptic plasticity: LTP and LTD. *Current opinion in neurobiology*, *4*, 389-399.
- Bellesi, M., Riedner, B. A., Garcia-Molina, G. N., Cirelli, C., & Tononi, G. (2014). Enhancement of sleep slow waves: underlying mechanisms and practical consequences. *Frontiers in systems neuroscience*, *8*, 208.
- Bierwolf, C., Struve, K., Marshall, L., Born, J. & Fehm, H. L. (1997). Slow Wave Sleep Drives Inhibition of Pituitary-Adrenal Secretion in Humans. *Journal of neuroendocrinology*, *9*, 479-484.
- Binder, S., Berg, K., Gasca, F., Lafon, B., Parra, L. C., Born, J. & Marshall, L. (2014). Transcranial slow oscillation stimulation during sleep enhances memory consolidation in rats. *Brain stimulation*, *7*, 508-515.
- Bontempi, B., Laurent-Demir, C., Destrade, C. & Jaffard, R. (1999). Time-dependent reorganization of brain circuitry underlying long-term memory storage. *Nature*, *400*, 671-675.
- Born, J. & Wilhelm, I. (2012). System consolidation of memory during sleep. *Psychological research*, *76*, 192-203.
- Buzsáki, G. (1996). The hippocampo-neocortical dialogue. *Cerebral cortex*, *6*, 81-92.
- Campbell, I. G. & Feinberg, I. (2009). Longitudinal trajectories of non-rapid eye movement delta and theta EEG as indicators of adolescent brain maturation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*, 5177-5180.
- Caporro, M., Haneef, Z., Yeh, H. J., Lenartowicz, A., Buttinelli, C., Parvizi, J. & Stern, J. M. (2012). Functional MRI of sleep spindles and K-complexes. *Clinical neurophysiology*, *123*, 303-309.
- Carr, M. F., Jadhav, S. P. & Frank, L. M. (2011). Hippocampal replay in the awake state: a potential substrate for memory consolidation and retrieval. *Nature neuroscience*, *14*, 147-153.
- Chauvette, S., Seigneur, J. & Timofeev, I. (2012). Sleep oscillations in the thalamocortical system induce long-term neuronal plasticity. *Neuron*, *75*, 1105-1113.

- Clemens, Z., Mölle, M., Erőss, L., Barsi, P., Halász, P., & Born, J. (2007). Temporal coupling of parahippocampal ripples, sleep spindles and slow oscillations in humans. *Brain*, *130*, 2868-2878.
- Clemens, Z., Mölle, M., Erőss, L., Jakus, R., Rásonyi, G., Halász, P., & Born, J. (2011). Fine-tuned coupling between human parahippocampal ripples and sleep spindles. *European Journal of Neuroscience*, *33*, 511-520.
- Cox, R., Hofman, W. F., & Talamini, L. M. (2012). Involvement of spindles in memory consolidation is slow wave sleep-specific. *Learning & Memory*, *19*, 264-267.
- Cox, R., Korjoukov, I., de Boer, M., & Talamini, L. M. (2014a). Sound asleep: processing and retention of slow oscillation phase-targeted stimuli. *PloS one*, *9*, e101567.
- Cox, R., van Driel, J., de Boer, M. & Talamini, L. M. (2014b). Slow oscillations during sleep coordinate interregional communication in cortical networks. *The Journal of Neuroscience*, *34*, 16890-16901.
- Crunelli, V., David, F., Lőrincz, M. & Hughes, S. W. (2015). The Thalamocortical Network as a Single Slow Wave-Generating Unit. *Current Opinion in Neurobiology*, *31*, 72-80.
- Curran, S. L., Andrykowski, M. A. & Studts, J. L. (1995). Short form of the Profile of Mood States (POMS-SF): Psychometric information. *Psychological assessment*, *7*, 80.
- Diekelmann, S., Wilhelm, I. & Born, J. (2009). The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep medicine reviews*, *13*, 309-321.
- Diekelmann, S. & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*, 114-126.
- Diekelmann, S., Biggel, S., Rasch, B. & Born, J. (2012). Offline consolidation of memory varies with time in slow wave sleep and can be accelerated by cuing memory reactivations. *Neurobiology of learning and memory*, *98*, 103-111.
- Diekelmann, S. (2014). Sleep for cognitive enhancement. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *8*, 46.
- Dresler, M., Kluge, M., Genzel, L., Schüssler, P. & Steiger, A. (2010). Impaired off-line memory consolidation in depression. *European Neuropsychopharmacology*, *20*, 553-561.

- Dresler, M., Sandberg, A., Ohla, K., Bubltz, C., Trenado, C., Mroczko-Wąsowicz, A., Kühn, S. Kühn & Repantis, D. (2013). Non-pharmacological cognitive enhancement. *Neuropharmacology*, *64*, 529-543.
- Drosopoulos, S., Wagner, U. & Born, J. (2005). Sleep enhances explicit recollection in recognition memory. *Learning & Memory*, *12*, 44-51.
- Durmer, J. S., & Dinges, D. F. (2005, March). Neurocognitive consequences of sleep deprivation. In *Seminars in neurology*, *25*, 117-129. Thieme Medical Publishers, Inc., 333 Seventh Avenue, New York, NY 10001, USA.
- Ekstrom, A. D., Kahana, M. J., Caplan, J. B., Fields, T. A., Isham, E. A., Newman, E. L. & Fried, I. (2003). Cellular networks underlying human spatial navigation. *Nature*, *425*, 184-188.
- Eschenko, O., Ramadan, W., Mölle, M., Born, J. & Sara, S. J. (2008). Sustained Increase in Hippocampal Sharp-Wave Ripple Activity During Slow-Wave Sleep After Learning. *Learning & Memory*, *15*, 222-228.
- Fogel, S. M. & Smith, C. T. (2011). The function of the sleep spindle: a physiological index of intelligence and a mechanism for sleep-dependent memory consolidation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *35*, 1154-1165.
- Fortier-Brochu, É., Beaulieu-Bonneau, S., Ivers, H. & Morin, C. M. (2012). Insomnia and daytime cognitive performance: a meta-analysis. *Sleep medicine reviews*, *16*, 83-94.
- Gais, S. & Born, J. (2004a). Declarative memory consolidation: mechanisms acting during human sleep. *Learning & Memory*, *11*, 679-685.
- Gais, S. & Born, J. (2004b). Low acetylcholine during slow-wave sleep is critical for declarative memory consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *101*, 2140-2144.
- Gais, S., Lucas, B. & Born, J. (2006). Sleep after learning aids memory recall. *Learning & Memory*, *13*, 259-262.
- Gais, S., Albouy, G., Boly, M., Dang-Vu, T. T., Darsaud, A., Desseilles, M., Rauchs, G., Schabus, M., Sterpenich, V., Vandewalle, G., Maquet, P. & Peigneux, P. (2007). Sleep transforms the

cerebral trace of declarative memories. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*, 18778-18783.

Genzel, L., Dresler, M., Wehrle, R., Grözinger, M. & Steiger, A. (2009). Slow wave sleep and REM sleep awakenings do not affect sleep dependent memory consolidation. *Sleep*, *32*, 302-10.

Girardeau, G. & Zugaro, M. (2011). Hippocampal ripples and memory consolidation. *Current opinion in neurobiology*, *21*, 452-459.

Göder, R., Boigs, M., Braun, S., Friege, L., Fritzer, G., Aldenhoff, J. B. & Hinze-Selch, D. (2004). Impairment of visuospatial memory is associated with decreased slow wave sleep in schizophrenia. *Journal of psychiatric research*, *38*, 591-599.

Göder, R., Baier, P. C., Beith, B., Baecker, C., Seeck-Hirschner, M., Junghanns, K. & Marshall, L. (2013). Effects of transcranial direct current stimulation during sleep on memory performance in patients with schizophrenia. *Schizophrenia research*, *144*, 153-154.

Halász, P., Bódizs, R., Parrino, L. & Terzano, M. (2014). Two Features of Sleep Slow Waves: Homeostatic and Reactive aspects – from Long Term to Instant Sleep Homeostasis. *Sleep Medicine*. *15*, 1184-1195.

Halász, P. (2016). The K-complex as a special reactive sleep slow wave—A theoretical update. *Sleep medicine reviews*, *29*, 34-40.

Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, *52*, 139-183.

Hasselmo, M. E. (1999). Neuromodulation: acetylcholine and memory consolidation. *Trends in cognitive sciences*, *3*, 351-359.

Hoedlmoser, K., Pecherstorfer, T., Gruber, G., Anderer, P., Doppelmayr, M., Klimesch, W. & Schabus, M. (2008). Instrumental conditioning of human sensorimotor rhythm (12–15 Hz) and its impact on sleep as well as declarative learning. *Sleep*, *31*, 1401.

Holz, J., Piosczyk, H., Feige, B., Spiegelhalder, K., Baglioni, C., Riemann, D. & Nissen, C. (2012). EEG sigma and slow-wave activity during NREM sleep correlate with overnight declarative and procedural memory consolidation. *Journal of sleep research*, *21*, 612-619.

- Huber, R., Ghilardi, M. F., Massimini, M. & Tononi, G. (2004). Local sleep and learning. *Nature*, 430, 78-81.
- Ji, D. & Wilson, M. A. (2007). Coordinated memory replay in the visual cortex and hippocampus during sleep. *Nature neuroscience*, 10, 100-107.
- Korman, M., Doyon, J., Doljansky, J., Carrier, J., Dagan, Y. & Karni, A. (2007). Daytime sleep condenses the time course of motor memory consolidation. *Nature neuroscience*, 10, 1206-1213.
- Kudrimoti, H. S., Barnes, C. A. & McNaughton, B. L. (1999). Reactivation of hippocampal cell assemblies: effects of behavioral state, experience, and EEG dynamics. *The Journal of Neuroscience*, 19, 4090-4101.
- Lahl, O., Wispel, C., Willigens, B. & Pietrowsky, R. (2008). An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *Journal of sleep research*, 17, 3-10.
- Landmann, N., Kuhn, M., Piosczyk, H., Feige, B., Baglioni, C., Spiegelhalder, K., Frase, L., Riemann, D., Sterr, A. & Nissen, C. (2014). The Organisation of Memory During Sleep. *Sleep Medicine Reviews*, 18, 531-541.
- Landsness, E. C., Crupi, D., Hulse, B. K., Peterson, M. J., Huber, R., Ansari, H., Coen, M., Cirelli, C., Benca, R. M., Ghilardi, M. F. & Tononi, G. (2009). Sleep-dependent improvement in visuomotor learning: a causal role for slow waves. *Sleep*, 32, 1273-1284.
- Lechner, H. A., Squire, L. R. & Byrne, J. H. (1999). 100 years of consolidation—remembering Müller and Pilzecker. *Learning & Memory*, 6, 77-87.
- Leminen, M. M. (2014). Delta-aaltoon vaihelukitun äänistimulaation vaikutukset muistin konsolidoitumiseen unen aikana. Psykologian pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto.
- Leminen, M., Ahonen, L., Gröhn, M., Huotilainen, M., Paunio, T. & Virkkala, J. (2014, June). Comparing Auditory Stimuli for Sleep Enhancement: Mimicking a Sleeping Situation. In *20th International Conference on Auditory Display (ICAD2014)*, New York, US, 2014.
- Lustenberger, C., Maric, A., Dürr, R., Achermann, P. & Huber, R. (2012). Triangular Relationship between Sleep Spindle Activity, General Cognitive Ability and the Efficiency of Declarative Learning. *PLoS One*, 7, e49561.

- Lüthi, A. (2014). Sleep Spindles: Where They Come From, What They Do. *The Neuroscientist*, 20, 243-256.
- Marshall, L., Helgadóttir, H., Mölle, M. & Born, J. (2006). Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory. *Nature*, 444, 610-613.
- Marshall, L., & Born, J. (2007). The contribution of sleep to hippocampus-dependent memory consolidation. *Trends in cognitive sciences*, 11, 442-450.
- Massimini, M., Ferrarelli, F., Esser, S. K., Riedner, B. A., Huber, R., Murphy, M., Peterson, M. J. & Tononi, G. (2007). Triggering sleep slow waves by transcranial magnetic stimulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 8496-8501.
- McGaugh, J. L. (2000). Memory--a century of consolidation. *Science*, 287, 248-251.
- Mehta, M. R. (2007). Cortico-hippocampal interaction during up-down states and memory consolidation. *Nature neuroscience*, 10, 13-15.
- Morin, A., Doyon, J., Dostie, V., Barakat, M., Hadj Tahar, A., Korman, M., Benali, H., Karni, A., Ungerleider, L. G. & Carrier, J. (2008). Motor sequence learning increases sleep spindles and fast frequencies in post-training sleep. *Sleep*, 31, 1149-1156.
- Moser, E. I., Kropff, E. & Moser, M. B. (2008). Place cells, grid cells, and the brain's spatial representation system. *Neuroscience*, 31, 69.
- Möller, M., Marshall, L., Gais, S. & Born, J. (2002). Grouping of spindle activity during slow oscillations in human non-rapid eye movement sleep. *The Journal of neuroscience*, 22, 10941-10947.
- Möller, M., Marshall, L., Gais, S. & Born, J. (2004). Learning increases human electroencephalographic coherence during subsequent slow sleep oscillations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 13963-13968.
- Möller, M., Eschenko, O., Gais, S., Sara, S. J. & Born, J. (2009). The Influence of Learning on Sleep Slow Oscillations and Associated Splindles and Ripples in Humans and Rats. *European Journal of Neuroscience*, 29, 1071-1081.

Möller, M., Bergmann, T. O., Marshall, I. & Born, J. (2011). Fast and slow spindles during the sleep slow oscillation: disparate coalescence and engagement in memory processing. *Sleep*, *34*, 1411-1421.

Möller, M. & Bergmann, T. O., Marshall, I. & Born, J. (2011). Fast and slow spindles during the sleep slow oscillation: disparate coalescence and engagement in memory processing. *Sleep*, *34*, 1411-1421.

Ngo, H. V. V., Claussen, J. C., Born, J. & Möller, M. (2013a). Induction of slow oscillations by rhythmic acoustic stimulation. *Journal of sleep research*, *22*, 22-31.

Ngo, H. V. V., Martinetz, T., Born, J. & Möller, M. (2013b). Auditory closed-loop stimulation of the sleep slow oscillation enhances memory. *Neuron*, *78*, 545-553.

Ngo, H. V. V., Miedema, A., Faude, I., Martinetz, T., Möller, M. & Born, J. (2015). Driving Sleep Slow Oscillations by Auditory Closed-Loop Stimulation—A Self-Limiting Process. *The Journal of Neuroscience*, *35*, 6630-6638.

Nishida, M. & Walker, M. P. (2007). Daytime naps, motor memory consolidation and regionally specific sleep spindles. *PLoS one*, *2*, e341.

Open Science Collaboration. (2015). Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, *349*, aac4716.

Oudiette, D., Santostasi, G. & Paller, K. A. (2013). Reinforcing rhythms in the sleeping brain with a computerized metronome. *Neuron*, *78*, 413-415.

Payne, J. D., Tucker, M. A., Ellenbogen, J. M., Wamsley, E. J., Walker, M. P., Schacter, D. L. & Stickgold, R. (2012). Memory for semantically related and unrelated declarative information: the benefit of sleep, the cost of wake. *PLoS One*, *7*, e33079.

Peyrache, A., Khamassi, M., Benchenane, K., Wiener, S. I. & Battaglia, F. P. (2009). Replay of rule-learning related neural patterns in the prefrontal cortex during sleep. *Nature neuroscience*, *12*, 919-926.

Power, A. E. (2004). Slow-wave sleep, acetylcholine, and memory consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *101*, 1795-1796.

- Prehn-Kristensen, A., Munz, M., Göder, R., Wilhelm, I., Korr, K., Vahl, W., Wiesner, C. D. & Baving, L. (2014). Transcranial oscillatory direct current stimulation during sleep improves declarative memory consolidation in children with attention-deficit/hyperactivity disorder to a level comparable to healthy controls. *Brain stimulation*, 7, 793-799.
- Rasch, B., Büchel, C., Gais, S. & Born, J. (2007). Odor cues during slow-wave sleep prompt declarative memory consolidation. *Science*, 315, 1426-1429.
- Rasch, B., Pommer, J., Diekelmann, S. & Born, J. (2009). Pharmacological REM sleep suppression paradoxically improves rather than impairs skill memory. *Nature neuroscience*, 12, 396-397.
- Rasch, B. & Born, J. (2013). About sleep's role in memory. *Physiological reviews*, 93, 681-766.
- Rauchs, G., Feyers, D., Landeau, B., Bastin, C., Luxen, A., Maquet, P. & Collette, F. (2011). Sleep contributes to the strengthening of some memories over others, depending on hippocampal activity at learning. *The Journal of Neuroscience*, 31, 2563-2568.
- Rihm, J. S., Diekelmann, S., Born, J. & Rasch, B. (2014). Reactivating memories during sleep by odors: odor specificity and associated changes in sleep oscillations. *Journal of cognitive neuroscience*, 26, 1806-1818.
- Robins, J., Rocha, D., Savage, C. T., Thomas, M., Molgard, B., Jacobson, J., Gasecki, A. & Spriggs, W. (2008). Principles of Polysomnography: A Complete Training Program for Sleep Technicians. Salt Lake City, UT: The Sleep Institute of Utah, LLC.
- Sahlem, G. L., Badran, B. W., Halford, J. J., Williams, N. R., Korte, J. E., Leslie, K., Strachan, M., Breedlove, J. L., Runion, J., Bachman, D. L., Uhde, T. W. Borkardt, J. J. & George, M. S. (2015). Oscillating square wave transcranial direct current stimulation (tDCS) delivered during slow wave sleep does not improve declarative memory more than sham: a randomized sham controlled crossover study. *Brain stimulation*, 8, 528-534.
- Sara, S. J. (2010). Reactivation, retrieval, replay and reconsolidation in and out of sleep: connecting the dots. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 4, 185.
- Saure, E. (2014). *Unenaikaisen äänistimulaation vaikutus muistissa säilymiseen*. Psykologian pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto.

- Schacter, D. L. (1999). The seven sins of memory: Insights from psychology and cognitive neuroscience. *American psychologist*, *54*, 182.
- Schabus, M., Heib, D. P., Lechinger, J., Griessenberger, H., Klimesch, W., Pawlizki, A., Kunz, B., Sterman, B. M. & Hoedlmoser, K. (2014). Enhancing sleep quality and memory in insomnia using instrumental sensorimotor rhythm conditioning. *Biological psychology*, *95*, 126-134.
- Sirota, A., Csicsvari, J., Buhl, D. & Buzsáki, G. (2003). Communication between neocortex and hippocampus during sleep in rodents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *100*, 2065-2069.
- Smith, C. (2001). Sleep states and memory processes in humans: procedural versus declarative memory systems. *Sleep medicine reviews*, *5*, 491-506.
- Spencer, R. M., Sunm, M. & Ivry, R. B. (2006). Sleep-dependent consolidation of contextual learning. *Current Biology*, *16*(, 1001-1005.
- Spencer, R. M., Gouw, A. M. & Ivry, R. B. (2007). Age-related decline of sleep-dependent consolidation. *Learning & Memory*, *14*, 480-484.
- Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: a brief history and current perspective. *Neurobiology of learning and memory*, *82*, 171-177.
- Squire, L. R., Knowlton, B. & Musen, G. (1993). The structure and organization of memory. *Annual review of psychology*, *44*, 453-495.
- Squire, L. R., Stark, C. E. & Clark, R. E. (2004). The medial temporal lobe. *Annual Review of Neuroscience*, *27*, 279-306.
- Steriade, M. & Timofeev, I. (2003). Neuronal plasticity in thalamocortical networks during sleep and waking oscillations. *Neuron*, *37*, 563-576.
- Stickgold, R., Hobson, J. A., Fosse, R. & Fosse, M. (2001). Sleep, learning, and dreams: off-line memory reprocessing. *Science*, *294*, 1052-1057.
- Stickgold, R. (2005). Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*, *437*(7063), 1272-1278.
- Stones, M. J. (1977). Memory performance after arousal from different sleep stages. *British Journal of Psychology*, *68*, 177-181.

- Takashima, A., Petersson, K. M., Rutters, F., Tendolkar, I., Jensen, O., Zwarts, M. J., McNaughton, B. L. & Fernandez, G. (2006). Declarative memory consolidation in humans: a prospective functional magnetic resonance imaging study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*, 756-761.
- Tamminen, J., Ralph, M. A. L. & Lewis, P. A. (2013). The role of sleep spindles and slow-wave activity in integrating new information in semantic memory. *The Journal of Neuroscience*, *33*, 15376-15381.
- Tononi, G., Riedner, B., Hulse, B., Ferrarelli, F. & Sarasso, S. (2010). Enhancing slow waves with natural stimuli. *Medica Mundi*, *54*, 73-79.
- Tucker, M. A., Hirota, Y., Wamsley, E. J., Lau, H., Chaklader, A. & Fishbein, W. (2006). A daytime nap containing solely non-REM sleep enhances declarative but not procedural memory. *Neurobiology of learning and memory*, *86*, 241-247.
- Virkkala, J., Hasan, J., Värri, A., Himanen, S. & Müller, K. (2007a). Automatic detection of slow wave sleep using two channel electro-oculography. *Journal of Neuroscience Methods*, *160*, 171-177.
- Virkkala, J., Hasan, J., Värri, A., Himanen, S. & Härmä, M. (2007). The use of two-channel electro-oculography in automatic detection of unintentional sleep onset. *Journal of Neuroscience Methods*, *163*, 137-144.
- Virkkala, J., Hasan, J., Värri, A., Himanen, S. & Müller, K. (2007b). Automatic sleep stage classification using two-channel electro-oculography. *Journal of Neuroscience Methods*, *166*, 109-115.
- Walker, M. P. & Stickgold, R. (2004). Sleep-dependent learning and memory consolidation. *Neuron*, *44*, 121-133.
- Walker, M. P. (2009). The Role of Sleep in Cognition and Emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1156*, 168-197.
- Wang, C., Sun, Y. & Zang, H. (2014). Music therapy improves sleep quality in acute and chronic sleep disorders: A meta-analysis of 10 randomized studies. *International Journal of Nursing Studies*, *51*, 51-62.

Wilson, J. K., Baran, B., Pace-Schott, E. F., Ivry, R. B. & Spencer, R. M. (2012). Sleep modulates word-pair learning but not motor sequence learning in healthy older adults. *Neurobiology of aging*, 33, 991-1000.

World Medical Association. (2001). World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Bulletin of the World Health Organization*, 79, 373.

Yoo, S. S., Hu, P. T., Gujar, N., Jolesz, F. A. & Walker, M. P. (2007). A deficit in the ability to form new human memories without sleep. *Nature neuroscience*, 10, 385-392.

Liitteet

Liite 1. Sanaparit

Sanalista A

PUNOS SOLMU
 ROTU LAJI
 YLPEYS KUNNIA
 KYSYMYS VÄITE
 VERO MAKSU
 KAIMA TUTTAVA
 SELLO VIULU
 KÄÄRE PAKKAUS
 RÄTTI LIINA
 JÄTTILÄINEN ASKEL
 VEHNÄ KORSI
 HERNE MAISSI
 VIINI KUKKA
 AIKA ALKUPERÄ
 KAALI SELLERI
 RUOHO KARJA
 HUHU SYYTÖS
 OPISKELIJA DOSENTTI
 KASKU VITSI
 TEHDAS TUOTANTO
 LIPPU VALLOITUS
 VAATIMUS HANKALUUS
 LUOLA KUILU
 HARPPU KANTELE
 KAAPU HIHA
 VAJA AITTA
 KOHTALO IVA
 YÖ AJOVALO
 ILME NAURU
 LAMMAS SIKA
 KAPULA PALIKKA
 PROFILI VALOKUVA
 KALLIO ROTKO
 KATSE NÄKYMÄ
 KUORO JOUKKUE
 GRILLAUS KESÄ
 RANNIKKO DYYNI
 SARASTUS AAMU
 TULIVUORI PURKAUS
 PERHE SUKU

Sanalista B

VIIMA PUUSKA
 SEIKKAILU JÄNNITYS
 SUMU USVA
 VANKILA RIKKOMUS
 DEMOKRATIA JÄRJESTELMÄ
 TOISTO KERTAUS
 POTKU ISKU
 VIHJAUS EPÄLUULO
 MÄÄRITTELY KÄSITYS
 TIE TERVA
 KIRVES VESURI
 IKÄ VANHUUS
 SEUTU KYLÄ
 AIVOT TAJUNTA
 USKO RAAMATTU
 TAANTUMUS MENNEISYYS
 KUTSUMUS PÄÄMÄÄRÄ
 KARHU HIRVI
 SOKKELO ETSINTÄ
 OMAKOTITALO ESIKAUPUNKI
 RYTMİ VAUHTI
 MUSEO EGYPTI
 LAIVASTO KANSI
 MURHE ITKU
 KYNÄ TUPPI
 HIIHTO KELKKA
 TUTKIMUS PATENTTI
 ARVOSTELU EPÄILYS
 PUUTE LUOPUMINEN
 TUKI APU
 KALVO PINTA
 NYÖRI KÖYSI
 SEIMI KAUKALO
 PYÖKKI KOIVU
 ENNÄTYS MITALI
 HUONE NURKKA
 POLIISI VARTIJA
 KAMMIO VARASTO
 TARJOUS MARKKINAT
 HUILU TORVI

LIIVI	TAKKI	MUUMIO	KAPALO
TAULUKKO	SARAKE	VOIMALA	SÄHKÖ
HALLINTA	OSUUS	KAAOS	JÄRJESTYS
LUSIKKA	KAUHA	LAULAJA	TAITEILIJÄ
TIILI	BETONI	VIIHDE	HARRASTUS
TIETO	SISÄLTÖ	HARKINTA	VARMUUS
SILTA	VESI	MYYMÄLÄ	ILMOITUS
KÄPY	NEULANEN	PUUKKO	VEITSI
TRAKTORI	MÖNKIJÄ	HAVU	OKSA
SEPPÄ	HEVOSENKENKÄ	PATJA	VILTTI
RUHJE	MUSTELMA	AUTO	RIKKAUS
KÖYHYYS	KURJUUS	LIERIÖ	TUUTTI
MUISTIO	SANELU	TAISTELU	VOITTO
ALKOHOLI	OOPIMUMI	AIHEUTTAJA	SYYSUHDE
REITTI	VÄYLÄ	TOIVE	SAAVUTUS
RAHTI	LASTAUS	VIVAHDE	TARKKUUS
NOPEUS	KIIRE	OMENA	PERSIKKA
KRITEERI	VALINTA	TUOPPI	OLUT
HARHA	HAVAINTO	RENGAS	PUOMI
HAPPI	ILMA	AVANTO	RAILO
TUOMARI	OIKEUS	MALJAPUHE	SANANLASKU
TUURI	SATTUMA	RAJUILMA	TUULENVIRE
LIESI	TULI	KIELO	ORVOKKI
ATERIA	TARJOTIN	OSTOS	KULUTUS
ROMAANI	KIRJAILIJA	JUNA-ASEMA	KIOSKI
HYÖNTEINEN	SUDENKORENTO	HISTORIA	KEHITYS
TÄHTI	JOULU	HULLUUS	RIIVAAJA
JÄRVI	LAMPI	ŠAKKI	TORNI
PIIRROS	KARTTA	RYHMÄ	JENGI
PAITA	NEULE	LENTO	LASKU
KUVIO	MUOTOILU	TEATTERI	RIVI
VELJENPOIKA	ISOÄITI	LÄÄKÄRI	VASTAANOTTO
RAKENNUS	HOTELLI	MURSKA	HIEKKA
ULAPPA	ERÄMAA	EMÄNTÄ	ANOPPI
HYÖTY	KUSTANNUS	RUOSTE	TERÄS
HUNTU	VERHO	NÄKEMYS	MIELIPIDE
HUUTO	PANIIKKI	TÄI	KIRPPU
HIDASTE	ANKKURI	TERVEHDYS	YSTÄVÄLLISYYS
HÄMÄRÄ	ALAMAAILMA	PAPPI	NUNNA
TAIDEMAALARI	PIANISTI	RÄME	SUO
URAKKA	TYÖ	KYNTTILÄ	LIEKKI
KATU	POLKU	UNI	TODELLISUUS
HAAVI	SIIVILÄ	IKKUNA	PARVEKE
LIKA	TÖRKY	KUTOJA	PIRTA
SUMMA	VAIHTO	KENKÄ	LAHJE
SYTYTIN	HEHKU	PUISTO	KENTTÄ

PARISTO	LATAUS	LUISTIN	KIEKKO
NIPPU	PINO	TEMPPU	KEPPONEN
ARMO	LAUPEUS	VASTAUS	KAIKU
PUHTI	KESTÄVYYS	ORAVA	ROTTA
JUUSTO	MEIJERI	KOULU	PUUTYÖ
TINA	SINKKI	SIUNAUS	LUOJA
SARVI	KÄRKI	INTOHIMO	SUUDELMA
SANKARUUS	URHEUS	LINTU	KISSA
KOMEDIA	DRAAMA	LUUMU	PÄÄRYNÄ
HIIVA	JAUHO	LANTTU	PORKKANA
SAAMINEN	PALKKA	KONE	LAITE
TEORIA	POIKKEUS	PATSAS	HAHMO
HAALARI	ASU	HÄKKI	PESÄ
BANAANI	ANANAS	KUMMITUS	ILMESTYS
MELU	HÄLINÄ	KELLO	KIRKKO
AINES	KOOSTUMUS	LURJUS	ROISTO
VIILTO	NAARMU	VARIS	HAUKKA
INFEKTIO	SÄRKY	KALA	SUOMUSTUS
MIELIALA	HUUMORI	LATU	MONO
MATKA	MAANOSA	VUOHI	LEHMÄ
UNTUVA	HIUS	INNOITUS	OIVALLUS
POTILAS	OIRE	MUKI	KAHVI
KIPU	VIHLONTA	AALLOKKO	LAIVA
VELVOITE	SOPIMUS	KERÄ	VYYHTI
LABORATORIO	PIPETTI	OMPELU	RISTIPISTO
HERKKUSUU	MAKUPALA	TALVI	TAPATURMA
RUNO	RAKKAUS	HÖYRY	VETURI
PERHONEN	KUKINTA	MAALAUUS	GALLERIA
UHKA	KAUHU	TÖRMÄ	PENGER
LOKERO	ASKI	HILE	SIRU
SALAATTI	PUUTARHA	KOSTEUS	UKKONEN
MUOTO	YMPYRÄ	LAAHUS	PYRSTÖ
TYNNYRI	KELLARI	SYÖTTI	ANSA
SOLMIO	KAULUS	SÄKKI	LAUKKU

Sanalista C

REVOLVERI KALIIPERI
 AJONEUVO TELAKETJU
 HILJAISUUS YKSINÄISYYS
 TÖYHTÖ KAMPAUS
 KYPÄRÄ PÄÄHINE
 LYHTY VALAISIN
 VARJO KATVE
 AHMA ILVES
 HIRMUMYRSKY PYÖRRE
 NORMI MORAALI
 ENERGIA ÖLJY
 TURKIS KETTU
 NÄLKÄ ÄHKY
 SÄILIÖ SADE
 ANALYYSI TULOS
 KUMARRUS ASENTO
 POLVI SARANA
 SIERAIN ONTELO
 HAAVA RUPI
 SANOMALEHTI PAINATUS
 KOPIO VEDOS
 MAHDOLLISUUS KOHTAAMINEN
 RUUKKU MALJAKKO
 LENINKI HAME
 NAULA METALLI
 SOLA RAKO
 KEINU ROIKOTUS
 VIRKA KANSLIA
 KASTIKE MAUSTE
 LELU MUOVI
 SÄNKI KARVA
 SIENI MARJA
 HUVI JUHLA
 LEIMA MUSTE
 JAKELU VÄLITYS
 PAJU VARPU
 HÄÄT ALTTARI
 LIPPA KATOS
 HÄPEÄ KEHO
 TUOLI SOHVA
 KEITTIÖ ÄMPÄRI
 EREHDYS VIRHE
 PERUSOIKEUS VALTIOSÄÄNTÖ
 POIKA TYTTÖ
 JUMALATAR RUKOUS

Sanalista D

ARVOITUS VIHJE
 TEKSTI KIRJOITUS
 SYYLÄ NÄPPYLÄ
 HIUTALE LUMI
 AVIOLIITTO KIHLAUS
 VIHA INHO
 TANSSI HYPPY
 KULHO VUOKA
 KIRJASTO ARKISTO
 ARMEIJA JALKAVÄKI
 TAVOITE SUUNTA
 PUTKI LETKU
 SIIRTO HIVUTUS
 SAKARA KULMA
 HYLJE VALAS
 LUMME KAISLA
 KYYNEL NORO
 MATO TOUKKA
 RAUTATIE RAIDE
 LUONNOS KAAVIO
 KOOKOS TAATELI
 PÖLY SIISTEYS
 ALUE TILA
 SILMUKKA KETJU
 JUONI SEURAUS
 PALAUTE KEHU
 HOLVI KOMERO
 URHEILU HIKI
 TAKKA NUOTIO
 ASUNTO MAJA
 SÄÄDYLLISYYS KÄYTÖSTAPA
 SOITIN OBOE
 TAVARATALO NÄYTEIKKUNA
 KULUMA HANKAUS
 ORKESTERI KONSERTTI
 JALOKUUSI KAARNA
 YSKÄ AIVASTUS
 VARVAS KYNSI
 RATKAISU ONGELMA
 TUNNELI KÄYTÄVÄ
 RADIO ÄÄNI
 SIIPI NOKKA
 TROPIIKKI AMAZON
 LOHI KAMPELA
 HÄMÄYS AITOUS

TEKO	PYRKIMYS	LAHJAKKUUS	PERINNÖLLISYYS
KÄTEINEN	HINTA	JYVÄ	SIEMEN
TELTTA	PARAKKI	SUOSITUS	NEUVO
SIEPPAUS	VANKI	NAUTINTO	SIKARI
PYÖRÄILY	POLJIN	AJOITUS	HETKI
PURSI	TELAKKA	NÄYTELMÄ	LAVA
VILLA	PUKU	LIITU	KALKKI
TARVE	MAINOS	DYNAMO	VALO
TODISTE	FAKTA	AUKIO	TORI
ALAKERTA	ULLAKKO	IHO	VERI
KÄSITE	MERKITYS	ODOTUS	KAIPUU
KYKY	TAIPUMUS	RYPPY	UURRE
PELKO	KÄÄRME	KEHTO	VUODE
KUJA	RAITTI	JUOKSU	LOIKKA
ILO	ONNI	PERUNA	NAURIS
VANUKAS	MAKEINEN	OTSA	LEUKA
PORA	SAHA	KASVU	EDISTYS
MELLAKKA	KAPINA	LANKA	NAUHA
YSTÄVÄ	LUOTTAMUS	MUURI	KAIDE
KIIPEILY	NOUSU	MULTA	KIVI
TEOLLISUUS	TOIMIALA	MUONA	REHU
RIUTTA	LEVÄ	VERTAUS	RINNASTUS
PAPERI	KIRJE	KAAPPI	ARKKU
TUNTURI	VUONO	HOVI	SEURUE
HANKE	EHDOTUS	SATAMA	LAITURI
ELÄIN	SAMMAKKO	PEITTÄMINEN	HUIVI
HORROS	LEPO	MYRKKY	MURHA
ANTENNI	MASTO	LUONTO	KASVI
PELLAVA	SILKKI	JOUKKO	KOKOUS
TAPAHTUMA	KUTSUT	REIKÄ	TYHJYYS
JÄTE	KIERRÄTYS	KÄMMEN	SORMI
RAIVO	KIUKKU	JUORU	MAINE
LAAKSO	NIITTY	KURI	TOTTELEVAISUUS
KUITU	SÄIE	HEIMO	KANSA
PENSSELI	KANGAS	LIITTOUMA	ALLIANSSI
KATAJA	PENSAS	KERJÄLÄINEN	EPÄONNI
VARAS	RYÖSTÖ	JÄKÄLÄ	SAMMAL
NAPPULA	LAUTA	TERTTU	RYPÄLE
MUUSIKKO	HARMONIKKA	AVARUUS	TAIVAS
MÄÄRÄYS	PÄÄTÖS	AHERRUS	PUUHA
VUORI	MÖKKI	UUNI	PAKASTIN
LIHAS	JÄNNE	VALA	REHELLISYYS
PERINTÖ	JÄLKI	KIMPPU	TULPPAANI
TÄYDENNYS	LISÄYS	HALAUS	SYLI
YRTTI	VIHANNES	HUONEKALU	SELKÄNOJA
SAIRAALA	LÄÄKE	KAAVA	KAUPUNKI

MATELIJA	LISKO	MYYRÄ	JÄNIS
VALTA	HALLITSIJA	REPPU	SALKKU
PELTO	OJA	PAJA	AHJO
HUOLI	VASTUU	VUORISTO	ALPPITÄHTI
NENÄ	SILMÄ	KATTO	VINTTI
PELASTUS	PARATIISI	MUISTI	NORSU
VIHKO	NUOTTI	TIMANTTI	KULTA
AMMATTI	ARVOSTUS	MEKKO	HELMA
SYLKI	KUOLA	PALLO	NELIÖ
HINKU	PAKKO	TIHEIKKÖ	METSÄ
MAJAVA	SAUKKO	MUNKKI	NUNNA
PURO	KOSKI	PILLERI	ROHTO
LOHTU	SÄÄLI	HENKI	PULLO
SAARI	LUOTO	ORJA	KUNINGAS
JOHTAJA	ESIMIES	PUHE	AKUSTIIKKA
JANO	HALU	RIMA	SEIVÄS
PELTI	SÄILYKE	TEHTÄVÄ	SUORITUS
SIIMA	VAPA	OHJAKSET	KÄÄNTÖ
ASEISTUS	HYÖKKÄYS	TAPPIO	VÄHENNYS
NIVEL	REISI	KASVOT	NAAMIO
HISSI	PORTAIKKO	TERVEYS	ROKOTE
JOUTSEN	HAIKARA	MERKKI	SEIKKA
ENO	TÄTI	VAUNUT	HEVONEN
PETOS	USKOLLISUUS	TIEDONANTO	TODISTAJA
VIUHKA	TUULETIN	LUJUUS	VOIMA
LAPANEN	KÄSINE	KIDE	PISARA
KAPSELI	RASIA	NUKKE	LAPSI
HYMY	ELE	PÄHKINÄ	KASTANJA
KOE	EPÄONNISTUMINEN	TUTKA	PAIKANNUS

Sanalista E

muisti	norsu
ahti	näkki
aseistus	hyökkäys
siunaus	jumala
poika	tyttö
lelu	muovi
lentokone	siipi
pöly	siisteys
yö	katuvalo
tähti	joulu
shakki	torni
demokratia	järjestelmä
oikeus	laki
renkaat	puomi
mielipide	ajatus
auto	nopeus
nukke	lapsi
rannikko	dyyni
sankaruus	rohkeus
taantumus	menneisyys
sanomalehti	paino
ylpeys	maine
energia	öljy
viini	tuoksu
puute	luopuminen
todiste	tieto
aivot	tajunta
mahdollisuus	tapaaminen
kala	suomustaa
inspiraatio	ajatus
teatteri	rivi
käsite	merkitys
keittiö	sankko
rautatie	kisko
vertaus	sovinto
valhe	kunniallisuus
intohimo	suudelma
myrsky	tuuli
ommella	ristipisto
rakennus	hotelli
talvi	kolari
aiheuttaja	seuraus
hurrikaani	pyörre
alakerta	ullakko
häpeä	vartalo

Sanalista F

runo	rakkaus
säädyllisyys	tapa
peittäminen	huivi
suo	räme
kynä	tuppi
otsa	leuka
tuoppi	olut
kriteeri	valinta
tuntomerkki	yksityiskohta
puhe	kuuluvuus
laivasto	kansi
päämäärä	suunta
matka	manner
katse	näkymä
petos	uskollisuus
herkuttelija	makupala
linna	Turku
tehtävä	hoitaminen
polkupyörä	poljin
johtaja	esimies
poliisi	vartija
armo	lempeys
ranne	reisi
aallokko	laiva
unelma	todellisuus
historia	kehitys
hiutale	lumi
timantti	kulta
näytelmä	teatteri
luonto	kasvi
haava	rupi
tentti	epäonnistuminen
tutkiminen	tulos
ruoho	karja
vuori	mökki
happi	ilma
matelija	lisko
asema	kioski
salaatti	puutarha
kohtalo	katkeruus
infektio	kipu
mieliala	huumori
illuusio	havaitseminen
mellakka	kapina
herra	rukous

aika	alku	nahka	veri
kone	laite	ajoneuvo	telaketju
revolveri	kaliiberi	kallio	jyrkänne
lihas	jänne	eläin	sammakko
kirjasto	nimikirjaimet	tehtävä	työ
tuomari	oikeus	muusikko	haitari
sääntö	moraali	naula	metalli
kauppa	mainos	täydentäminen	lisäys
ratkaisu	ongelma	pusikko	metsä
kehys	valokuva	ryhmä	kokous
ammatti	arvostus	katu	tie
taito	lahjakkuus	veljenpoika	isoäiti
käteinen	hinta	tavaratalo	näyteikkuna
köyhyys	kurjuus	kumarrus	asento
kosteus	ukkonen	huonekalu	nojatuoli
muoto	ympyrä	opiskelija	dosentti
vilppi	aitous	huone	nurkka
henki	pullo	mahti	valtias
tulivuori	räjähdyks	kerjäläinen	epäonni
maaperä	kivi	tehdas	tuote
omena	persikka	kovuus	voima
laulaja	taiteilija	komedial	draama
kimppu	tulppaani	huvila	lähiö
laboratorio	pipetti	panttivanki	roisto
hiljaisuus	yksinäisyys	määrä	vaihtelu
vuoristo	alppikukka	tervehtiminen	ystävällisyys
tieto	sisältö	instrumentti	oboe
huuto	paniikki	vilja	tähkä
vanukas	makeinen	vihko	nuotti
vankila	rikos	teoria	poikkeus
tarina	vitsi	lahjakkuus	periytyminen
omaisuus	osinko	liittouma	yhteisö
toukka	perhonen	kuri	tottelevaisuus
veturi	höyry	vaunut	hevonen
hämärä	rikollinen	arvostelu	epäily
tuoli	penkki	aita	kaide
alkoholi	huume	kysymys	huomautus
lääkäri	vastaanotto	labyrintti	etsintä
hahmo	taulu	tuuri	sattuma
hyöty	kustannus	avioliitto	kihlaus
kirja	kirjailija	koulu	puinen
pallo	neliö	vihjaus	epäluulo
vaatimus	palkka	armeija	jalkaväki
taistelu	voitto	tutkimustyö	patentti
määräys	päätös	orkesteri	konsertti
villa	vaatteet	ystävä	luottamus

tynnyri	sade	urheilu	hiki
määritelmä	käsite	kasvot	naamari
turkki	kettu	lippu	valtaus
kuusi	kaarna	tarjous	markkinat
akvarelli	galleria	sivellin	kangas
hauskuus	juhlat	pelko	käärme
velvoite	sopimus	vaatimus	hankaluus
myrkky	murha	ohjokset	käänte
suositus	neuvo	nautinto	sikari
paperi	kirje	parturi	kampa
lintu	kissa	sarastus	aamunkoitto
terveys	rokote	kasvu	kehitys
häät	alttari	ilmoitus	todistaja
radio	ääni	tappio	menetys
muki	kahvi	trooppinen	viidakko
orja	kuningas	hulluus	riivaaja
teollisuus	elinkeino	alus	telakka
kaaos	järjestys	perhonen	kukka
kaavoitus	kaupunki	tapahtuma	juhlat
grilli	kesä	kello	kirkko
museo	egypti	tynnyri	kellari
hella	tuli	usko	raamattu
seppä	hevosenkenkä	aave	hahmo
puhe	sananelä	munkki	nunna
dynamo	valo	laakso	niitty
ranta	penger	tähdenlento	taivaankansi
tarve	mainonta	taidemaalari	pianisti
hyönteinen	korento	pelastus	taivas
teko	aikomus	jättiläinen	askel

Liite 2. Profile of Mood States

POMS

ASTEIKOT JA ARVIOINTIOHJEET

asteikko	osiot
jännittyneisyys	1. jännittynyt 15. rauhaton 20. kireä 34. hermostunut
väsymys	3. rasittunut 17. väsynyt 25. uupunut
muistamattomuus	16. kyvytön keskittymään 21. muistamaton 24. hajamielinen
tarmokkuus	9. toimielias 13. energinen 22. reipas 26. innostunut 28. tarmokas 36. vireä

asteikko	osiot
depressiivisyys	4. onneton 8. surullinen 12. masentunut 14. toivoton 33. alakuloinen 35. yksinäinen 37. ahdistunut
ärtyneisyys	2. vihainen 7. kättynen 10. kiukustunut 18. harmistunut 23. ärtyisä 29. pahantuulinen 38. raivostunut
saamattomuus	6. haluton 11. saamaton 32. velto
epävarmuus	5. sekava 19. hämmentynyt 27. epävarma asioista 30. ymmällään 31. avuton

Asteikkopistemäärä = asteikon osioiden pistemäärien summa.
(Pisteytyskaavio sisältyy lomakepakettiin.)

Poikkeavien asteikkopistemäärien katkaisukohtat:

asteikko	poikkeava tulos
jännittyneisyys	9 pistettä tai enemmän
väsymys	9 pistettä tai enemmän **
muistamattomuus	8 pistettä tai enemmän **
tarmokkuus	6 pistettä tai vähemmän *
depressiivisyys	13 pistettä tai enemmän
ärtyneisyys	15 pistettä tai enemmän
saamattomuus	7 pistettä tai enemmän
epävarmuus	9 pistettä tai enemmän

* Pistettä korkeampaa katkaisukohtaa suositellaan käytettäväksi silloin, kun testattava on alle 40-vuotias mies.

** Pistettä matalampaa katkaisukohtaa suositellaan käytettäväksi silloin, kun testattava on alle 40-vuotias mies.

POMS-LOMAKE

TTL/P/klän. 1988

Tässä on luettelo sanoja. Ne kuvaavat tunteita ja mielialoja, joita ihmisillä on. Lukekaa jokainen sana huolellisesti. Rengastakaa sitten sanan vierestä vaihtoehto, joka parhaiten kuvaa mielialojanne viimeksi kuluneen viikon aikana.

Vastausvaihtoehdot

0 = ei lainkaan
 1 = vähän, harvoin
 2 = jonkin verran
 3 = melkoisesti
 4 = erittäin paljon

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. jännittynyt0 1 2 3 4 | 19. hämmentynyt0 1 2 3 4 |
| 2. vihainen0 1 2 3 4 | 20. kireä0 1 2 3 4 |
| 3. rasittunut0 1 2 3 4 | 21. muistamaton0 1 2 3 4 |
| 4. onneton0 1 2 3 4 | 22. reipas0 1 2 3 4 |
| 5. sekava0 1 2 3 4 | 23. ärtyisä0 1 2 3 4 |
| 6. haluton0 1 2 3 4 | 24. hajamielinen0 1 2 3 4 |
| 7. kätttyinen0 1 2 3 4 | 25. uupunut0 1 2 3 4 |
| 8. surullinen0 1 2 3 4 | 26. innostunut0 1 2 3 4 |
| 9. toimelias0 1 2 3 4 | 27. epävarma asioista0 1 2 3 4 |
| 10. kiukustunut0 1 2 3 4 | 28. tarmokas0 1 2 3 4 |
| 11. saamaton0 1 2 3 4 | 29. pahantuulinen0 1 2 3 4 |
| 12. masentunut0 1 2 3 4 | 30. ymmällään0 1 2 3 4 |
| 13. energinen0 1 2 3 4 | 31. avuton0 1 2 3 4 |
| 14. toivoton0 1 2 3 4 | 32. velto0 1 2 3 4 |
| 15. rauhaton0 1 2 3 4 | 33. alakuloinen0 1 2 3 4 |
| 16. kyvytön keskittymään0 1 2 3 4 | 34. hermostunut0 1 2 3 4 |
| 17. väsynyt0 1 2 3 4 | 35. yksinäinen0 1 2 3 4 |
| 18. harmistunut0 1 2 3 4 | 36. vireä0 1 2 3 4 |
| | 37. ahdistunut0 1 2 3 4 |
| | 38. raivostunut0 1 2 3 4 |

TARKISTAKAA, ETTÄ OLETTE VASTANNUT JOKAISEEN KOHTAAN!