

This is a self-archived version of an original article. This version may differ from the original in pagination and typographic details.

Author(s): Lyyra, Pessi; Parviainen, Tiina

Title: Mitä sydän näkee? : katsaus interoception merkitykseen ihmisen tiedonkäsittelylle ja hyvinvoinnille

Year: 2019

Version: Accepted version (Final draft)

Copyright: © Suomen psykologinen seura, 2019

Rights: In Copyright

Rights url: <http://rightsstatements.org/page/InC/1.0/?language=en>

Please cite the original version:

Lyyra, P., & Parviainen, T. (2019). Mitä sydän näkee? : katsaus interoception merkitykseen ihmisen tiedonkäsittelylle ja hyvinvoinnille. *Psykologia*, 54(5), 323-341.

Tiivistelmät

Mitä sydän näkee? Katsaus interoception merkitykseen ihmisen tiedonkäsittelylle ja hyvinvoinnille

Interoseptio on aistihavainto kehon sisäisestä tilasta, erityisesti sisäelinten toiminnasta: sydämen lyönneistä, hengityksestä, ruoansulatuselimistön toiminnasta sekä kehon lämpötilasta. Muutoksia näiden tilassa säätelee elimistön sisäistä tasapainoa, homeostaasia ylläpitävä autonominen hermosto. Toisin kuin liikkeitä ohjaavat diskriminatiiviset aistimukset, interoception on eriytymätön ja karkeasti paikantuva aistimus. Se viestii kehon yleisestä tilasta ja valmiudesta toimintaan – siitä, miten ihminen kullakin hetkellä voi. Interoseptio osallistuu myös allostaattiseen, ympäristön muutoksiin valmistautuvaan kehon säätelyyn. Siksi interoseptiolla on kytkös myös ympäristön havaitsemiseen. Interoseptiivinen aivoverkosto näyttäisi käsittelevän erityisesti ärsykkeiden merkittävyyttä yksilölle. Allostaattisen interoseptiivisen säätelyn idea on avannut uuden näkökulman useisiin yleisimpiin klinisiin tiloihin, kuten ahdistus-, masennus- ja syömishäiriöihin. Ne selitetään viitekehyksessä interoseptiivisen säätelyn puutteilla. Interoseptioherkkyudessa on yksilöllistä vaihtelua, mikä voi vaikuttaa kliinisten interventioiden soveltamiseen ja tehoon. Myös kehon tarkkailuun liittyvät harjoitteet perustuvat interoseptiiviseen tarkkailuun, ja siksi interoception sekä sen hermostollisten mekanismien tunteminen on myös näiden harjoitteiden suuntaamisen kannalta olennaista.

Avainsanat: interoception, autonominen hermosto, kehotietoisuus, hyvinvointi

What can the heart see? The significance of interoception for human cognition and wellbeing

Interoception refers to sensing the internal state of the body – functioning of the viscera, in particular the cardiovascular, respiratory and gastrointestinal systems. Interoception also includes various chemical, mechanical, thermal and nociceptive sensations emanating from the surface and from within of the body. The afferent sensory information from the viscera mainly serves homeostatic regulation of the body, as orchestrated by the autonomic nervous system. Unlike the discriminative senses that guide controlled movements, interoception is an indiscriminative and

coarsely localized sensation. Rather, interoception informs about the general state of the body: how well an individual feels and how ready the individual is for action. Interoception also participates in allostatic, predictive regulation of the body in response to changes in the environment. Therefore, interoception also has a link to the perception of the environment. In particular, the neural interoceptive system seems to participate in processing of the significance and salience of inner and outer stimuli. The idea of allostatic interoceptive regulation has opened an important perspective into many of the most common clinical psychological conditions, such as anxiety, depression and eating disorders. In addition, many well-being related exercises also used as clinical interventions based on conscious observation of the body depend on interoception. There are significant individual differences in sensitivity to interoceptive sensations. Therefore, understanding interoception and its neural basis is central for individually targeted clinical interventions.

Keywords: interoception, autonomic nervous system, body awareness, wellbeing

Nostolauseet

- Interoseptio tarkoittaa kehon yleisen tilan aistimista
- Interoseptio osallistuu myös ympäristön havaitsemiseen
- Interoseptioherkkyydessä on yksilöllistä vaihtelua
- Yksilöllinen interoseptioherkkyys on huomioitava kliinisessä kontekstissa

Mitä sydän näkee? Katsaus interoseption merkitykseen ihmisen tiedonkäsittelylle ja hyvinvoinnille

Mielen ja kehon suhde on yksi tieteen suurista arvoituksista. Vasta viime vuosikymmeninä on alettu ymmärtää, millä kaikilla tavoin keho vaikuttaa mieleen. Käsittelemme tässä katsausartikkelissa yhtä merkittävää aihetta koskevaa tutkimuslinjaa: kuinka pääasiassa sisäelinten toiminnasta kumpuavat, interoseptiiviset aistimukset vaikuttavat monella tasolla mielen toimintaan.

Somaattiset eli kehosta tulevat aistimukset voidaan jakaa tuntoaistin välityksellä syntyviin (kosketus, kipu ym.), kehon asento- ja liikeaistimuksiin (proprioseptio), sekä kehon sisäelimestä nouseviin aistimuksiin (interoseptio). Kehon tila vaikuttaa kaikkien näiden aistien kautta aivojen ja mielen toimintaan. Mielen kehollisuus on nostettu keskeiseksi joissakin filosofisissa lähestymistavoissa, kuten ruumiin fenomenologian (esim. Merleau-Ponty, 1945) ja kehollistuneen kognition (*embodied cognition*, esim. Clark, 1997) lähestymistavassa. Niissä kehollisuutta on kuvattu alun perin motoriikan, liikeaistin ja aktiivisen toimijuuden kautta. Nämä lähestymistavat ovat viimeaikaisten neurotieteen löydösten valossa tuottaneet uusia tulkintalinjoja kehoaistimusten näkökulmasta. Niiden mukaan interoseptiiviset, erityisesti sydämen toimintaa koskevat aistimukset vaikuttavat mieleen liikeaistiakin suuremmalla tavalla (esim. Christoff, Cosmelli, Legrand & Thompson, 2011; De Preester & Tsakiris, 2019; Legrand & Ruby, 2009).

Havaintona kehon yleisestä sisäisestä tilasta interoseptio on yksi perustavimmista ihmisen toimintaan ja hyvinvointiin liittyvistä tekijöistä. Interoseptioon kuuluu erityisesti hetkittäinen havainto sisäelinten tilasta, esimerkiksi sydämen lyönneistä, hengityksestä, kehon lämpötilasta sekä ruoansulatuselimistön ja lihasten energiatason tilasta. Näitä fysiologisia prosesseja säätelee tahdosta riippumaton autonominen hermosto, jonka toiminta ilmenee esimerkiksi kehon vireystilan muutoksina. Autonominen hermoston ensisijainen tehtävä on ylläpitää elimistön sisäistä tasapainoa, homeostaasia sydämen sykkeen, hengitystiheyden, verenpaineen ja verenkierron ja kehon lämpötilan paikallisten muutosten säätelyn kautta. Nykykäsityksen mukaan autonominen hermoston toiminta kannattelee, ohjaa ja rytmittää mielen toimintaa monella tasolla ja tämä vaikutus välittyy erityisesti interoseptiivisten aistien varassa (De Preester & Tsakiris, 2019).

Autonomisen hermoston homeostaattinen säätely toimii tietoisuuden ulkopuolella. Osa autonomisen hermoston välittämistä viesteistä kuitenkin ylittää tietoisien havainnon kynnyksen. Nämä tietoiset, joskin marginaaliset interoseptiiviset aistimukset kertovat ihmiselle, missä tilassa hänen kehonsa on – miltä hänestä tuntuu ja kuinka hän kullakin hetkellä voi (Craig, 2002, 2003, 2009, 2014). Tietoiset interoseptiiviset aistimukset ovat kuitenkin varsin eriytymättömiä ja kietoutuneet ulkoisen ympäristön havaintoon. Tyypillisesti homeostaattinen tasapaino on suhteellisen vakaa, ja säätelyä tarvitaan ohjaamaan jaksoittaista vaihtelua esimerkiksi ravitsemustasossa ja uni–valve-tiloissa. Kuitenkin ajoittain ympäristön asettamat haasteet suistavat elimistön kauemmaksi tasapainotilasta. Autonominen hermosto osallistuu, kehon fysiologisen tasapainotilan ylläpitämisen lisäksi, kehon korkeamman tason, ”allostaattisen” tasapainon ylläpitoon (ks. katsaus allostaasin käsitteestä ja interoseption roolista allostaattisessa säätelyssä, Corchoran & Hohwy, 2019). Allostaattinen säätely tarkoittaa erityisesti elimistön adaptiivisia muutoksia suhteessa ulkoiseen ympäristöön – myös ennakoiden ja huomioiden elimistön (joskus ristiriitaisetkin) tarpeet eri tasoilla. Perinteinen esimerkki allostaattisesta säätelystä on kroonistunut stressi, ja allostaasin käsite syntyikin osittain selittämään tällaisia ilmiöitä, joissa evolutiivisesti vanhat mekanismit joutuvat adaptoitumaan nyky-yhteiskunnan vaatimuksiin. Kroonisen stressin ajatellaan heijastavan tilaa, johon elimistö ajautuu, kun jatkuva stressivaste tuottaa elimistöön ”allostaattisen kuorman”, mikä tarkoittaa haitallisia kehon vasteita häiriintyneen säätelytasapainon muodossa; sydämen syke saattaa olla kroonisesti koholla eikä siinä esiinny normaaliin säätelyyn liittyvää vaihtelua (Sterling, 2012). Interoseption viestimä kehon tila on tämän säätelyn ytimessä. Myös emootioita on tulkittu suhteessa allostaasin käsitteeseen: ne ovat tietoisia kokemuksia siitä, millainen suhteemme ympäristöön on ja miten meidän tulisi toimia suhteessa siihen (Barrett, 2017; Seth & Friston, 2016). Kuvailimme tässä artikkelissa, kuinka interoseptio ei ole tässä mielessä vain havainto kehon sisäisestä tilasta vaan myös signaali yksilön valmiustilasta ympäristön asettamiin haasteisiin.

Kehollisten reaktioiden interoseptiivinen havaitseminen ja ennakoiminen on siis keskeisessä roolissa tunteiden kokemisessa (Barrett, 2017; Seth & Friston, 2016), mutta luultavasti myös laajasti kognitiossa ja kokonaisvaltaisessa hyvinvoinnissa (De Preester & Tsakiris, 2019). Homeostaattisen säätelyn ulkopuolelle ulottuvat interoseptiiviset aistimukset ja tulkinnat ovat ominaisia erityisesti ihmiselle ja jossain

määrin ihmisen lähisukulaislajeille (Craig, 2014). Interoseptioon liittyviä hermoratoja on kuitenkin tutkittu ihmisillä hyvin vähän. Anatomisen perustan osalta tiedot perustuvat pääosin neuroanatomisti Bud Craigin tekemiin tutkimuksiin rhesusapinoilla ja kissoilla. Yleisesti ottaen sensorisia hermoratoja tutkitaan tyypillisesti eri eläinmalleilla, mutta evolutiivisesti uudempaa interoseptiivisen aistimuksen hermostollista perustaa voidaan lähestyä vain sellaisia lajeja tutkimalla, joiden keskushermostoon on muovautunut kyseinen aistinjärjestelmä (ihmiset ja muut kädelliset). Ihmisillä kehotietoisuus on monitasoinen: kehon tietoisien tarkkailun lisäksi keholliset ilmiöt vaikuttavat mieleemme myös ei-tietoisesti. Ihmisten välillä on yksilöllisiä eroja siinä, miten herkästi ja tarkasti he havaitsevat ja tunnistavat kehonsa tuntemuksia, esimerkiksi sydämen sykkeen (esim. Katkin, Wiens, Öhman, 2001).

Viimeisen vuosikymmenen aikana kehon rooli on korostunut myös erilaisissa hyvinvointia edistävässä interventioissa tai harjoitteissa. Yksi yhdistävä teema näissä suuntauksissa on, että kehon aistimusten tarkkailua hyödynnetään pyrittäessä palauttamaan ajatukset ja mieli tähän hetkeen. Harjoitteissa tämä toteutuu usein kehoaistimusten avulla: ajatusten virta pyritään katkaisemaan kiinnittämällä huomio havaittaviin kehon peruselintoimintoihin, kuten hengitykseen. Kehon tarkkailua ja tietoisuutta kehosta käytetään ikään kuin apuna tarkkaavuuden harjoittamiseen kykeneväksi ylläpitää huomio nykyhetkessä (Hölzel ym., 2011). Huolimatta kasvavasta trendistä kehoon pohjautuvien hyvinvointi-interventioiden suhteen, kehon merkitys kokemukselle tunnetaan tieteen kentässä huonosti. Tästä syystä kehoaistimuksen hyödyntäminen tulkitaan usein ei-tieteelliseksi uskomushoidoksi. Samaan aikaan saattaa kehoaistia hyödyntävien harjoitteiden vaikutus olla joillekin yksilöille jopa haitallinen, kun yksilölliset erot ja mahdolliset alttiudet psykiatriisiin oireisiin jäävät usein huomiotta. Joka tapauksessa kehotietoisuuden merkitys hyvinvoinnille on jäänyt vaille kattavaa tieteellistä selitystä. Näkemyksemme mukaan tämä johtuu siitä, että kehollisuuden kokemuksen taustalla vaikuttava interoseptiivinen havaintojärjestelmä ja sen hermostollinen perusta tunnetaan huonosti, ja interoseptio on suurimmalle osalle tiedeyhteisöä tuntematon ja epäselvä käsite. Interoseption tunteminen käsitteellisestä ja neurotieteellisestä näkökulmasta voi osaltaan riisua mystiikan verhoa kehon ja mielen vuorovaikutuksen yltä.

Interoseptio-käsitteen vähäisen tunnettuuden syy lienee, että interoseptio on sekä kokemuksen että aivomekanismien tasolla kätkössä. Toisin kuin, ajan ja paikan suhteen tarkat liikettä ohjaavat diskriminatiiviset aistimukset, kuten näkö- ja kuuloaisti sekä proprioseptio, interoseptio on kokemuksellisesti ulkoisen ympäristön havaitsemisen taustatekijä – havaitsemme asiat interoseption välittämien aistimusten värittäminä niiden virittävyden kautta. Tietoisuuteen noustessaankin interoseptiivinen havainto on paikallisesti eriytymätön (Cameron, 2002; Craig, 2014). Siksi sen subjektiivinen tarkkailu on haasteellista. Interoseption todellinen merkitys onkin paljastunut vasta kuvattaessa sellaisia aivovammapotilaita, joilla on ollut vaurioita interoseptiivista tietoa käsittelevillä aivoalueilla (esim. Damasio, 1994). Näistä siinnyt interoseptiotutkimus on kahden viime vuosikymmenen aikana vähitellen nousemassa marginaalista. Interoseption on esitetty avaavan ratkaisevan uuden näkökulman tunteiden, tietoisuuden, itseyden sekä päätöksenteon tutkimukseen (Craig, 2002, 2009, 2014; Barrett, 2017; Damasio, 1994, 2002; Tsakiris, 2017).

Yleisen käsityksen mukaan kehotietoisuus vaikuttaa hyvinvointiin positiivisesti: mitä paremmin ihminen osaa tarkkailla kehoaan, sitä paremmin hän voi tunnistaa siihen liittyviä riskitekijöitä ja hallita niitä. Siten riskitekijöiden vaikutus hyvinvointiin vähenee, ja ihminen voi paremmin kuin ilman kehotietoisuuden suomia säätelykykyjä. Terapeuttisissa konteksteissa kehollisten ilmiöiden, erityisesti autonomisten reaktioiden merkitystä on alettu ymmärtämään vasta viime aikoina (esim. Karvonen, Kykyri, Kaartinen, Penttonen & Seikkula, 2016; Lampinen ym., 2017). Kehotietoisuuden käsite pitää sisällään kuitenkin hyvin erilaisia ilmiöitä, ja on liian suoraviivaista tulkita kehotietoisuus yksinomaan positiivisena ja tavoiteltavana ilmiönä. Autonomisen hermoston välittämä tieto voi olla myös mielen tasapainoa järkyttävää, turhaa tai haitallista esim. vuorovaikutuksen kannalta. Hedelmällinen lähestymistapa olisikin tarkastella autonomisen hermoston välittämän tiedon roolia ja merkitystä hyvinvoinnin ja psyykkisen terveyden kannalta.

Interoseption käsitteestä

Interoseptio-termin kehitti Charles Sherrington 1900-luvun erottamaan sen motoriikan säätelyyn liittyvästä proprioseptiosta eli lihas- ja liikeaistista (Ceunen, Vlaeyen & Van Diest, 2016). Sherrington määritteli interoseption alun perin havainnoksi sisäelimestä. Se sisältää erityisesti havainnot verenkierto-, hengitys- ja ruoansulatuselimestä, mutta

myös immuunijärjestelmästä, ruoansulatuselimistä, sisäeritysjärjestelmästä, sukupuolielin- ja virtsatiejärjestelmästä. Sisäelimissä, verisuonissa ja ihossa on joukko erilaisia, niiden tilaa monitoroivia aistihermopäätteitä, kuten lämpö-, kipu-, mekano-, kemo- ja osmoreseptoreja, joista on useita, eri fyysikaalisten ärsykkeiden ulottuvuuksiin reagoivia alamuotoja (Cameron, 2002; Craig, 2014; Critchley & Harrison, 2013; Khalsa, Rudrauf, Feinstein & Tranel, 2009). Toisin kuin ihosta ja lihaksista, sisäelimistä tuleva aistitieto ei ole täsmällistä alkuperänsä tai edes sijaintinsa suhteen: esimerkiksi suolen seinämän venyminen tai sitä aistivien reseptorien ärsyttäminen tuottaa epämääräisen emootiomaisen tuntemuksen, jota on vaikea paikantaa (Cameron, 2002; Craig, 2014).

Somaattisessa hermostossa erotetaan kaksi järjestelmää, joista yksi viestittää diskriminatiivista, nopeasti etenevää aistitietoa, mitä käytetään liikkeen ohjaamiseen. Toinen, hitaasti etenevä puolestaan on paikkatiedoltaan puutteellinen, ja sen toiminta on suhteellisesti pysyvämpää; signaalit ovat jatkuvia. Esimerkiksi kivun kaksi muotoa, viiltävä nopea kipu ja hiipivä särky perustuvat näiden kahden eri järjestelmän toimintaan. Myös lihaksista tulevan nopean liike- ja asentoaistitiedon lisäksi niistä aistitaan interoseptiivisesti energiavarastojen tai maitohappojen määrää kemiallisten ergoreseptorien toiminnan varassa. Jälkimmäinen aistimustyyppi ei myöskään paikannu tarkasti tiettyyn raajan osaan, vaan ennemminkin tuottaa eriytymättömän kokemuksen siitä, kuinka paljon lihastyötä yksilö jaksaisi tehdä. Somaattisen aistijärjestelmän hitaat signaalit ihosta ja lihaksista kulkevat samoja ratoja ja samojen hermosolutyyppeiden kuljettamina kuin viskeraalisen järjestelmän lähettämät viestit, mikä viittaisi yhteiseen kehityshistoriaan. Lisäksi neuroanatomian perusteella tiedetään, että saavuttaessaan aivokuoren tason, hitaamman järjestelmän viestit eri sisäelimistä ja muualta kehosta yhdistyvät eri modalityettien kesken ja kertovat kootusti kehon yleisestä tilasta: millainen olo kullakin hetkellä on. Sen vuoksi interoseptiiviset, sisäelimiä koskevat aistimukset sekä somatosensorisen järjestelmän hitaiden eriytymättömien viestien on ehdotettu yhdessä muodostavan interoseptiivisen järjestelmän (Craig, 2002, 2009, 2014).

Nykyisin interoseptiolla saatetaan viitata vielä edellä kuvattua merkitystä laajempaan joukkoon ilmiöitä sisältäen myös proprioseptiivisen havainnon kehosta, eli myös tahdonalaisen liikejärjestelmään liittyvän havainnon (Garfinkel, Seth, Barrett, Suzuki

& Critchley, 2015; Garfinkel ym., 2016). Garfinkel ja kollegat ovat ehdottaneet lisäksi, että interoceptio ei ole yhtenäinen ilmiö. He erottavat kolme interoceptioon liittyvää ulottuvuutta: interoseptiivinen tietoisuus (*interoceptive awareness*), interoseptiivinen herkistyneisyys (*sensibility*) ja interoseptiivinen herkkyys/tarkkuus (*sensitivity/accuracy*). Nämä käsitteet on määritelty operationaalisesti interoception subjektiiivisiin ja objektiivisiin mittareihin nojaten, joita kuvaamme tarkemmin seuraavassa osiossa. Interoception voi nykymerkityksessään käsittää kattotermiksi, joka sisältää sekä havainnon sisäelimestä, tuki- ja liikuntaelimestä, ihon kipu-, lämpö- ja sosiaalisen kosketuksen aistimuksista. Myös tunteita (Herbert, Blechert, Hautzinger, Matthias & Herbert, 2013) ja oppimista (Yoris ym., 2019) koskevia interoseptiivisen tietoisuuden ulottuvuuksia on ehdotettu.

Jotkin subjektiiivisen kehotietoisuuden mittarit koskevat interoceptioaistimusten tuottamaa kehotietoisuutta. Esimerkiksi autonomisen hermoston reaktiivisuutta mittaava *Body Perception Questionnaire* (Porges, 1993), ei-affektiiviset keholliset aistimukset, kuten nälkää ja väsymystä mittaava *Body Awareness Questionnaire* (Shields, Mallory & Simon, 1989) sekä kehon vireystilaa ja valenssia mittaava *Subjective Assessment Manikin* (Bradley & Lang, 1994) mittaavat perinteisen interoseptiokäsitteen mukaisia ilmiöitä. Erityisesti interoseptiota mittaavia subjektiiivisiä mittareita on kehitetty. Niistä tunnetuin lienee MAIA (*Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness*; Mehling ym., 2012). Subjektiiivisten mittareiden validiteettia rajoittaa kuitenkin ihmisen kyky olla tietoinen omista interoseptiivisistä aistimuksista tai arvioida ja kommunikoida niitä.

Käyttäytymistason suoriutumisella mitattu interoseptiotarkkuus (*accuracy*) ei useinkaan ole yhteydessä yllä mainittujen subjektiiivisten mittareiden tai oman suoriutumisen arvioinnin (*sensibility*) tulosten kanssa (Garfinkel ym., 2015).

Yksilöiden metakognitiivisessa arviointikyvyssä (*interoceptive awareness*) on myös tässä suhteessa havaittu eroja. Se kertoo edelleen interoception arvoituksellisuudesta; interoceptioherkät yksilöt eivät aina tiedä olevansa sellaisia!

Interoseptiota voi mitata myös objektiivisilla epäsuorilla mittareilla, kuten suoriutumisella kehotietoisuutta mittaavassa käyttäytymistason tehtävässä, tyypillisesti sydämensykkeen havaitsemistehtävän avulla. Sykkeen havaitsemistehtävänä on perinteisesti joko laskemis- tai samanaikaisuustehtävä.

Molemmissa tutkittavan tehtävä on havaita subjektiivisesti syke ja joko laskea, kuinka monta sykähdystä tietyn ajan sisällä havaitsee (laskemis- tai ”Schandry”-tehtävä, Schandry, 1981), tai verrata havaittua sykähdystä ulkoiseen ärsykkeeseen, tyypillisesti näkö- tai kuulohavaintoärsykkeeseen (diskriminaatio- tai ”Whitehead”-tehtävä, Whitehead, 1977). Tehtävän onnistumista mitataan yhteneväisyydellä objektiivisesti mitattuun sykkeeseen. Kognitiivisesta näkökulmasta samanaikaisuustehtävä vaatii lisäksi eri aistimodaliteettien välisten havaintojen yhdistämistä sekä niiden ajallista erottamiskykyä. Molempia tehtävien luotettavuutta ja pätevyyttä on tarkasteltu laajasti. Vaikka niitä pidetään yleisesti yhtäläisen luotettavina ja pätevinä (Knoll & Hodapp, 1992), toisinaan niiden välillä ei ole nähty yhteyttä (esim. Kleckner, Wormwood, Simmons, Barrett & Quigley, 2015; Schulz & Vögele, 2015). Erityisesti laskemistehtävää on kritisoitu siitä, että ennako-oletukset omasta sykkeestä saattavat edesauttaa tehtävän suorittamisessa (Kleckner ym., 2015). Toisaalta myös perinteistä diskriminaatiotehtävääkin on kritisoitu ja kehitetty yksilöllistä vaihtelua paremmin huomioon ottavaan suuntaan (ks. Brener & Ring, 2016). Muitakin interoception ulottuvuuksia kuin sydämen sykettä koskevia tehtäviä on kehitetty kokeellista tutkimusta varten. Hengityksen tarkkailua varten on hengitysvastustehtävä, jossa tutkittavien tehtävä on hengittää läpimitaltaan eri paksuisten putkien läpi ja arvioidaan vastuksen määrää (esim. Daubenmier, Sze, Kerr, Kemeny & Mehling, 2013). Ruoansulatuselimistön havaintoa on tutkittu käyttämällä suolen tai vatsalaukun venyneisyyttä (*gastric tension*) täytettävän ilmapallon avulla (Herbert, Muth, Pollatos & Herbert, 2012). Herbert ja kollegat vertasivat verenkierto- ja ruoansulatusjärjestelmiin perustuvia interoseptiotehtäviä toisiinsa, ja heidän tulostensa mukaan eri tehtävissä suoriutumisien välillä oli yhteys, eli mittarit olisivat sen mukaan päteviä. Toisaalta syke- ja hengitystehtäviä vertaileissa tutkimuksissa ei ole havaittu yhteneväisyyttä (Garfinkel ym., 2016; Pollatos ym., 2016)

Kysymys siitä, mitä kukin interoseptiotehtävä mittaa, vaatii edelleen tarkentamista. On edelleen epäselvää, kuinka puhtaasti interoseptiivistä kehohavaintoa esimerkiksi sydämensyketehtävä mittaa, vaikka se lienee interoception ulottuvuuksista merkittävin. On mahdollista, että osa viesteistä tulee somatosensoristen aistien varassa vatsaontelosta ja sitä ympäröivästä kudoksesta, sillä somatosensorisen aivokuoren on havaittu aktivoituvan sykkeenhavaitsemistehtävässä (Khalsa ym., 2009). Myös kuuloaisti saattaa sekoittaa interoseptiiviseen havaintoon, koska kuulosuojainten

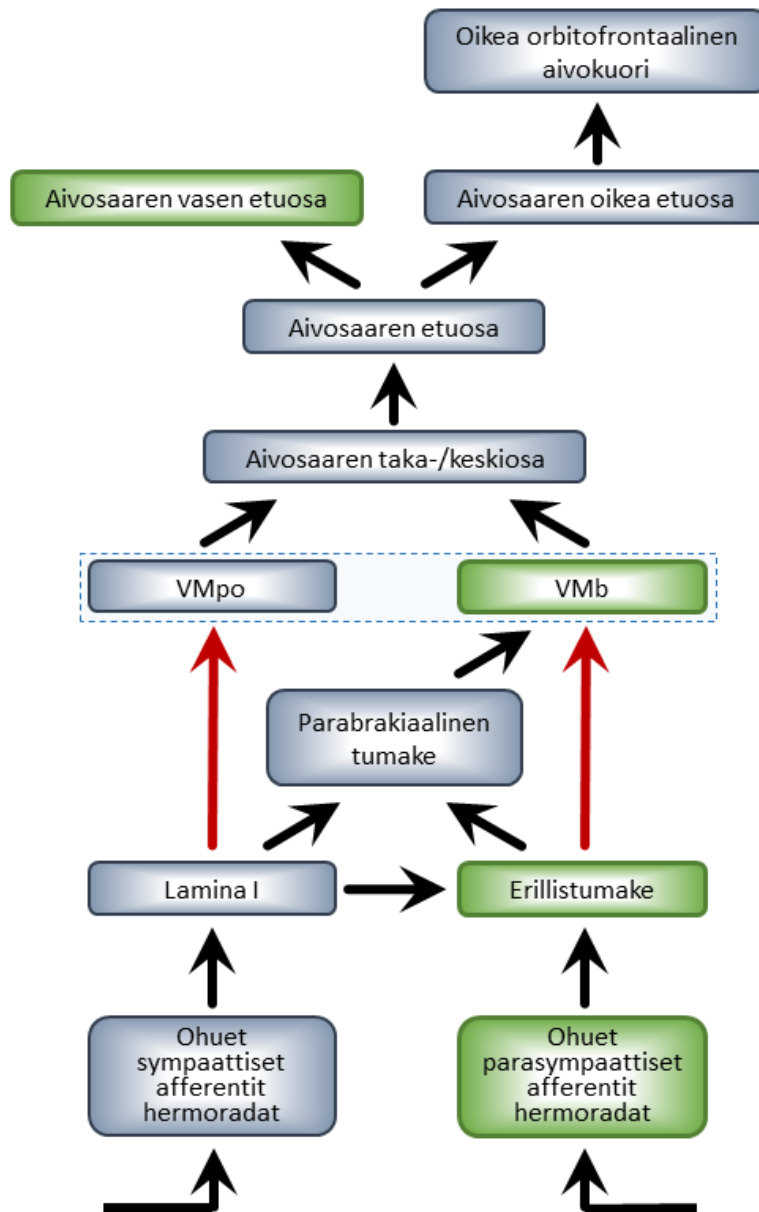
käyttö saattaa parantaa tehtävässä suoriutumista (Hall, Lopes & Yu, 2018). Voisi jopa ajatella, että sykkeen erottelu voi onnistua vain kosketus- ja kuuloaistin kaltaisten erottelevien aistien, ei kokonaisvaltaista tietoa välittävien interoseptiivisten aistien varassa. Vastikään on otettu käyttöön myös kokonaisvaltaisempaa interoseptiota mittaavat korrelatiiviset mittarit subjektiivisen vireystilan arvioinnin sekä vireystilan fysiologisen mittarin välillä. Niiden kohdalla käsitteellinen validiteetti voikin olla perustellumpaa (Baltazar ym., 2014; Kleckner ym., 2017). Joka tapauksessa interoseptio yleisenä kehon yleisen valmiustilan aistimuksena muodostaa erityisen ja perustavanlaatuisen kehotietoisuuden muotonsa.

Interoception hermestollinen perusta

Interoception ääreis- ja keskushermostollisen verkoston tärkeimmät pääteasemat on havainnollistettu Kuviossa 1. Interoseptiiviset signaalit lähtevät sisäelinten, verenkiertojärjestelmän ja ihon kudosten reseptoreista, pääasiassa kudosten kemiallisiin ja mekaanisiin muutoksiin reagoivista vapaista hermopäätteistä. autonomisen hermoston sympaattisen ja parasympaattisen hermoston afferentteja eli tuovia hermoratoja pitkin. Sisäelimet ohjaavat toimintaansa suhteellisen itsenäisesti; esimerkiksi ruoansulatuskanavan enteerinen, ruoansulatuskanavan toimintaa ohjaava hermosto koostuu mekanismeiltaan yksinkertaisista hermosoluista, jotka eivät luokituu tuoviin tai vieviin, sillä ärsytetyn reseptorin viesti muokkaa suoraan kanavan peristaltista, kanavan sisältöä eteenpäin kuljettavaa matamisliikettä (Cameron, 2002; Gershon, 1998). Enteerisen hermoston sadoista miljoonista neuroneista vain muutama tuhat viestittää ruoansulatuskanavan tilasta keskushermostoon. Autonomisen hermoston tuovat hermoradat koostuvat pääasiassa läpimitaltaan kapeista, vähäisesti myelinisoituneista A δ - tai myelinisoimattomista C-hermosäikeistä, mikä tekee niiden viestinkulusta suhteellisesti hidasta. Ne lähettävät jatkuvaa matalataajuista viestiä sisäelinten tilasta joko suoraan aivorunkoon tai sympaattisen hermoston kohdalla ensin selkäytimen läheisiin tumakkeiden ja edelleen selkäytimen lateraalisesti sijoittuvan lamina I –kerroksen ratoja pitkin (Craig, 2014; ks myös Kuvio 1), kun taas selkäytimessä mediaalisesti kulkevat diskriminatiivisia aistimuksia viestittävät läpimitaltaan laajemmat ja vahvasti myelinisoidut hermoradat, joissa viestin kulku on nopeampaa. Interoseptiivinen aistimus ei siis suoraan ohjaa liikkeitä vaan pikemminkin viestittää kehon valmiudesta niihin. Siksi se lienee myös

kokemuksellisesti kokonaisvaltaisempi ja eriytymättömämpi kuin eksteroseptiiviset aistimukset.

KUVIO 1. Interoseptiivisen hermoverkoston tärkeimmät solmukohdat (Craig, 2002, Kuvio 3). VMpo = talamuksen posteriorinen ventromediaalinen tumake, VMb = talamuksen basaalinen ventromediaalinen tumake.



Suurin osa autonomisen hermoston afferenteista viesteistä osallistuu selkäytimen, ydinjatkoksen ja aivorungon tasoilla kehon energiatasoa optimoivaan ja itsensäilytystä palvelemaan automaattiseen homeostaattiseen säätelyyn. Sympaattisen hermoston tuovat viestit kulkevat spinotalamista rataa ja parasympaattisen hermoston viestit aivohermojen (vagus- ja glossofaryngeushermit) kautta (Craig, 2002; Critchley & Harrison, 2013) Kuvion 1 mukaisesti. Jotkin viestit tulevat veri- ja imusuoniston kautta keskushermostoon (ks. Critchley & Harrison, 2013), mutta selkeyden vuoksi sivuutamme ne tässä. Selkäytimen ja ydinjatkoksen tasolla tärkeimmät sensoriset pääteasemat ovat sympaattisen ja parasympaattisen hermoston tuovien ratojen väliaivoja edeltävät päätepiisteet ydinjatkoksen erillistumake (*nucleus tractus solitarius*) ja aivosillan parabrakiaalinen tumake (*parabrachial nucleus*). Ne osallistuvat tällä tasolla peruselintoimintojen – sydämensykkeen/verenpaineen, hengitystiheyden ja ruoansulatuselimistön aktiivisuuden – homeostaattiseen säätelyyn. Viesti näiden tilasta jatkaa integroituna eteenpäin väliaivoihin hypothalamukseen sekä talamuksen mediaalisen alapinnan tumakkeisiin, joista viesti jatkaa edelleen aivokuorelle. Osa kudonsvauriota ja kehon lämpötilaa viestittävästä hermoradoista ohittaa väliaivojen alueet ja jatkaa suoraan aivokuorelle. Homeostaattinen järjestelmä ei välttämättä kykene säätämään kudonsvauriota tai lämpötilaa koskevia muutoksia. Aivokuorelle ohjautuvat viestit palvelevat siten pikemmin yksilön toiminnallista (allostaattista) säätelyä kuin suoraa sisäelinten säätelyä, kuten aivorungon tumakkeiden tapauksessa.

Yleisen käsityksen mukaan sydämen sykkeen havaitseminen perustuu sydämen lähtevien suurten valtimoiden, kuten aortan seinämissä sijaitsevien baroreseptoreiden tuottamiin signaaleihin (Critchley & Garfinkel, 2015). Ne mittaavat verenpaineen muutoksia, minkä varassa aivorungon tumakkeet säätävät sykkeen nopeutta ja lyönnin volyyymia lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Kuitenkaan ei ole selvää, perustuuko sykkeen havaitseminen kokeellisissa asetelmissa aivokuorelle tiheisiin viesteihin, koska myös somatosensorisen aivokuoren alueiden on havaittu aktivoituvan sykkeenhavaitsemistehtävässä, kuten edellä mainitsimme (Knapp & Brener, 1998; Khalsa ym., 2009). Aivot rekisteröivät yksittäisetkin sydämenlyönnit, mikä on osoitettu sykkeeseen liittyvillä herätevasteilla (*heartbeat evoked potential, HEP*, ks. esim. Tallon-Baudry, Campana, Park & Babo-Rebelo, 2018), ja herätevasteen vaiheen

on osoitettu vaikuttavan kognitiivisiin suorituksiin. Kuvaamme tätä ilmiötä artikkelin loppupuolella.

Sisäelimistä lähtevä aistitieto päättyy aivokuoren tasolla pääasiassa aivosaareen (lat. *insula*). Aivosaari osallistuu sisäelinhavainnon lisäksi muun muassa makuaistimusten käsittelyyn. Aivosaari on aivokuoren vanhimpia mutta vähiten huomioita saaneita osia. Anatomisesti se on laskostunut aivokuorella pintarakenteiden sisään ja jää tyypillisesti vähäiselle huomiolle – jopa keskeisissä oppimateriaaleissa. Aivosaaren kohdalla ei ole anatomisesti selvää, kuuluuko se aivojen sensoriseen takaosaan vai niitä säätelevään etuosaan. Se on tyypillisesti luokiteltu joko ohimolohkon osaksi tai kokonaan omaksi, viidenneksi aivolohkokseen. Aivosaari on yhteydessä laajasti eri puolille muuta aivokuorta erityisen pyramidisolutyyppin, von Economo –hermosolujen kautta, joita kuvaa pitkulainen muoto sekä paksut, pitkät hermosäikeet. Niitä esiintyy nisäkäskunnan edustajista suurimmilla lajeilla, norsuilla ja valailla, sekä joillakin kädellislajeilla, ja niiden on ajateltu edesauttavan nopeaa tiedonsiirtoa isoissa aivoissa. Niiden kytkytyneisyys on laajinta ihmisellä, ja onkin spekuloitu, että ne voisivat selittää ihmisen kognition erityisyyttä (Allman, Hakeem, Erwin, Nimchinsky & Hof, 2014).

Aivosaari on jaettavissa kolmeen parin sentin mittaiseen taka-, keski- ja etuosaan, joilla on toisistaan poikkeavat tehtävät. Takaosassa sijaitsevat makuaistin lisäksi sisäelimistä tulevien aistimusten primaariset aistikeskukset. Keskiosassa sisäelimistä saapuvaan aistimustietoon yhdistyy ulkoisten havaintojen aistitieto. Aivosaaren etuosa puolestaan osallistuu laajaan joukkoon kognitiivisia prosesseja. Se on pihtipoimun etuosan ohella useimmin aivokuvantamistutkimuksissa aktiiviseksi havaittu alue. Käsittelemme interoseptioon liittyviä kognitiivisia toimintoja tuonnempana, mutta mainittakoon, että aivosaaren etuosien on havaittu aktivoituvan erityisesti tarkkaavuuteen, toiminnanohjaukseen ja emootioihin liittyvissä tehtävissä. Yhdessä pihtipoimun sekä joidenkin tyvi- ja väliaivojen tumakkeiden kanssa aivosaari muodostaa yhden aivojen perustavan verkoston, ns. ydinkontrolliverkoston (*core control network/salience network*). Verkoston tehtävänä on havaita merkittävät ärsykkeet muiden joukosta ja käynnistää tarvittaessa tarkkaavaisuus- ja työmuistiin liittyvät resurssit (Menon & Uddin, 2010).

Interoseptiiviseen hermoverkoston kuuluvaksi lasketaan usein myös aivokuoren keskiuurteen sisälle, aivokurkiaisien ympärille sijoittuva pihtipoimu. Se edustaa aivosaaressa ja muiden aivokuoren limbisten ja paralimbisten osien tapaan suureksi osaksi kudoserakenteeltaan aivokuoren lajikehityksellisesti suhteellisesti varhaisempia muotoja kuin suurin osa aivokuoresta (Gogolla, 2017). Fysiologisesti ja anatomisesti se on yhteydessä aivosaaressa toimintaan, ja niiden eroa voisi kuvata siten, että aivosaaressa on enemmän aisti-informaatiota käsittelevä, kun taas pihtipoimu on motivaatioon ja kehollisten autonomisten reaktioiden, esimerkiksi emotionaalisten kasvonilmeiden ohjaamiseen liittyvä rakenne (Craig, 2002).

Muillakin aivokuoren osilla, kuten joillain otsa- ja päälakilohkon alueilla on yhteys interoseptioon. Erityisesti somatosensorisen aivokuoren alue 3a osallistuu myös kehon autonomisten signaalien käsittelyyn (Craig, 2003). Alueen kehollisen kartan on arveltu käsittelevän ihosta ja lihaksista saapuvia hitaita, niiden yleistä tilaa koskevia viestejä. Frontaalista alueista esimerkiksi orbitofrontaalisen aivokuoren ajatellaan koodaavan kehollisten sekä maku- ja hajuaistimusten valenssia. Myös aivojen palkkiojärjestelmä, erityisesti tyvitumakkeiden makaava tumake (*nucleus accumbens*) toimii läheisessä yhteydessä pihtipoimun ja aivosaaressa etuosan kanssa. Nämä ilmeisesti käsittelevät yhdessä ulkoisten ja sisäisten ärsykkeiden subjektiivista arvoa (Bartra, McGuire & Kable, 2013; Craig, 2014). Niiden työkajoa voisi kuvata niin, että makaava tumake ja pihtipoimu koodaavat ennakoitua ja toteutuneen palkkion suuruutta ja aivosaaressa etuosan ulkoisen ärsyksen merkittävyyttä (engl. *salience*), myös sen aiheuttaman kehon tilan muutoksen suhteen. Orbitofrontaalinen aivokuori puolestaan vertailee ärsykkeiden arvoa toiminnanohjauksen kannalta. Näiden interoseptioverkoston solmukohtien yhteistoiminta tukee näkemystä, että interoseptiivinen järjestelmä on olennainen osa ulkoisten ärsykkeiden merkityksen kokemuksessa. Kuinka aivot koodaavat subjektiivista arvoa, näyttöä lajimme kehityshistoriassa rakentuneen alun perin kehollisten ja kemiallisten aistien ärsykkeiden arvoa käsittelevien alueiden varaan.

Mitä ylemmäs keskushermoston rakenteen hierarkiassa edetään, sitä paremmin interoseptiivisen hermoverkoston tehtävät ovat kuvattavissa homeostaasin sijaan allostaattisesta säätelystä käsin. Se tarkoittaa vastaamista ulkoisiin haasteisiin tai homeostaasin tilan muutosten ennakoimista (Barrett, 2017; Barrett, Quigley, &

Hamilton, 2016). Aivokuoren tasoilla interoseptiivinen järjestelmä kokoaa yhteen aistimuksen kehon yleisen tilasta, erityisesti vireystilan muutoksista (Craig, 2009). Tästä esimerkki on vuorokausirytmii: kehon vireystila nousee ennen valoisaa aikaa ja laskee ennen pimeää, minkä koemme – interoseptiivisen aistijärjestelmän ansiosta – virkeytenä ja väsymyksenä. Allostaaasi on homeostaasin tavoin vahvasti geneettisesti määräytyntä ja palvelee samoja itsesäilytyksen ja energiankulutuksen minimoinnin tavoitteita. Edellä kuvattu interoseptiivisen hermoverkoston toiminta kytkee interoception vahvasti homeostaasiin mutta myös havaintoon ympäristöstä. Ympäristön kohteiden merkittävyyden arviointi lienee interoseptiivisen aivoverkoston tärkein funktio homeostaasin ohella, ja kokemuksen tasolla puhdas interoseptiivinen aistimus tai tarkkaavaisuuden kohdistuminen siihen on poikkeustapaus. Aivosaaari, erityisesti oikeassa aivopuoliskossa, prosessoi interoseptiivista havaintotietoa myös puhtaana, ja näin käy silloin, kun tarkkailemme tietoisesti edellä kuvatun kaltaisia kehollisia tuntemuksia (Terasawa, Shibata, Moriguchi & Umeda, 2013).

Karkeasti yleistäen keskus- ja ääreishermostossa kehoaistimuksia käsitellään sekä nopean (proprioseptiiviset) että hitaan (autonomiset/interoseptiiviset) viestinnän kautta. Erityisesti jälkimmäisiä käsitellään usealla tasolla: alimmalla tasolla liittyen kehon sisäisen tasapainon säätelyyn ja ylemmillä erityisesti kehon ja ympäristön välisen yhteyden säätelyyn. Tätä kautta interoception ohjaa ja säätelee kognitiivisia prosesseja. Seuraavassa kuvailemme tarkemmin, mitä tämä voisi tarkoittaa.

Interoception merkitys ihmisen tiedonkäsittelylle

Kuten aiemmin todettiin, interoception tehtävä on ensisijaisesti ylläpitää kehon energiatasapainoa ei-tietoisella tasolla ja toissijaisesti motivoida aktiivista toimintaa ympäristössä. Interoception tehtävä on tällöin ulkoisten havaintosisältöjen ennakoiva arvottaminen, ja valikointi allostaaattisen tasapainon saavuttamiseksi. Kehon energiatasapainoa uhkaavat, yllättävät tai muuten merkittävät ärsykkeet nousevat tarvittaessa tietoisuuden piiriin. Interoseptiivisiä aistimuksia voi tuoda tietoisuuden piiriin myös tarkkaavuuden suuntaamisen avulla, kuten sykkeen havaitsemistehtävässä. Interoception on ehdotettu liittyvän vahvasti tietoisuuteen muutenkin kuin tässä mielessä. Usea interoseptioteoreetikko on kiinnittänyt tietoisuuden perustan interoseptiivisen järjestelmän toimintaan. Kuvaamme ehdotuksia tässä lyhyesti.

Merkittävyyden käsittelyn kautta interoseption vaikutus ulottuu ulkoisen havainnon perusmekanismeihin saakka. Koska interoseptiivinen havainto on jatkuva, se on jatkuvasti läsnä ulkoisen havainnon yhteydessä. Tämän näkemyksen vievät pisimmälle teorit, jotka kytkevät interoseption tietoisuuden tai tajunnallisuuden ytimeen. Havainnot kehosta ja ympäristöstä eroavat toisistaan siten, että kehon sisäiset havaintosisällöt ovat suhteellisesti pysyvämpiä kuin kehon ulkoiset havaintosisällöt (esim. Damasio, 1994, 2002). Interoseptio ja muu havainto kehosta tuottaa siten aistimuksen ”itsestä”. Jotkin teoreetikot ovatkin ehdottaneet, että interoseptiiviset aistimukset – erityisesti sydämen sykkeestä – muodostavat ensimmäisen persoonan perspektiivin ulkoiselle havainnolle (Cameron, 2002; Craig, 2009, 2014; Damasio, 2002; Park & Tallon-Baudry, 2017; Seth, Suzuki & Critchley, 2011; Tallon-Baudry ym., 2018). Interoseptio on varmasti merkittävä tietoisuudelle tyypillisen subjektiivisen, ensimmäisen persoonan rakenteen muodostumisen kannalta (ks. Legrand, 2007; Tsakiris, 2017). Lienee kuitenkin mahdollista, että tietoisia aistimuksia voisi esiintyä ilman ensimmäisen persoonan rakennetta, ja siten ilman yhteyttä interoseptioon, esimerkiksi unen aikana (ks. Revonsuo, 2006). Tämänkaltaiset kokemukset ovat poikkeuksellisia, mutta riittävät silti erottamaan käsitteellisesti interoseption tietoisuudesta.

Vaikka tietoisuus ei riippuisi interoseptiosta, interoseptiolla on suuri vaikutus tietoisuuteen muutenkin kuin kokemuksen ensimmäisen persoonan rakenteen muodostumisen kannalta. Sykkeestä kumpuava aistitieto päätyy aivokuorella ensi sijassa aivosaaressa, mistä aistitietoa tihkuu jatkokäsittelyyn kohti etuosia. Aivosaaressa aktivaatiolla lienee merkittävä asema ärsykkeiden havaitsemisen nousemisella tietoisuuden piiriin (Salomon ym., 2016). Interoseption ja tietoisuuden välinen yhteys on uusi ja mielenkiintoinen aihepiiri, josta on odotettavissa tulevaisuudessa paljon uusia tutkimustuloksia ja teoreettisia näkökohtia. Mielestämme tärkein interoseption funktio tietoisuudelle on valikoida sisältöjä tietoisesta havainnon kohteeksi niiden merkittävyyden perusteella, ja tutkimukset aivosaaressa osana ydinkontrolliverkoston toimintaa tukevat tätä näkökantaa. Pääasiassa aivosaaressa ja pihtipoimun etuosien muodostaman ydinkontrolliverkoston tehtäväksi on ehdotettu muiden hermoverkkojen päälle ja pois kytkeminen siten että kulloinkin tarvittava toiminnallinen verkosto on kerrallaan toiminnassa. Ydinkontrolliverkosto käynnistää, tilanteesta riippuen, toiminnanohjauksesta ja ulkoisesta tarkkaavuudesta vastaavan

hermoverkon ja sulkee oletusverkon (engl. *default mode network*) tai toisin päin (Menon, 2015; Menon & Uddin, 2011; Salomon ym., 2016; Uddin, 2015). Tällä tavoin interoseptiojärjestelmä voi osallistua tarkkailtujen – ja siten tietoisten – sisältöjen valintaan koodaamansa merkittävyyden perusteella.

Autonomisen hermoston toiminnan on pitkään tiedetty reagoivan merkittäviin havaintosisältöihin hidastuneella sykkeellä, minkä ajatellaan palvelevan informaation keräämistä ympäristöstä (ns. orientaatiorefleksi, ks. Bradley, 2009). Toisaalta kehon vireystilan tiedetään vaikuttavan kognitio- ja havaintotoimintoihin (Sara, 2009). Interoseptiivisen aistijärjestelmän kautta kehon rytminen toiminta näyttäisi vaikuttavan havaintoon (Critchley & Garfinkel, 2015; Tallon-Baudry ym., 2018). Esimerkiksi sykkeeseen liittyvien aivovasteiden kasvun on havaittu tehostavan havaintoja: kun aivovaste sykkeeseen oli voimakkaampi, myös havaintokynnyksellä olevien visuaalisten ärsykkeiden havaitsemisen todennäköisyys oli suurempi (Park, Correia, Ducorps, & Tallon-Baudry., 2014). Vastaavasti hengityksen vaihe saattaa vaikuttaa tiedonkäsittelyyn: ärsykeisisältöjen muuntaminen pitkäkestoista muistamista varten näytti riippuvan hengityksen vaiheesta (Huijbers ym., 2014) ja havaintokynnyksellä esitetyt ärsykkeet havaittiin paremmin ulos- kuin sisäänhengityksen aikana (Flexmann, Demaree & Simpson, 1974). Kotimaassamme tehdyissä tutkimuksissa sydämen ja hengityksen rytmin vaiheen on havaittu muokkaavan ehdollistumisoppimista (Waselius, Wikgren, Hakola, Penttonen & Nokia, 2018; Waselius, Wikgren, Penttonen & Nokia, 2019). Nämä tulokset voidaan tulkita siten, että kehon rytmin vaiheet viestivät erilaisesta viriävyyden tilasta, miltä pohjalta aivot tulkitsevat toiset kohteet merkittävämmiksi kuin toiset. Vaihtoehtoisesti voi olla, että jossain sykkeen tai hengityksen vaiheessa tietynlaisen informaation prosessointi hankaloituu.

Joka tapauksessa mielen tehokas toiminta näyttäisi riippuvan aistitusta kehon tilasta. Se voisi olla yksi kiinnostavimmista tutkimusaiheista tulevaisuudessa urheilupsykologiassa, missä autonominen säätely on käsitetty lähinnä ei-tietoisena itsenäisenä järjestelmänä (Fisher ym., 2015). Urheilijan on mahdollisuus sekä havaita että käsitellä automaattisesta säätelystä tietoisuuteen tihkuvaa aistitietoa kehon yleisestä valmiustilasta. Edellä kuvattu interoseptio-aistijärjestelmään liittyvä toiminta kuvaa yksilön kehollisten toimintojen tasolla, kuinka ihminen kykenee aistimaan

kehonsa sisäistä tilaa ja kuinka se palvelee sen energiataloudellista ja aineenvaihdunnallista tasapainoa. Interoseption merkitys tulee ymmärrettäväksi tarkasteltaessa interoseption tehtävää ihmisen toiminnassa; interoseptio ei ole pelkästään kehohavainto, vaan se osallistuu laajasti myös ulkoiseen havaintoon ja toiminnan suunnitteluun.

Erityisesti emootiotutkimus on havainnollistanut, miten interoseptio kytkeytyy tunteiden tapauksessa ulkoiseen havaintoon ilmaisemalla tunnekokemuksen kohteen merkittävyyttä yksilölle. Toisin sanoen, kehon autonomisen hermoston välittämät fysiologiset muutokset värittävät kokemuksen tunnesisältöä. Ne määrittävät siten kokemusten ja niiden kohteiden merkityksellisyyden ja motivoivat ja valmistavat toimintaan niiden suhteen. Sydän reagoi merkittäviin havaintoihin, ja kehon tilan muutos rekisteröityy aivoissa luoden kokemuksen kohteen merkittävyydestä. Yhden emootioteorian mukaan emootiot ovatkin havaintoja yksilön ja ympäristön suhteesta; hämähäkin pelko on hämähäkin havaitsemista uhkaksi yksilölle tai suru havainto jonkin tärkeän poissaolosta tai menettämisestä (Prinz, 2004). Kukin emootio siis esittää oman ydintemansa mukaisesti ympäristön ärsykkeet. Kuhunkin emootioon liittyy kokemus tarkoituksenmukaisesta, toimintaan valmistavasta kehon reaktiosta, esimerkiksi pakoon valmistavasta sykkeen noususta pelon tapauksessa.

Myöhempi tutkimus on esittänyt, että interoseption merkitys havainnolle ulottuu myös emootioiden ulkopuolelle. Saman näkökulman voi ottaa myös kipuun tai motivationaalisiin affektiivisiin tiloihin. Merkittävyys koodautuu jonkinlaisina kehollisina merkkeinä (*somatic markers*, ks. Damasio, 1994, 2002). Kehollisten reaktioiden lisäksi aivosaaren etuosa kykenee käsittelemään merkittävyyttä muutenkin kuin kehollisten reaktioiden kautta ilmeisesti näitä simuloimalla. Interoseptio liittyy myös valenssin, eli havaittujen kohteiden ja kehon reaktioiden koetun positiivisuuden vs. negatiivisuuden käsittelyyn (Critchley & Harrison, 2013). Aivosaari kuuluu valenssia käsittelevään hermoverkostoon yhdessä erityisesti orbitofrontaalisen aivokuoren sekä tyvitumakkeiden ventraalisten osien kanssa (Craig, 2009), jotka kuuluvat aivojen palkintojärjestelmään. Sitä kautta interoseptiolla on vaikutus myös ehdollistumisoppimiseen (Craig, 2014; Xiang ym., 2013). Interoseptioherkillä yksilöillä on havaittu muita voimakkaampaa taipumusta ehdollistumisoppimiseen (Katkin ym., 2001).

Edellä kuvatut neuraalisen tason löydökset ovat informatiivisia sen suhteen, miten ja millä tasoilla interoseptio liittyy ulkoisen ympäristön ja sen kohteiden käsittelyyn. Nämä suhteellisen uudet löydökset avaavat aivojen ja kehon (erityisesti autonomisen hermoston) välisen tiedonkulun merkitystä uudesta näkökulmasta. Sydämen sykkeen osalta tämä tarkoittaa sitä, että sykkeen ja sykevälivaihtelun muutoksia ei tarkastella ainoastaan osana efferenttiä motorista järjestelmää, *aivojen* tekemän tulkinnan välittäjänä esim. valmiusreaktioon ja sitä kautta havaintoon (vrt. yllä orientaatiovaste), vaan lisäksi osana afferenttia sensorista järjestelmää, jolloin *autonominen hermosto* välittää tietoa aivoihin. Yleistäen voisi luonnehtia, että ainakin tietoisien interoseption tärkein tehtävä on arvioida ulkoisen ympäristön ja sen kohteiden merkitystä yksilölle. Sydämen syke viestii interoseptiivisesti havainnon kohteiden merkittävydestä – interoseptiojärjestelmä osallistuu arvioimaan, kuinka meidän tulisi suhtautua havainnon kohteisiin, ja tarvittaessa virittää kehon sopivaan tilaan allostaattisen säätelyn periaatteen mukaisesti (Barrett, Quigley & Hamilton, 2016). Ennakoivan koodauksen lähestymistavan (*predictive coding*, Barrett, 2017; Barrett, Quigley & Hamilton, 2016; Friston, 2010) näkökulmasta, jossa aivot nähdään aktiivisena hypoteesien muodostajana passiivisen informaationkäsittelyn sijaan, aivosarta on ehdotettu kehollisten ennustuksien ja reaktioiden vertailemisen keskuksiksi (Barrett, 2017; Barrett, Quigley & Hamilton, 2016; Paulus & Stein, 2006). Mitä poikkeavampi havainto on ennusteeseen nähden, sitä merkittävämpi se on jatkokäsittelyä ajatellen (Menon & Uddin, 2011). Uutuus-/tai yllättävyysarvo lisää tällä tavoin havainnon mahdollisuutta tulla tietoisien prosessoinnin kohteeksi.

Arviointiin liittyvän roolinsa kautta interoseptiivisen aivoverkoston toiminnalla lienee suuri merkitys ihmismielen tiedonkäsittelyn useilla osa-alueilla (Kleckner ym, 2017), vaikka tutkimus tällä alueella on vielä jokseenkin hajanaista. Erityisesti ydinkontrolliverkoston tehtävänä on motivoida ja ohjata tarkkaavaisuutta ja sosiaalista vuorovaikutusta koskevia aivoalueita. Itse aivosaaressa on paikannettu myös emotionaaliseen empatiaan liittyviä toimintoja, heijastaen tiedonkäsittelyä sekä omaan että toisen yksilön kehoon liittyvistä affektiivisista reaktioista (Jacoboni & Lenzi, 2002). Ihmisen kokema affektiivisen empatian tunne sekä simulaatiivisen toisen ihmisen näkökulman kuvittelun on arveltu rakentuvan tämän hermoverkon toiminnan varaan. On jopa esitetty erityisiä hermeneuttisia ennustavan koodauksen teorioita, miten interoseptiivinen järjestelmä toimii sosiaalisessa vuorovaikutuksessa

(Friston & Frith, 2015); vuorovaikutus koostuu molemminpuolisesta omien ja toisen kehon reaktioiden ennakoimisesta, mikä tuo taustavireen ja arvolatauksen vuorovaikutuskokemukseen. Vastaavanlainen tulkinta interoception vastaavasta roolista jo kiintymyssuhdeteorioiden kuvaamassa varhaisessa vuorovaikutuksessa on esitetty: homeo- ja allostaattinen säätely sijoittuu yksilön sijaan lapsen ja hoitajan muodostamaan dyadiin (Murphy, Brewer, Catmur & Bird, 2017; Fotopoulou & Tsakiris, 2016). Interoseptiivistä ennustavan koodauksen teoriaa onkin näistä lähtökohdista sovellettu selittämään ihmisen hyvinvointiin liittyviä seikkoja.

Interoseptio, yksilölliset piirteet ja hyvinvointi

Ihmiset poikkeavat sen suhteen, kuinka herkästi he tuntevat – tai kokevat tuntevansa – kehon sisäisiä aistimuksia. Interoseptioherkkyyden voi määritellä piirteenomaiseksi herkkyydeksi sisäelimestä tulevalle hermostollisille viesteille (Herbert & Pollatos, 2012). Tämän herkkyyden ajatellaan yleisesti olevan biologisesti määrätynyt ja sen ajatellaan pysyvän suhteellisen vakaana halki ihmisen elinkaaren.

Interoseptioherkkyyden voi siksi nähdä ihmisen biologisesti määrättyneenä, ”konstitutionaalisenä” piirteenä, samaan tapaan kuin persoonallisuus- tai temperamenttipiirteet (Garfinkel & Critchley, 2013). Yksi mielenkiintoinen kysymys onkin, millä tavoin interoseptio liittyy muihin vastaaviin piirteisiin.

Interoseptioherkkyys on yleisimmin liitetty ahdistusherkkyyteen (*anxiety sensitivity*) ja piirreahdistukseen (*trait anxiety*). Tätä yhteyttä on kuitenkin tarkasteltu painottuen kliinisiin ryhmiin ja harvemmin osana yksilöllistä temperamenttia – korostuneeseen ahdistustaipumukseen liittyy voimakkaampi tendenssi tarkkailla ja havaita kehon fysiologisia signaaleja (Khalsa ym., 2016). Toinen piirre, joka on liitetty interoception, on persoonallisuuden ekstraversio–introversio-ulottuvuus.

Introversion on havaittu olevan yhteydessä interoception aivoaktivaation (Terasawa ym., 2013) sekä oppimisen (Pfeifer ym., 2017) tasolla. Kolmas interoseptioherkkyyteen yhdistetty piirre on emootioiden koettu intensiteetti: mitä korkeampi itsearvioitu tunteiden kokemisen intensiteetti, sitä suurempi on interoseptioherkkyys (Wiens, Messacappa & Katkin, 2000; vrt. Cali ym., 2015). Sekä voimakkaampi piirreahdistus että introversiotaipumus ovat yhteydessä korkeaan emootioiden intensiteettiin, eli kaikki yhteydet saattavat olla jonkin perustavanlaatuisen piirreitaipumuksen välittämiä.

Interoseptioherkkyyden ja ahdistustaipumuksen yhteyden on tulkittu liittyvän erityisesti autonomisen hermoston reaktiivisuuteen, minkä on oletettu lisäävän huomion kiinnittämistä kehoon (esim. Domschke, Stevens, Pfleiderer & Gerlach, 2010; Schulz & Vögele, 2015). Tutkimustuloksissa on kuitenkin poikkeavuutta, eikä tarkkaa käsitystä ahdistuksen ja interoseption välisestä yhteydestä ole vielä kyetty muodostamaan (Domschke ym., 2010; Yoris ym., 2015). Yksi syy eriaviin tuloksiin lienee interoseption tutkimukseen käytetty sykkeen havaitsemistehtävä; ilmeisesti nopeampi syke helpottaa laskemista, kun taas hitaampi syke edesauttaa samanaikaisuuden vertailua (Fairclough & Goodwin, 2007; Knapp-Kline & Kline, 2007; Schulz, Lass-Hennemann, Sütterlin, Schächinger & Vögele, 2013). Tutkimuksemme mukaan interoseptioherkkyyden yhteys piirreahdistukseen, introversioon sekä koettuun tunteiden intensiteettiin selittyisi juuri välttämiskäyttäytymistäipumuksella (*behavioral inhibition*; Carver & White, 1994; Lyyra & Parviainen, 2018). Se määritellään yleisesti rangaistussensitiivisyydeksi, jolla myös on havaittu yhteys interoseptioherkkyyteen (Sokol-Hessner, Hartley, Hamilton & Phelps, 2015). Välttämismotivaation ja autonomisen reaktiivisuuden on ajateltu olevan yhteydessä, erityisesti parasympaattisen hermoston kautta (Keltikangas-Järvinen, Kettunen, Ravaja & Näätänen, 1999). On ymmärrettävää, että fysiologinen reaktiivisuus voi lisätä interoseptioherkkyyttä, mutta yhteys voi olla myös vastakkaissuuntainen; välttämismotivaatio saattaa herkistää enemmän sisäisille kuin ulkoisille havainnoille. Havaittujen yhteyksien kausaalinen selittäminen vaatii lisää tutkimusta.

Koettuun hyvinvointiin vaikuttavat merkittävästi biologiset ja psykologiset suhteellisen pysyvät piirteet (Bartels, 2015), ja persoonallisuuden osa-alueiden on osoitettu kytkeytyvän koettuun psykologiseen hyvinvointiin yli aikuisuuden (Kokko ym., 2015). On luultavaa, että myös interoseptio vaikuttaa hyvinvointiin suoraan tai yhdessä muiden piirteiden kanssa. Interoseption, piirreahdistuksen, introversion ja välttämismotivaation välisen vahvan kytköksen myötä interoseptioherkkyys on yhteydessä keskimääräistä vähäisempään koettuun hyvinvointiin. Tällainen julkaisematon havainto oli myös oman tutkimuksemme (Lyyra & Parviainen, 2018) yhteydessä: interoseptioherkät yksilöt raportoivat kokevansa tyytyväisyyttä elämäänsä vähemmän kuin muut. On kuitenkin ennen aikaista ajatella, että interoseptioherkkyys altistaisi heikentyneelle hyvinvoinnille. Oletettavasti interoseptioherkkyyden yhteys

heikentyneeseen hyvinvointiin johtuu siitä, että ne molemmat ovat yhteydessä samoihin temperamenttitaipumuksiin. Analyysimme ei kuitenkaan osoittanut, että interoseptio välittäisi tai moderoisi välttämismotivaation ja alhaisen elämäntyytyväisyyden välistä yhteyttä. On huomioitava myös, että hyvinvoinnin mittaaminen kyselylomakkeilla sisältää aina rajatun tulkinnan ja hyvinvoinnin määritelmän. Sekä välttämismotivaatio että elämään tyytyväisyys tyypillisesti mitataan kyselylomakkein. On mahdollista, että hyvinvoinnin sijaan kyselylomakkeet heijastavat samaa taipumusta kuin välttämismotivaatiokyselyn kysymykset – taipumusta välttää voimakkaita negatiivisia kokemuksia. Kyselylomakkeiden taustalla olevien tekijöiden välisiä riippuvuuksia voidaan pyrkiä ymmärtämään esimerkiksi käyttäytymisgeneettisillä (kaksos-) tutkimuksilla, jotka ovatkin esittäneet koetun hyvinvoinnin ja persoonallisten taipumusten heijastavan yhteistä geneettistä taustaa (Weiss, Bates & Luciano, 2018).

Interoception yhteyttä tunteiden säätelyn strategioihin on myös kartoitettu (Füstos, Gramann, Herbert & Pollatos, 2013). Tunteiden säätelyn strategioita arvioidaan tyypillisesti tilanteen uudelleen arvioinnin ja tunteiden tukahduttamisen välisen tasapainon näkökulmasta. Uudelleenarvioinnin ajatellaan olevan pitkäaikaisen hyvinvoinnin näkökulmasta toimivampi ja suotuisampi tunteiden säätelykeino kuin tukahduttaminen. Interoseptioherkkyys näyttäisi liittyvän taipumukseen soveltaa nimenomaan uudelleenarvioinnin strategiaa tunteiden säätelyssä (Füstos ym., 2013.). Toisaalta Füstos ja kollegat arvelivat, että interoseptioherkkyys suo jonkinlaisen suoran säätely-yhteyden kehoon, mikä puuttuisi vähemmän interoceptionin suhteen herkiltä henkilöiltä. Pollatos, Matthias ja Keller (2015) havaitsivat, että interoseptiivisesti herkät yksilöt näyttivät käsittelevän tehokkaammin sosiaalisen hyljeksinnän vaikutuksia. Samansuuntaisia havaintoja ovat esittäneet van 't Wout, Faught ja Menino (2013): interoseptiivisesti herkät yksilöt näyttivät Ultimatum-pelissä (palkkioon ja rangaistuksiin liittyvä) kykenevän pysymään emotionaalisesti neutraalimpina kuin kontrollihenkilöt saadessaan pelissä epäreiluja tarjouksia. Edellä kuvatut tulokset viittaavat jonkinlaiseen erityiseen kykyyn säädellä emotionaalisia reaktioita interoseptioherkillä yksilöillä. Kun pohditaan tätä tulosta suhteessa kohonneeseen välttämismotivaatioon, nousee jälleen kysymys kausaalisuhteesta näiden tekijöiden välillä: välttämismotivaatio, uudelleenarviointistrategia ja interoseptioherkkyys. Sensitiivisyys autonomisen hermoston signaaleille saattaa

ohjata yksilön persoonallisia taipumuksia ja tunteidensäätelyn strategiaa, mutta toisaalta myös uudelleen arviointiin taipuvainen tunteidensäätelystrategian voi olettaa kehittävä kehon tarkkailuun liittyviä mekanismeja.

Interoseption ja hyvinvoinnin välisen yhteyden ymmärtämiseksi on hyvä tarkastella, kuinka ihmisten kehollinen herkkyys eroaa heidän käsityksistään siitä. Henkilöt, jotka objektiivisesti mitattuna pystyivät tunnistamaan sydämen sykkeensä tarkasti, eivät välttämättä tienneet tähän pystyvänsä, ja päinvastoin, subjektiivinen kokemus tarkasta interoseptiosta ei yhistynyt objektiiviseen tarkkuuteen. (Garfinkel ym., 2015). Siksi on hyvä erottaa yhtäältä interoseptiiviset aistimukset (ja herkkyys niille) sekä toisaalta niitä koskevat käsitykset tai uskomukset. Suuri osa subjektiivisesta kehotietoisuudesta sijoittuu uskomusten tasolle. Yksilö saattaa herkkyytensä mukaisesti antaa erilaisen painoarvon havaitsemalleen sykkeen kohoamiselle. Kehotietoisuuden vaikutuksia arvioitaessa tämä on erityisesti otettava huomioon; interoseptiivisesti herkät yksilöt eivät ilmeisesti yhtä helposti lataa kehollisiin reaktioihin ja niiden seurauksiin negatiivisia uskomuksia, kuten hieman kohonneen sykkeen ennakoivan voimakasta ahdistusta tai paniikkia (esim. Paulus & Stein, 2010; Schulz & Vögele, 2015; Domschke ym., 2010).

Näillä havainnoilla saattaa olla yhteys siihen, että kehon havainnointiin liittyviä harjoitteita, kuten mindfulness-harjoitteita, tehneet henkilöt eivät näytä suoriutuvan muita paremmin sykkeenhavaitsemistehtävissä (Gibson, 2019). Voisi ajatella, että mindfulness-harjoitus toimii ylemmällä, käsitteellisellä ja ohjaavalla tasolla, jolle myös masennukseen liittyvät kehon reaktioita koskevat uskomukset sijoittuvat (vrt. Paulus & Stein, 2010; Khalsa & Feinstein, 2019). Mindfulness-harjoitukset saattavat auttaa ihmistä arvioimaan tarkemmin ja neutraalimmin kehollisia reaktioitaan, vaikka eivät niitä voisi interoseptiivisellä aistitasolla tarkentaa. Mielenkiintoinen kysymys on, toimivatko kehon tarkkailuun liittyvät harjoitteet eri tavalla interoseptioherkkien yksilöiden kohdalla tai tarvitseeko niiden lainkaan korvata näiden yksilöiden oletettua suoraa kykyä säädellä kehollisia reaktioitaan. Aiheen tutkimus saattaisi selventää, miksi erilaiset yksilöt hyötyvät enemmän tai vähemmän kehoon liittyvistä interventioista. Tutkimuslöydösten mukaan myös interoseptiivistä herkkyyttä voi parantaa harjoituksella, ja myös tällä voi olla merkitystä kliinisten tilojen

näkökulmasta (Caria ym., 2007; Domschke ym., 2010; Farb ym., 2013; Schandry & Weitkunat, 1990).

Toinen kliininen piirre, millä on havaittu vahva – tosin negatiivinen – yhteys interoseptioherkkyyteen, on aleksitymia. Aleksitymia on vaikeus tunnistaa ja raportoida erityisesti kehollisia tuntemuksia, kuten emootioita ja ruumiillisiin tarpeisiin liittyviä affektiivisia tuntemuksia. Piirreahdistuksen tavoin aleksitymia voi olla kliinisen tilan lisäksi yksilöllinen ominaisuus, jonka mukaan kaikki ihmisyksilöt vaihtelevat. On teoretisoitu, että aleksityymiset piirteet kehittyvät, jos kehon signaalien tunnistaminen on hankaloitunut fyysisestä tai psyykkisestä kehityksellisestä syystä (Brewer ym., 2016). Aleksityymisillä piirteillä on havaittu komorbiditeetti esimerkiksi autismin (Murphy ym., 2017) ja skitsofrenian (Ardizzi ym., 2016) kanssa. Myös syömishäiriöillä on havaittu vääristyneitä vasteita kehollisiin viesteihin erityisesti ruokailua edeltävinä hetkinä (Herbert ym., 2013; Khalsa ym., 2019).

Aleksitymian tapaan poikkeamat interoseptiivisten aistimisen herkkyydessä, sen tulkinnaissa ja ennakoinnissa saattavat vääristää emotionaalisen vuorovaikutuksen merkityksiä lisäksi masennushäiriöissä (Barrett & Simmons, 2015; Barrett ym., 2016; ks. myös Paulus & Stein, 2010; Pollatos, Traut-Massauch & Schandry, 2009). Koska interoseptiiviset aistimukset ovat monessa mielessä keskeinen mutta näkymätön osa ihmisen kognitiota, kuten edellä on esitetty, sillä on perustavia vaikutuksia kaikkeen tiedonkäsittelyyn. Tästä näkökulmasta niiden on esitetty avaavan uuden näkökulman myös ihmisten väliseen vuorovaikutukseen ja sitä kautta klinisiin ilmiöihin. Vuorovaikutusta on alettu tarkastella myös kehollisten signaalien synkronisaation tasolla. Interoseption keskeistä tehtävää sosiaalis-emotionaalisen dialogin kehollisella tasolla on kuvattu hermeneuttisen lähestymistavan avulla (Friston & Frith, 2015). Se on avaamassa kokonaan uuden näkökulman myös kliinisten tilojen kuvaamiseen. Edellä kuvattuja kliinisiä häiriöitä yhdistävät siis heikentynyt kyky havaita ja/tai hyödyntää kehollisia signaaleja itsesäätelyssä ja vuorovaikutuksessa. Murphy ja kollegat (2017) ovat ehdottaneet, että aleksityymiset piirteet muodostavat ”p-faktorin”, joka on yhteinen useille kliinisille tiloille. Ajatus on, että mielenterveyden ongelmat voidaan yleisesti nähdä interoseptiivisen allostattaisen säätelyn ongelmina, mitkä ilmenevät esimerkiksi mitattavina aleksityymisten piirteinä,

interoseptioherkkyyden sekä vuorovaikutuskyvyn puutteena. Interoception on ehdotettu tarjoavan uusia mahdollisuuksia etsiä nk. mekanistisia biomarkkereita psykiatriisiin sairauksiin, joiden avulla voidaan tarkastella sairauksien etenemistä tai hoidon vaikuttavuutta (Khalsa & Lapidus, 2016). Tämä uusi tutkimuslinja kaippaa vielä lisätutkimusta tuekseen.

Interoception voi myös ajatella luovan sillan biologisen ja psykologisen tason kuvausten välille, millä on olennaisen tärkeä rooli psykiatristen sairauksien teoreettisessa ymmärtämisessä. Interoception kliininen merkitys tulee esiin siinä, että se auttaa ymmärtämään ilmiöitä, jotka ylittävät perinteiset lääketieteen kentät. Tämä on ilmeistä esimerkiksi, kun tarkastellaan vaikkapa masennusta, jonka taustalla interoseptiivisellä tiedonkäsittelyllä on esitetty olevan keskeinen rooli. Näissä lähestymistavoissa on ehdotettu masennukseen liittyvän poikkeavan tiedonkäsittelyn aivojen limbisessä järjestelmässä nimenomaan viskeromotorisen, eli autonomisen hermoston sensorimotorisen tiedonkäsittelyn alueilla. Tällaisten poikkeamien on esitetty johtavan vääristyneeseen tulkintaan elimistön tilasta, esimerkiksi sydämen sykkeen nousun havaitsemisesta. Se johtaa stressivasteen käynnistymiseen ja elimistön puolustusjärjestelmän aktivoitumiseen. Tähän liittyvä matala-asteinen tulehdustila kasvattaa elimistön allostaattista kuormaa, ja aivot pyrkivät reagoimaan tällaisen stressin kaltaiseen, energiankulutusta lisäävän tilan edellyttämällä tavalla. Tämä aiheuttaa esimerkiksi masennukselle tyypillisen psyykkisen ilmiön, jota kuvaa energian vähäisyys, väsymys ja matala mieliala. Tässä skenaariossa interoceptio edustaa olennaisesti autonomisen hermoston välittämää tietoa kehon tilasta, jolla on keskeinen merkitys ihmisen käyttäytymisen ja ympäristön tulkintojen ohjaamisessa. Evoluutio, yksilökehitys ja oppiminen rakentavat aivojen rakenteellisen ja toiminnallisen verkoston, jonka pohjalta ihminen toimii sujuvasti ympäristössään. Jos tämä aivojen toimintaa ohjaava kaava toimii epäoptimaalisesti, tai on jollakin tapaa vaurioitunut, se voi ohjata ihmistä havainnoimaan ympäristöä vääristyneiden lasien läpi. Tämä vääristymä ei rajoitu vain hetkellisiin havaintoihin, vaan on todennäköistä, että se myös ohjaa ihmisen omaa toimintaa suhteessa ympäristöön, vahvistaen vääristynyttä yksilö–ympäristö-vuorovaikutusta.

Vaikka interoception tiedonkäsittelyllisissä ja hermostollisissa mekanismeissa on vielä runsaasti selvittävää, aihetta koskevan tutkimuksen viimeaikaiset löydökset ja

teoriat ovat paljastaneet, kuinka sisäelinten ja autonomisen hermoston toiminta yhdessä vaikuttavat mieleen. Lähes kaikki psyykkiset ilmiöt ovat interoseptiivisten, erityisesti sydäimestä tulevien viestien vaikutusten piirissä. Emootioiden lisäksi tietoisuus, tarkkaavuus, sosiaalinen kognitio näyttävät interoseptiivisten viestien välittiminä tai värittäminä. Interoseptioherkkyyden vaikutukset hyvinvoinnille tai yksilön tiedonkäsittelylle ja menestykselle itsesäätelylle ja toiminnalle ovat kuitenkin monimutkaisia ja niiden lisätutkimus tärkeää, erityisesti kehollisten interventioiden ja harjoitteiden tuntemisen kannalta.

Lähdeluettelo:

Allman, J. M., Hakeem, A., Erwin, J. M., Nimchinsky, E. & Hof, P. (2001). The Anterior Cingulate Cortex. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 935, 107–117.

Ardizzi, M., Ambrosecchia, M., Buratta, L., Ferri, F., Peciccia, M., Donnari, S., ... Gallese, V. (2016). Interoception and Positive Symptoms in Schizophrenia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 379.

Baltazar, M., Hazem, N., Vilarem, E., Beaucousin, V., Picq J. L. & Conty, L. (2014). Eye contact elicits bodily self-awareness in human adults. *Cognition*, 133(1), 120–127.

Barrett, L. F. & Simmons, W. K. (2015). Interoceptive predictions in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(7), 419–429.

Barrett L. F., Quigley, K. S. & Hamilton, P. (2016). An active inference theory of allostasis and interoception in depression. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371(20160011), 1–17.

Barrett L. F. (2017). The theory of constructed emotion. An active inference account of interoception and categorization. *Social Cognitive & Affective Neuroscience*, 12(1), 1–23.

Bartels, M. (2015). Genetics of Wellbeing and Its Components Satisfaction with Life, Happiness, and Quality of Life: A Review and Meta-analysis of Heritability Studies. *Behavior Genetics*, 45(2): 137–156.

Bartra, O., McGuire, J. T. & Kable, J. W. (2013). The valuation system: a coordinate-based meta-analysis of BOLD fMRI experiments examining neural correlates of subjective value. *NeuroImage*, 76, 412–427.

Bradley M. M. (2009). Natural selective attention: orienting and emotion.

Psychophysiology, 46, 1–11.

Bradley, M. M. & Lang, P. J. (1994) Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential, *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49–59.

Brener, J. & Ring, C. (2016). Towards a psychophysics of interoceptive processes: the measurement of heartbeat detection. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371, 20160015.

Calì, G., Ambrosini, E., Picconi, L., Mehling, W. E. & Committeri, G. (2015). Investigating the relationship between interoceptive accuracy, interoceptive awareness, and emotional susceptibility. *Frontiers in Psychology*, 6, 1202.

Cameron, O. G. (2002). *Visceral Sensory Neuroscience*. Oxford: Oxford University Press.

Caria, A., Veit, R., Sitaram, R., Lotze, M., Weiskopf, N., Grodd, W. & Birbaumer, N. (2010). Regulation of anterior insular cortex activity using real-time fMRI, *NeuroImage*, 35(3), 1238–1246.

Carver, C. S. & White, T. L. (1994). Behavioral inhibition, behavioral activation, and affective responses to impending reward and punishment: The BIS/BAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67, 319–333.

Ceunen, E., Vlaeyen, J. W. S. & Van Diest, I. (2016). On the Origin of Interoception. *Frontiers in Psychology*, 7, 743.

Christoff K., Cosmelli D., Legrand D. & Thompson E. (2011). Specifying the self for cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Science*, 15, 104–112.

Clark, A. (1997). *Being There: Putting Mind, Body, and World Together Again*. Cambridge, MA: MIT Press.

Corchoran, A. W. & Hohwy, J. (2019). Allostasis, interoception and the free energy principle: Feeling our way forward. Teoksessa H. De Preester & M. Tsakiris (toim.), *The Interoceptive Mind: From Homeostasis to Awareness* (s. 272–292). Oxford: Oxford University Press.

Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 655–66.

Craig, A. D. (2003). Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 500–505.

Craig, A. D. (2009). How do you feel – now? The anterior insula and human awareness. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 59–70.

Craig, A. D. (2014). *How do you feel? An Interoceptive Moment with Your Biological Self*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Critchley, H. D. & Harrison, N. A. (2013). Visceral Influences on Brain and Behavior, *Neuron*, 77, 624–638.

Critchley, H. D. & Garfinkel, S. N. (2015). Interactions between visceral afferent signaling and stimulus processing. *Frontiers in Neuroscience*, 9, 286.

Critchley, H. D. & Garfinkel, S. (2017). Interoception and emotion. *Current Opinion in Psychology*, 17, 7–14.

Critchley, H. D., Mathias, C. J. & Dolan, R. J. (2001). Neuroanatomical basis for first- and second-order representations of bodily states. *Nature Neuroscience*, 4(2), 207–212.

Critchley, H. D., Wiens, S., Rotshtein, P., Öhman, A. & Dolan, R. J. (2004). Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nature Neuroscience*, 7, 189–195.

Damasio, A. (1994). *Descartes' Error. Emotion, Reason and the Human Brain*. NY: Putnam Publishing.

Damasio, A. (2002). *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*. NY: Harcourt.

Daubenmier, J., Sze, J., Kerr, C. E., Kemeny, M. E. & Mehling, W. (2013). Follow your breath: respiratory interoceptive accuracy in experienced meditators. *Psychophysiology*, 50(8), 777–89.

De Preester, H. & Tsakiris, M. (toim.) (2019). *The Interoceptive Mind: From Homeostasis to Awareness*. Oxford: Oxford University Press.

Domschke, K., Stevens, S., Pfleiderer, B. & Gerlach, A. L. (2010). Interoceptive sensitivity in anxiety and anxiety disorders: an overview and integration of neurobiological findings. *Clinical Psychology Review*, 30(1), 1–11.

Fairclough, S. H. & Goodwin, L. (2007). The effect of psychological stress and relaxation on interoceptive accuracy: Implications for symptom perception. *Journal of Psychosomatic Research*, 62(3), 289–295.

Farb, N., Daubenmier, J., Price, C. J., Gard, T., Kerr, C., Dunn, B. D., ... Mehling, W. E. (2015). Interoception, contemplative practice, and health. *Frontiers in Psychology*, 6, 763.

Ferentzi, E., Köteles, F., Csala, B., Drew, R., Tihanyi, B. T., Pulay-Kottlár, G. & Doering, B. K. (2017). What makes sense in our body? Personality and sensory correlates of body awareness and somatosensory amplification. *Personality and Individual Differences*, 104, 75–81.

Fisher, J. P., Young, C. N. & Fadel, P. J. (2015). Autonomic adjustments to exercise in humans. *Comprehensive Physiology*, 5, 475–512.

Flexman, J. E., Demaree, R. G. & Simpson, D. D. (1974). Respiratory phase and visual signal detection. *Perception and Psychophysics*, *16*(2), 337–339.

Fotopoulou, A. & Tsakiris, M. (2017). Mentalizing homeostasis: The social origins of interoceptive inference. *Neuropsychoanalysis*, *19*, 3–28.

Friston, K. (2010). The free-energy principle: a unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(2), 127–138.

Friston, K. J. & Frith, C. D. (2015). Active inference, communication and hermeneutics. *Cortex*, *68*, 129–143.

Füstos, J., Gramann, G., Herbert, B. & Pollatos, O. (2013). On the embodiment of emotion regulation: interoceptive awareness facilitates reappraisal. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *8*(8), 911–917.

Garfinkel, S. & Critchley, H. (2013). Interoception, emotion and brain: new insights link internal physiology to social behaviour. Commentary on: "Anterior insular cortex mediates bodily sensibility and social anxiety" by Terasawa et al. (2012). *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *8*(3), 231–234.

Garfinkel, S. N., Manassei, M. F. & Hamilton-Fletcher, G. (2016). Teoksessa Y. den Bosch, H. D. Critchley, & M. Engels (toim). Interoceptive dimensions across cardiac and respiratory axes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, *371*, 20160014.

Garfinkel, S. N., Seth, A. K., Barrett, A. B., Suzuki, K. & Critchley, H. D. (2015). Knowing your own heart: Distinguishing interoceptive accuracy from interoceptive awareness, *Biological Psychology*, *104*, 65–74.

Gershon, Michael D. (1999). The enteric nervous system: A second brain. *Hospital Practice*, *34*(7), 31–52.

Gibson J. (2019). Mindfulness, interoception, and the body: A contemporary perspective. *Frontiers in Psychology, 10*, 2012.

Gogolla, N. (2017). The insular cortex. *Current Biology, 27*, R573–R591.

Hall, J., Lopes, B. & Yu, H. (2018). Interoception enhanced via the ears?: A quasi-experimental study of the impact of noise-dampening ear-protectors on heartbeat perception. *Journal of Psychophysiology, 0(0)*, 1–6.

Herbert, B. M. & Pollatos, O. (2012). The body in the mind: On the relationship between interoception and embodiment. *Topics in Cognitive Science, 4(4)*, 692–704.

Herbert, B. M., Muth, E. R., Pollatos, O. & Herbert, C. (2012). Interoception across modalities: On the relationship between cardiac awareness and the sensitivity for gastric functions. *PLoS ONE 7(5)*: e36646.

Herbert, B. M., Blechert, J., Hautzinger, M., Matthias, E. & Herbert, C. (2013). Intuitive eating is associated with interoceptive sensitivity. Effects on body mass index. *Appetite, 70*, 22–30.

Huijbers, W., Pennartz, C. M., Beldzik, E., Domagalik, A., Vinck, M., Hofman, W. F., ... Daselaar, S. M. (2014). Respiration phase-locks to fast stimulus presentations: Implications for the interpretation of posterior midline “deactivations”. *Human Brain Mapping, 35(9)*, 4932–4943.

Hölzel, B. K., Lazar, S. W., Gard, T., Schuman-Olivier, Z., Vago, D. R. & Ott, U. (2011). How does mindfulness meditation work? Proposing mechanisms of action from a conceptual and neural perspective. *Perspectives on Psychological Science, 6(6)*, 537–559.

Iacoboni, M. & Lenzi, G. (2002). Mirror neurons, the insula, and empathy. *Behavioral and Brain Sciences, 25(1)*, 39–40.

Karvonen, A., Kykyri, V-L., Kaartinen, J., Penttonen, M. & Seikkula, J. (2016). Sympathetic nervous system synchrony in couple therapy. *Journal of Marital and Family Therapy*, 42(3), 383–395.

Katkin, E. S., Wiens, S. & Öhman, A. (2001). Nonconscious Fear Conditioning, Visceral Perception, and the Development of Gut Feelings. *Psychological Science*, 12(5), 366–370.

Kawaguchi, A., Nemoto, K., Nakaaki, S., Kawaguchi, T., Kan, H., Arai, N., ... Akechi, T. (2016). Insular volume reduction in patients with social anxiety disorder. *Frontiers in Psychiatry*, 7, 3.

Khalsa, S. S. & Rudrauf, D., Feinstein, J. S. & Tranel, D. (2009). The pathways of interoceptive awareness. *Nature Neuroscience*, 12(12), 1494–1496.

Khalsa, S. S. & Lapidus, R. C. (2016). Can interoception improve the pragmatic search for biomarkers in psychiatry? *Frontiers in Psychiatry*, 7(121), 1–19.

Khalsa, S. S. & Feinstein, J. S. (2019). The somatic error hypothesis of anxiety. Teoksessa H. De Preester & M. Tsakiris (toim.), *The Interoceptive Mind: From Homeostasis to Awareness* (s. 144–164). Oxford: Oxford University Press.

Kleckner, I., Zhang, J., Touroutoglou, A., Chanes, L., Xia, C., Simmons, W., Quigley, K., Dickerson, B. & Barrett, L. F. (2017). Evidence for a large-scale brain system supporting allostasis and interoception in humans. *Nature Human Behaviour*, 1, 0069.

Kleckner, I. R., Wormwood, J. B., Simmons, W. K., Barrett, L. F. & Quigley, K. S. (2015). Methodological recommendations for a heartbeat detection-based measure of interoceptive sensitivity. *Psychophysiology*, 52(11), 1432–1440.

Knapp-Kline, K. & Kline, J. P. (2005). Heart rate, heart rate variability, and heartbeat detection with the method of constant stimuli: slow and steady wins the race. *Biological Psychology*, 69, 387–396.

Kokko, K., Tolvanen, A. & Pulkkinen, L. (2013). Associations between personality traits and psychological well-being across time in middle adulthood. *Journal of Research in Personality*, 47(6): 748–756.

Lampinen, E., Karolaakso, T., Karvonen, A., Penttonen, M., Kaartinen, J., Kykyri, V.L. & Seikkula, J. (2017). Electrodermal activity, respiratory sinus arrhythmia, and heart rate variability in a relationship enrichment program. *Mindfulness*, 9(4), 1076–1087.

Legrand, D. (2007). Pre-reflective self-as-subject from experiential and empirical perspectives. *Consciousness and Cognition*, 16(3), 583–599.

Legrand, D. & Ruby, P. (2009). What is self-specific? Theoretical investigation and critical review of neuroimaging results. *Psychological Review*, 116(1), 252–282.

Lyyra, P. & Parviainen, T. (2018). Behavioral inhibition underlies the link between interoceptive sensitivity and anxiety-related temperamental traits. *Frontiers in Psychology*, 9, 1026.

Knoll, J.F. & Hodapp, V. (1992). A comparison between two methods for assessing heartbeat perception. *Psychophysiology*, 29, 218–222.

Mehling, W. E., Price, C., Daubenmier, J. J., Acree, M., Bartmess, E. & Stewart, A. (2012). The Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA). *PLoS ONE* 7(11), e48230.

Menon, V. (2015). Salience Network. In: Arthur W. Toga, editor. *Brain Mapping: An Encyclopedic Reference*, vol. 2, pp. 597–611. Academic Press: Elsevier.

Menon, V. & Uddin, L. Q. (2010). Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. *Brain Structure & Function*, 214(5-6), 655–667.

Merleau-Ponty, M. (1945). *Phénoménologie de la perception*. Paris: Éditions Gallimard.

- Murphy, J., Brewer, J., Catmur, C. & Bird, G. (2017). Interoception and psychopathology: A developmental neuroscience perspective. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 23, 45–56.
- Park, H.-D., Correia, S., Ducorps, A. & Tallon-Baudry, C. (2014). Spontaneous fluctuations in neural responses to heartbeats predict visual detection. *Nature Neuroscience*, 17, 612-618.
- Park, H. D. & Tallon-Baudry, C. (2017). The neural subjective frame: from bodily signals to perceptual consciousness. *Philosophical transactions of the royal society*, 369, 20130208.
- Paulus, M. P. & Stein, M. B. (2006). An insular view of anxiety. *Biological Psychiatry*, 60(4), 383–387.
- Paulus, M. P. & Stein, M. B. (2010). Interoception in anxiety and depression. *Brain Structure & Function*, 214(5-6), 451–63.
- Pfeifer, G., Garfinkel, S. N., Gould van Praag, C. D., Sahota, K., Betka, S. & Critchley, H. D. (2017). Feedback from the heart: Emotional learning and memory is controlled by cardiac cycle, interoceptive accuracy and personality, *Biological Psychology*, 126, 19–29.
- Philippi, C. L. & Koenigs, M. (2014). The neuropsychology of self-reflection in psychiatric illness. *Journal of Psychiatric Research*, 0, 55–63.
- Pollatos, O., Traut-Mattausch, E. & Schandry, R. (2009), Differential effects of anxiety and depression on interoceptive accuracy. *Depression and Anxiety*, 26, 167–173.
- Pollatos, O., Matthias, E. & Keller, J. (2015). When interoception helps to overcome negative feelings caused by social exclusion. *Frontiers in Psychology*, 6, 786.

Pollatos, O., Herbert, B. M., Mai, S. & Kammer, T. (2016) Changes in interoceptive processes following brain stimulation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371, 20160016.

Porges, S. (1993). *Body Perception Questionnaire*. Laboratory of Developmental Assessment, University of Maryland, Baltimore.

Prinz, Jesse J. (2004). *Gut Reactions: A Perceptual Theory of Emotion*. Oxford: Oxford University Press.

Revonsuo, Antti (2006). *Inner Presence: Consciousness as a Biological Phenomenon*. Cambridge, MA: MIT Press.

Salomon, R., Ronchi, R., Dönn, J., Bello-Ruiz, J., Herbelin, B., Martet, R., Faivre, N., Schaller, K. & Blanke, O. (2016). The insula mediates access to awareness of visual stimuli presented synchronously to the heartbeat. *Journal of Neuroscience* 4, 36(18), 5115–5127.

Sara, S. (2009). The locus coeruleus and noradrenergic modulation of cognition. *Nature Reviews of Neuroscience*, 10, 211–223.

Schalling, D., Edman, G. & Asberg M. (1983) Biological basis of sensation seeking, impulsivity and anxiety. Teoksessa M. Zuckerman (toim.), *Impulsive cognitive style and inability to tolerate boredom* (s. 123–145). Hillsdale, NJ: Earlbaum..

Schandry, R. (1981). Heart beat perception and emotional experience. *Psychophysiology*, 18, 483–488.

Schandry, R. & Weitkunat, R. (1990). Enhancement of heartbeat-related brain potentials through cardiac awareness training. *International Journal of Neuroscience*, 53, 243–253

Schulz, A., Lass-Hennemann, J., Sütterlin, S., Schächinger, H. & Vögele, C. (2013). Cold pressor stress induces opposite effects on cardioceptive accuracy dependent on assessment paradigm, *Biological Psychology*, 93(1), 167–174.

Schulz, A. & Vögele, C. (2015). Interoception and stress. *Frontiers in Psychology*, 6, 993.

Seth, A. K. & Friston, K. J. (2016). Active interoceptive inference and the emotional brain. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 371(1708), 20160007.

Seth, A. K., Suzuki, K. & Critchley, H. D. (2011). An interoceptive predictive coding model of conscious presence. *Frontiers in Psychology*, 2, 395.

Shields, S. A., Mallory, M. E. & Simon, A. (1989) The Body Awareness Questionnaire: Reliability and validity. *Journal of Personality Assessment*, 53(4), 802–815.

Sokol-Hessner, P., Hartley, C. A., Hamilton, J. R. & Phelps, E. A. (2015). Interoceptive ability predicts aversion to losses, *Cognition and Emotion*, 29(4), 695–701.

Sterling, P. (2012). Allostasis: a model of physiological regulation. *Physiology & Behavior*, 106(1), 5–15.

Tallon-Baudry, C., Campana, F., Park, H. D. & Babo-Rebelo, M. (2018). The neural monitoring of visceral inputs, rather than attention, accounts for first-person perspective in conscious vision. *Cortex*, 102, 139–149.

Terasawa, Y., Shibata, M., Moriguchi, Y. & Umeda, S. (2013). Anterior insular cortex mediates bodily sensibility and social anxiety. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(3), 259–266.

- Tsakiris, M. (2017). The multisensory basis of the self: From body to identity to others. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 70(4), 597–609.
- Van 't Wout, M., Faught, S. & Menino, D. (2013). Does interoceptive awareness affect the ability to regulate unfair treatment by others? *Frontiers in Psychology*, 4, 880.
- Wang, L., Shi, Z. & Li, H. (2009). Neuroticism, extraversion, emotion regulation, negative affect and positive affect: The mediating roles of reappraisal and suppression. *Social Behavior and Personality: An International Journal*, 37(2), 193–194.
- Waselius, T., Wikgren, J., Halkola, H., Penttonen, M. & Nokia, M. S. (2018). Learning by heart: cardiac cycle reveals an effective time window for learning. *Journal of Neurophysiology*, 120, 830-838.
- Waselius, T, Wikgren, J, Penttonen, M & Nokia, M. S. (2019). Breathe out and learn: Expiration-contingent stimulus presentation facilitates associative learning in trace eyeblink conditioning. *Psychophysiology*, 56, e13387
- Weiss, A., Bates, T.C. & Luciano, M. (2008). Happiness is a personal(ity) thing: The genetics of personality and well-being in a representative sample. *Psychological Science*, 19(3), 205–210.
- Whitehead, W. (1977). Relation of heart rate control to heartbeat perception. *Biofeedback and Self Regulation*, 2, 371–392.
- Wiens, S., Mezzacappa, E. S. & Katkin, E. S. (2000). Heartbeat detection and the experience of emotions. *Cognition and Emotion*, 14, 417–427.
- Wiens, S., Palmer, S. N. (2001). Quadratic trend analysis and heartbeat detection. *Biological Psychology*, 58, 159–175.

Xiang, T., Lohrenz, T. & Montague, P. R. (2013). Computational substrates of norms and their violations during social exchange. *Journal of Neuroscience*, *33*, 1099–1108.

Yoris, A., Esteves, S., Couto, B., Melloni, M., Kichic, R., Cetkovich, M., Favaloro, R., Moser, J., Manes, F., Ibanez, A., ... Sedeño, L. (2015). The roles of interoceptive sensitivity and metacognitive interoception in panic. *Behavioral and Brain Functions*, *11*, 14.

Yoris, A., García, A. M., Salamone, P. C., Sedeño, L., García-Cordero, I. & Ibanez, A. (2019). Cardiac interoception in neurological conditions and its relevance for dimensional approaches. Teoksessa H. De Preester & M. Tsakiris (toim.), *The Interoceptive Mind: From Homeostasis to Awareness* (s. 187–211). Oxford: Oxford University Press.