

**ÄÄNENVÄRIN JA FUNDAMENTTITAAJUUDEN YHTENÄISYYS
SENSOMOTORISESSA SYNKRONOITUMISTEHTÄVÄSSÄ**

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
MUSIIKIN LAITOS
MUSIIKITIETEEN KANDITAATINTUTKIELMA
KEVÄT 2015

JONI PÄÄKKÖ

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Tiedekunta – Faculty Humanistinen tiedekunta	Laitos – Department Musiikin laitos
Tekijä – Author Pääkkö, Joni Antti	
Työn nimi – Title Äänenväriin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyys sensomotorisessa synkronoitumistehtävässä	
Oppiaine – Subject Musiikitiede	Työn laji – Level Kandidaatintutkielma
Aika – Month and year 5 / 2015	Sivumäärä – Number of pages 35
Tiivistelmä – Abstract <p>Aikaisempi tutkimus äänenväriin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyydestä on keskittynyt tutkimaan niiden havaitsemista toiminnasta erillisenä prosessina. Viimeaikainen tutkimus on kuitenkin osoittanut, että ihmisen havainto- ja toiminta-alueet ovat yhteenkytkettyjä. Tässä työssä tutkittiin äänenväriin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyttä sensomotorisessa synkronoitumistehtävässä, jolloin niiden yhtenäisyydestä saatiin tietoa osana ihmisen tavoitteellista toimintaa.</p> <p>Koeasetelmaan osallistui 11 koehenkilöä. Kymmenen, joilla oli aikaisempaa musiikillista kokemusta (mediaanivuodet 12.5), aineisto analysoitiin. Koehenkilöiden tehtävänä oli valikoivaa tarkkaavaisuutta vaativassa taputustehtävässä synkronoitua signaaliin, jossa äänenväri- ja fundamenttitaajuusulottuvuudet antoivat signaalin metristä ristiriitaista informaatiota.</p> <p>Aineistosta löytyi kolme ryhmää. Ryhmät erosivat äänenväriin ja fundamenttitaajuuden prosessoinniltaan sekä synkronoitumistarkkuudeltaan. Ryhmissä 1 ja 2 äänenväriin ja fundamenttitaajuuden prosessointi oli erillistä, ryhmässä 3' yhtenäistä. Synkronoitumistarkkuus oli parhaita ryhmässä 1, huonointa ryhmässä 3'.</p> <p>Tuloksia tulkittiin siten, että koehenkilöt, jotka pystyivät käyttämään kokeessa käytetyn synkronoitumissignaalin sisältämää informaatiota tehokkaammin, pystyivät myös prosessoimaan ärsyksen ulottuvuuksia erillisinä, kun taas koehenkilöt, joille synkronoituminen oli vaikeaa, prosessoivat ulottuvuudet yhtenäisinä. Tulokset olivat osaltaan ristiriidassa aikaisemman tutkimuksen kanssa, mikä osoittaa sensomotorisen näkökulman tärkeyden ihmisen havaintojärjestelmää tutkiessa.</p>	
Asiasanat – Keywords: yhtenäisyys, erillisuus, sensomotorinen synkronoituminen, äänenväri, fundamenttitaajuus, yhteisaksenttirakenne	
Säilytyspaikka – Depository: Jyx Jyväskylän yliopiston julkaisuarkisto	
Muita tietoja – Additional information	

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 TEOREETTINEN TAUSTA.....	3
2.1 Keskeisten käsitteiden määritelmät.....	3
2.2 Aikaisempi tutkimus.....	5
2.3 Sensomotorinen näkökulma.....	6
2.4 Dynaaminen huomion suuntaaminen ja yhteisaksenttirakenne.....	7
2.5 Tutkimuksen lähtökohta ja tutkimuskysymykset.....	8
3 MENETELMÄT.....	10
3.1 Koeasetelman kuvaus.....	10
3.2 Datan käsittely ja purkaminen.....	16
4 TULOKSET.....	18
4.1 Aineiston ryhmittelyanalyysi.....	18
4.2 Fundamenttitaajuuden ja äänenväriin yhtenäisyys ja erillisyys eri ryhmissä.....	21
4.4 Ryhmien väliset erot eri koeasetelmissa ja rytmikuvioiden synkronoitumisessa.....	24
5 POHDINTA.....	27
LÄHTEET.....	32

1 JOHDANTO

Ääni on moniulotteinen ilmiö, jonka arkielämästäkin tuttuja ulottuvuuksia ovat esimerkiksi äänenkorkeus, -voimakkuus ja -väri. Kognitiivisen psykologian kannalta keskeinen kysymys näiden ulottuvuuksien suhteista on, vuorovaikuttavatko ne toistensa kanssa vai ovatko ne itsenäisiä. Havaintomaailmamme on meille yhtenäinen kokonaisuus, jossa kaikki sen ulottuvuudet vaikuttavat toisiinsa ja ovat musiikillisessa kokemuksessamme tiukasti yhteenkietoutuneita. Toisaalta voimme käsitellä niitä erillisinä esimerkiksi silloin, kun tunnistamme melodian samaksi, vaikka se soitettaisiin eri instrumenteilla – jolloin toisin sanoen erotamme äänenkorkeuden äänenväristä. Tässä työssä käsitellään äänenväriä ja -korkeuden yhtenäisyyttä (*integrality*) ja erillisyyttä (*separability*). Jatkossa äänenkorkeudesta käytetään termiä fundamenttitaajuus.

Äänenväriä ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyttä on tutkittu pääasiassa psykofysikaalisin menetelmin. Aikaisempien tulosten mukaan äänenväriä ja fundamenttitaajuuden prosessointi vaikuttaisi olevan erillistä lyhytkestoisesta muistista (Semal & Demany 1991, 1993; Krumhansl & Iverson 1992) ja signaalivoiden (*auditory stream*) eriytymisen kannalta (Smith, Hausfield, Power & Gorta 1982; Singh 1987; Iverson 1995; Singh & Bregman 1997) mutta yhtenäistä nopeaa luokittelua (Krumhansl & Iverson 1992; Melara & Marks 1990a, 1990b; Pitt 1994) ja pienien taajuuserojen erottamista vaativissa tehtävissä (Crowder 1989; Platt & Racine 1985; Wapnick & Freeman 1980; Warrier & Zatorre 2002; Allen & Oxenham 2014).

Äänenväriä ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyttä ei ole aikaisemmin tutkittu sensomotorisessa synkronoitumistehtävässä. Sensomotorisessa synkronoitumistehtävässä koehenkilöt pyrkivät taputtamaan ulkoisen signaalin tahdissa mahdollisimman tarkasti. Tällainen tehtävä eroaa pelkästä ärsykkeisiin reagoimisesta merkittävästi: Se vaatii paitsi kuullun äänisignaalin prosessointia niin myös tulevien tapahtumien ennakoitua tämän prosessoinnin perusteella ja motorisen toiminnan suorittamista. Motorinen toiminta puolestaan voi vaikuttaa jälleen tulevan äänisignaalin prosessointiin (Maes, Leman, Palmer & Wanderley 2014).

Tämän lisäksi synkronoitumistehtävässä koehenkilöiden toiminta on selkeämmin tavoitteellista – synkronoitua tahdistumissignaaliin mahdollisimman hyvin – kuin kokeissa, joissa koehenkilöiden tehtävänä on reagoida heille esitettyihin ärsykkeisiin. Esimerkiksi reaktioaikoja mittaavassa kokeessa reaktioaikojen hidastumisella ja nopeutumisella ei sinänsä ole koehenkilön toiminnan kannalta suurta merkitystä. Sensomotorisessa synkronoitumistehtävässä taas erot prosessoinnin nopeudessa voivat merkitä eroa epäonnistuneen ja menestyksekkään signaaliin synkronoitumisen välillä. Tämän työn tavoite on paikata tätä puutetta tutkimuksessa tutkimalla

koehenkilöiden synkronoitumistarkkuutta valikoivaa tarkkaavaisuutta vaativassa sensomotorisessa synkronoitumistehtävässä.

2 TEOREETTINEN TAUSTA

Määrittelen ensin työn kannalta keskeiset äänen ulottuvuudet, äänenväriin ja fundamenttitaajuuden, minkä jälkeen avaan, mitä tarkoittaa niiden yhtenäisyys ja erillisyys sekä miten sitä on aikaisemmin tutkittu. Tämän jälkeen käyn läpi tutkimuskirjallisuutta, jossa käsitellään havainto- ja toimintajärjestelmien yhteistoimintaa. Lopuksi käsittelen työn empiirisen osan kannalta tärkeän yhteisaksenttirakenteen (*Joint accent structure*, JAS) teorian.

2.1 Keskeisten käsitteiden määritelmät

American National Standards Instituten (ANSI) mukaan äänenväri on “kuulokokemuksen ominaisuus, jonka perusteella kuulija voi erottaa kaksi toisistaan poikkeavaa, mutta sävelkorkeudeltaan ja äänenvoimakkuudeltaan samaa sekä samoin esitettyä, ääntä toisistaan.”¹ (Oxenham 2013, 18). Fundamenttitaajuus on kompleksisen äänen ensimmäinen äänes, jonka harmonisia kerrannaisia muut äänekset ovat, ja joka määrää koetun sävelkorkeuden (*pitch*) (Sundberg 2013, 71).

Äänenväri on siis äänen ulottuvuus, jonka perusteella voimme erottaa toisistaan esimerkiksi viulun ja pianon soittaman sävelen, vaikka niiden sävelkorkeus eli fundamenttitaajuus olisi sama. On siis mahdollista, että ääniärsyksen fundamenttitaajuus pysyy samana, mutta sen äänenväri muuttuu (tai toisinpäin), sillä nämä ovat edellä esitettyjen määritelmien mukaan eri komponentteja äänisignaalin sisällä. Otetaan esimerkiksi kaksi ääntä, a ja b, jotka koostuvat yhtä aikaa soivista taajuuksista 100 Hz, 200 Hz ja 300 Hz (ääni a) sekä 100 Hz, 400 Hz ja 500 Hz (ääni b). Näillä on sama fundamenttitaajuus, 100 Hz, sillä molempien äänien muut äänekset ovat tämän taajuuden harmonisia kerrannaisia. Sen sijaan niiden äänenväri ei ole sama: ääni b:n äänekset ovat taajuudeltaan korkeampia, joten sen koettu äänenväri on kirkkaampi, ja tämän perusteella se voidaan erottaa äänestä a.

Ärsyksen ulottuvuus on siinä oleva fyysinen komponentti, joka voi jatkumolla saada minkä tahansa arvon (Ashby & Townsend 1986, 159). Siniaaltomuotoisessakin äänessä voidaan nähdä olevan sellaisia ulottuvuuksia kuin taajuus, vaihe, amplitudi ja pituus, mutta komplekseissa äänissä on tämän lisäksi vielä muita ulottuvuuksia, jotka voivat muunnella yhtäaikaaisesti tai toisistaan

¹ Oxenham (2013, 18) lainaa ANSI:n määritelmää äänenväristä: “*That attribute of auditory sensation which enables a listener to judge that two nonidentical sounds, similarly presented and having the same loudness and pitch, are dissimilar*”

riippumatta (Silbert, Townsend & Lentz 2009, 1900). Käytännössä katsoen katsoen kaikki arkipäivässä kuulemamme äänet ovat komplekseja ääniä, toisin sanoen ne koostuvat useista eri taajuuskomponenteista.

Yksiulotteisuus ei välttämättä kuvaa realistisesti kaikkia ärsykkeen ominaisuuksia. Äänenvärikin voidaan hajottaa vielä sen osaulottuvuuksiksi (Caclin, Giard, Smith & McAdams 2007, 159). Ashby ja Townsend (1986, 157) antavat vastaavan esimerkin visuaalisista ulottuvuuksista: aallonpituuden perseptuaalista vaikutusta, värisävyä, esittämään vaadittaisiin useampia ulottuvuuksia, mutta kun ollaan kiinnostuneita värisävyn vaikutuksista ylipäänsä, eikä sen ulottuvuuksien spesifeistä vaikutuksista, sitä voidaan käsitellä yksiulotteisena muuttujana. Tällä tavoin käsitellään tässä tutkimuksessa äänenväriä: koska kiinnostuksen kohteena ei ole äänenväriin jonkin osaulottuvuuden vaikutus, voidaan äänenväriä käsitellä yksiulotteisena muuttujana.

Ärsykkeen ulottuvuuksien yhtenäisyys on operationalisoitu monin eri tavoin, riippuen siitä, millaisessa koeasetelmassa sitä on käytetty (Ashby & Townsend 1986, 163; Grau & Kemler Nelson 1988, 348). Garnerin määritelmät ovat tutkimuskirjallisuudessa tunnetuimmat (Prince, Thompson & Schmuckler 2009, 1598). Garner johti yhtenäisyyden kolmesta erilaisesta koeasetelmasta saadun tiedon konvergenssin perusteella (Garner 1974, 187; Grau & Kemler Nelson 1988, 348). Näistä erilaisista koeasetelmista olennaisin tämän työn kannalta on niin kutsuttu suodatustehtävä (*filtering task*, ks. Ashby & Townsend 1986, 163; samaa tarkoittaa myös spesifimmässä kontekstissa *speeded sorting*, ks. Grau & Kemler Nelson 1988, 348).

Suodatustehtävässä koehenkilön täytyy vastata vain toisen ulottuvuuden (olennainen ulottuvuus) perusteella ja epäolennaista ulottuvuutta muunnellaan olennaisesta riippumatta. Kun on kyse ulottuvuuksista, jotka ovat erillisiä, suoritus ei heikenny kun epäolennaista ulottuvuutta muunnellaan. Jos ulottuvuudet ovat yhtenäisiä, epäolennaisen ulottuvuuden muuntelu vaikuttaa suoritukseen. (Ashby & Townsend 1986, 163; Grau & Kemler Nelson 1988, 348.)

Teoreettisesti äänenväriin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyden voi kuvata siten, että kumpikin ulottuvuus käsitellään omalla kanavallaan (*channel*), mutta näiden kanavien välillä on ylikuulumista (*crosstalk*) (Melara & Marks 1990a). Mikäli toisaalta äänenväri ja fundamenttitaajuus ovat erillisiä, kanavien välillä ei ole ylikuulumista.

Tämän mallin mukaan yhtenäisyys ei tarkoita sitä, ettei havaitsija osaisi valita tehtävän kannalta olennaista kanavaa tarkkailtavakseen. Tilanteessa, jossa epäolennainen ulottuvuus häiritsee olennaisen ulottuvuuden havaitsemista, havaitsija pystyy valitsemaan oikean kanavan, mutta epäolennaiselta kanavalta tapahtuu ylikuulumista olennaiselle kanavalle. Tämä ylikuuluminen voi tapahtua yksisuuntaisesti tai kaksisuuntaisesti. Mikäli ylikuuluminen on yksisuuntaista, silloin ulottuvuuksien yhtenäisyys ei ole symmetristä. (Melara & Marks 1990a.)

Ulottuvuuksien yhtenäisyys voi ilmetä usealla prosessoinnin eri tasolla. Ashby ja Townsend (1986) mainitsevat havainto- (*perceptual processes*) ja valintaprosessit (*decisional process*). Melara ja Marks (1990a, 1990c) tunnistavat havainto- ja valintaprosessien välistä vielä kielelliseen prosessointiin liittyviä. On oletettavaa, etteivät nämä kielelliseen prosessointiin liittyvät mekanismit vaikuta merkittävästi puhtaasti akustisten ulottuvuuksien prosessointiin (Melara & Marks 1990c).

Tässä työssä ulottuvuuksien yhtenäisyydellä viitataan siihen, että äänenväriin ja fundamenttitaajuuden prosessointikanavilta tapahtuu ylikuulumista toiselle joko symmetrisesti tai epäsymmetrisesti. Erillisyyys tarkoittaa sitä, ettei ylikuulumista tapahdu.

2.2 Aikaisempi tutkimus

Äänenväriin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyttä on tutkittu käyttäen useita erilaisia menetelmiä. Tulokset ovat olleet ristiriitaisia: osassa tutkimuksia äänenväriä ja fundamenttitaajuutta on päädytty pitämään yhtenäisinä ulottuvuuksina, toisissa tutkimuksissa taas erillisinä. Aloitan tarkastelemalla fundamenttitaajuutta ja äänenväriä yhtenäisinä ulottuvuuksina pitävää tutkimusta.

Äänenväriin on havaittu vaikuttavan ihmisten arviointeihin äänenkorkeudesta erilaisissa tehtävissä: kun ihmisiä on pyydetty arvioimaan sävelkorkeuden samuutta instrumentin vaihtuessa (Crowder 1989, koe 1), kun ihmiset ovat virittäneet siniaaltoja ja kompleksisia ääniä verrokkitaajuuteen (Platt & Racine 1985) ja kun ihmiset ovat verranneet eri tavalla suodatettujen äänten vireisyyttä (Wapnick & Freeman 1980) tai eri tavoin painotetuista spektreistä koostettujen äänten vireisyyttä (Warrier & Zatorre 2002). Allen ja Oxenham (2014, kokeet 2 ja 3) havaitsivat fundamenttitaajuuden muuntelun vähentävän herkkyyttä muutosten havaitsemiselle spektrissä ja päinvastoin. Äänenväriin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyys on havaittu useasti myös erilaisilla reaktioaikaa mittaavilla luokittelutehtävillä (Krumhansl & Iverson 1992 koe 1; Melara & Marks 1990a koe 2; Melara & Marks 1990b koe 3; Pitt 1994).

Kyseisten ulottuvuuksien erillisyyttä tukevia tuloksia on saatu kuulema-analyysiin (*Auditory scene analysis, ASA*) pohjautuvissa tutkimuksissa, joissa on selvitetty äänenväriin ja fundamenttitaajuuden mahdollisuuksia toimia signaalivoita eriyttävinä piirteinä. Toisin sanoen voiko fundamenttitaajuuksien sarja muodostaa ihmisen seurattavissa olevan vuon erillään äänenvärien muodostamasta sarjasta ja toisinpäin. Fundamenttitaajuuden ja äänenväriin on todettu toimivan näin useissa tutkimuksissa (Iverson 1995; Singh 1987; Singh & Bregman 1997; Smith, Hausfield, Power & Gorta 1982).

Fundamenttitaajuuden ja äänenväriin erillisyyteen osoittavia tuloksia on saatu myös lyhytkestoista muistia tutkimalla. Koeasetelmassa, jossa koehenkilölle esitetään referenssitajuus,

sitten muistamista häiritseviä ääniä ja lopuksi koetintaajuus, jota koehenkilön täytyy verrata referenssitajuuteen, on huomattu, ettei äänenvärin muuntelu häiritse taajuuden muistamista. (Krumhansl & Iverson 1992: koe 2; Semal & Demany 1991, 1993).

Neurofysiologisesti äänenvärin ja fundamenttitaajuuden erottamattomuudesta on niukalti materiaalia. Lidji, Jolicoeur, Moreau, Kolinsky ja Peretz (2009) tutkivat poikkeavuusnegatiivisuuskomponenttia (*mismatch negativity*, MMN) EEG:llä mitatuista tapahtumasidonnaisista jännitepotentiaaleista (*event-related potentials*, ERP) reaktioina syntetisoiuihin vokaaleihin. Tutkimuksen tulokset tukevat käsitystä äänenväristä ja fundamenttitaajuudesta erottamattomina ulottuvuuksina jo esitarkkaavaisella tasolla, jossa niitä käsitellään yhtenevillä hermoverkoilla (Lidji ym. 2009).

Toisaalta Pantevin, Hoken, Lutkenhonerin ja Lehnertzin (1989) tulosten mukaan kuuloaivokuoren taajuudenmukainen (tonotooppinen) rakenne heijastaa virtuaalista sävelkorkeutta, ei signaalin taajuussisältöä sinänsä. Semal ja Demany (1991, 2409) tulkitsevat tämän tuloksen osoitukseksi fundamenttitaajuuden ja äänenvärin käsittelyn neurofysiologisesta erillisyydestä.

Musiikillisen kokemuksen vaikutuksesta äänenvärin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyteen ei ole paljoa tutkimusta. Pittin (1994) tulosten mukaan kategorisointitehtävässä sekä musiikkia harrastamattomat, että musiikkia harrastaneet käsitelivät äänenväriä ja fundamenttitaajuutta yhtenäisesti, tosin musiikkia harrastamattomilla havaittiin yhtenäisyydessä epäsymmetrisyyttä siten, että äänenväri vaikutti fundamenttitaajuuteen enemmän kuin päin vastoin. Allenin ja Oxenhamin (2014) tulosten mukaan muusikoilla ja musiikkia harrastamattomilla äänenväri ja fundamenttitaajuus aiheuttivat symmetrisesti hyvin samankaltaista interferenssiä.

2.3 Somomotorinen näkökulma

Ihmisillä havaintoalueiden (*perception*) ja toiminta-alueiden (*execution systems*) yhteenkytkeytymisestä on saatu runsaasti empiiristä näyttöä erilaisilla menetelmillä. Yhteenkytkeytymistä on tutkittu neurofysiologisesti esimerkiksi visuaalisessa kontekstissa transkraniaalisella magneettistimulaatiolla (Fadiga, Fogassi, Pavesi & Rizzolatti, 1995), fMRI:llä (Iacoboni ym. 1999) sekä MEG:llä (Hari ym. 1998; Hari ym. 2014; Nishitani & Hari 2000); musiikillisessa kontekstissa fMRI:llä (Hickock, Buchsbaum, Humphries & Muftuler 2003) ja MEG:llä (Haueisen & Knösche 2001). Havainto- ja toiminta-alueet ovat eri tavoin yhteenkytkeytyneitä muusikoilla ja soittamista harrastamattomilla (ks. Novembre & Keller 2014).

Reppin (2009a, 2009b) tekemissä signaalivoiden eriytymistä koskeissa kokeissa havaittiin, että pelkästään havaitsemiseen perustuvissa koeasetelmissä signaalivuot eriytyivät eri tavoin kuin

sensomotoriseen synkronoitumiseen perustuvissa koeasetelmissa. Näiden tutkimusten sekä havainto- ja toimintajärjestelmien yhtenäisyyttä tukevan neurofysiologisen tutkimuksen perusteella vaikuttaisi perustellulta olettaa, että havaitsemistehtävän perusteella tehdyt päätelmät eivät välttämättä päde synkronoitumistehtävässä, jossa toiminta- ja havaintojärjestelmät toimivat yhdessä.

Äänenvärin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyden kontekstisidonnaisuuteen viittaa myös se, että Warrierin ja Zatorrin (2002: koeasetelmat, joissa on käytetty kontekstia) tulosten mukaan äänenvärin vaikutus arviointitarkkuuteen vähenee, kun sävelkorkeutta arvioidaan musiikillisessa kontekstissa: jo abstraktit säveljonot antavat referenssipisteen, mutta tuttu melodia auttaa vielä enemmän. Äänenvärin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyteen vaikuttaa siis se, millaista informaatiota koehenkilöille signaalissa on tarjolla: melodia tarjoaa kiinnikekohdan, joka helpottaa eri ulottuvuuksien erillistä prosessointia. Sensomotorisessa synkronoitumisessa tahdistumissignaali voi tarjota koehenkilöille tällaisen kiinnikekohdan.

2.4 Dynaaminen huomion suuntaaminen ja yhteisaksenttirakenne

Sensomotorinen näkökulma otetaan huomioon tässä työssä tutkimalla koehenkilöiden synkronoitumistarkkuutta valikoivaa tarkkaavaisuutta vaativassa taputustehtävässä. Esittelen tässä luvussa dynaamisen tarkkaavaisuusteorian sekä yhteisaksenttirakenteen, jotka ovat työssä käytetyn koeasetelman perustana.

Dynaamisen huomionsuuntaamisteorian (*dynamic attending theory, DAT*) mukaan ihmisten odotukset tapahtumien ajallisista paikoista muodostuvat sisäisten oskillaattorien tahdistuessa ulkoisten tapahtumien mukaan. Nämä sisäiset oskillaattorit ovat itseään ylläpitäviä, minkä takia ne voivat ohjata ihmisen tarkkaavaisuutta ennakoimaan tulevia tapahtumia ajallisesti. Jaksot, joihin oskillaattorit tahdistuvat, koostuvat aksenteista. (Jones 2012.) Esimerkiksi tasaisella voimakkuudella oleva valkoinen kohina ei sisällä aksentteja, mutta jos sen äänenvoimakkuutta vaihdellaan esimerkiksi puolen sekunnin välein, erot äänenvoimakkuudessa luovat aksentteja, joihin sisäiset oskillaattorit voivat tahdistua.

Aksentti on äänistä muodostuvan jonon jäsen, joka eroaa jonon muista jäsenistä jollain ulottuvuudella. Eri ulottuvuuksilla eroavat jäsenet kuluvat eri aksenttityyppiin. (Jones & Pfordresher 1997, 271). Aksentin salienssi¹ (*saliency*, erottuvuus) riippuu 1) paikallisen muutoksen suuruudesta, 2) yhtä aikaa tapahtuvien aksenttien määrästä ja 3) kontekstin keskimääräisestä muutoksen määrästä (Jones 2012).

¹ Esimerkiksi kolmesta lampusta, joista yksi välkkyi, on välkkyvä lamppu salientti, ja sitä kautta huomion sieppaava, vaikka ajallisesti ajateltuna siitä tulee havaitisijalle vähemmän valoa kuin lampuista, jotka palavat koko ajan.

Otetaan esimerkiksi tasaisella rytmillä esitetty siniaaltojen jono 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 650 Hz, 700 Hz, 800 Hz. Tässä jonossa neljäs jäsen, 650 Hz, on aksentoitu, sillä muutos sen jäsenen kohdalla on suurempaa kuin muiden kohdalla: siinä missä muissa kohdin muutos edellisestä jäsenestä seuraavaan on 100 Hz, tässä kohdassa hyppy 300 hertsistä 650 hertsiin on 350 Hz. Mikäli tämän jäsenen kohdalla on vielä muutos amplitudissa (kyseinen siniaalto on muita kovempi äänenvoimakkuudeltaan), on aksentti vielä salientimpi ehdon numero kaksi mukaan, sillä kaksi erilaista aksenttityyppiä kohtaavat ajallisesti samalla paikalla. Tällaista erilaisten aksenttityyppien ajallista yhdistelmää kutsutaan yhdistetyksi aksenttirakenteeksi.

Aksenttien ryhmittäminen ja limittyminen tässä rakenteessa määrittävät sen monimutkaisuuden (Jones 2012). Äskeisen esimerkin aksenttirakenne on yksinkertainen, sillä siinä kaksi eri aksenttityyppiä – aksentti taajuuden muutoksessa ja aksentti amplitudin muutoksessa – ovat samanaikaisia. Jos sen sijaan amplitudin muutos olisikin vaikkapa jonon kolmannen jäsenen (300 Hz) kohdalla, olisi aksenttirakenne monimutkaisempi, sillä nyt eri aksenttityypit eivät limittyisi rakenteessa.

Sisäiset oskillaattorit eivät kuitenkaan ole puhtaasti ulkoisten tapahtumien ohjaamia, vaan tarkkaavaisuuden suuntaaminen vaikuttaa niiden muodostumiseen (Jones 2012). Mikäli siis äänenväri ja fundamenttitaajuus ovat erillisiä, pitäisi olla mahdollista tarkkaavaisuutta suuntaamalla vaikuttaa siihen, kumpi ulottuvuuksista vaikuttaa oskillaatioiden syntymiseen. Siinä tapauksessa, että äänenväri ja fundamenttitaajuus ovat yhtenäisiä, tällainen tarkkaavaisuuden suuntaaminen taas ei ole mahdollista, vaan molempien pitäisi yhtä lailla vaikuttaa oskillaatioiden syntymiseen.

Musikaalisten ominaisuuksien yhtenäisyyttä on tutkittu synkronoitumistehtävissä yhteisaksenttirakenteen kontekstissa aikaisemminkin. Tutkimus on kuitenkin keskittynyt sävel- ja aikarakenteiden yhtenäisyyteen (ks. Jones & Pfordresher 1997; Pfordresher 2003; Snyder & Krumhansl 2001).

2.5 Tutkimuksen lähtökohta ja tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen lähtökohtana oli se, että äänenväriin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyden tutkiminen on keskittynyt niiden havaitsemisen tutkimiseen toiminnasta erillisenä. Tutkimuskysymykset, joita selvitettiin, olivat seuraavat: Ovatko äänenväri ja fundamenttitaajuus sensomotorisessa synkronoitumistehtävissä yhtenäisiä vai erillisiä? Jos ne ovat yhtenäisiä, onko tämä yhtenäisyys symmetristä? Onko koehenkilöiden välillä eroja yhtenäisessä ja erillisessä prosessoinnissa?

Näitä kysymyksiä selvitettiin tutkimalla koehenkilöiden synkronoitumisen tarkkuutta

kolmessa koeasetelmassa. Näistä kahdessa äänenväriin ja fundamenttitaajuuden muodostamaa aksenttirakennetta muunneltiin sillä oletuksella, että aksenttirakenteen monimutkaistaminen huonontaa synkronoitumistarkkuutta, mikäli ulottuvuuksien käsittely on yhtenäistä, mutta ei vaikuta suoritukseen merkittävästi, mikäli käsittely on erillistä.

Sensomotorinen synkronoituminen vaatii synkronoitujalta jatkuvaa virheenkoraamista (Repp 2013, 407-412), jonka on havaittu vaikuttavan merkittäväällä tavalla synkronoitumistarkkuuteen valikoivaa tarkkaavaisuutta vaativissa synkronoitumistehtävissä (Repp 2003 & 2006). Mikäli äänenväriä ja fundamenttitaajuutta prosessoivilla kanavilla tapahtuu ylikuulumista, tämän voisi odottaa vaikuttavan näihin virheenkoraamismekanismeihin merkittäväällä tavalla. Koska tämän lisäksi aikaisemmissa tutkimuksissa äänenväriin ja fundamenttitaajuuden prosessoinnin ollaan havaittu olevan yhtenäistä myös musiikkia harrastavilla, oli alustavana hypoteesina, että tämä yhtenäisyys havaittaisiin myös tässä tehtävässä suorituksen heikentymisenä taputustehtävässä.

3 MENETELMÄT

3.1 Koeasetelman kuvaus

Koehenkilöt

Kokeeseen osallistui 11 tutkittavaa. Koska yhdellä osallistujalla (numero 4) ei ollut harrastuneisuutta musiikin soittamisesta, hänet jätettiin analyyseista pois, koska tulokset haluttiin yleistää soittamista harrastaneisiin ihmisiin. Seuraavassa kuvaillaan otosta jäljelle jääneiden kymmenen koehenkilön osalta.

Miehiä ja naisia oli saman verran. Mediaani-ikä oli 22 vuotta (vaihteluväli 21-36 vuotta), soittoharrastusvuosien mediaani oli 12.5 vuotta (vaihteluväli 10-19 vuotta). Klassista musiikkia pääasiallisesti harrastavia oli 4, loput harrastivat pääasiallisesti populaarimusiikkia. Koehenkilöt 8 ja 11 ilmoittivat heillä todetun kuuloa heikentävän kuulovaurion. Koehenkilö 9 oli osallistunut aikaisemmin sensomotorista synkronoitumista mittaavaan kokeeseen (tämän koeasetelman pilottitestausvaiheessa, jossa ärsykkeet ja rytmikuvio olivat erilaisia). Koehenkilöiden pääinstrumentteja olivat sähköbasso, laulu, piano, huilu ja sello. Koehenkilöitä pyydettiin arvioimaan aktiivisuuttaan musiikin harrastamisen saralla kolmeportaisella asteikolla (harrastelija / puoliammattilainen / ammattilainen). Yksikään ei vastannut olevansa ammattilainen, 7 vastasi olevansa harrastelijoita ja 3 puoliammattilaisia.

Kaikilla otoksen henkilöillä oli siis vuosissa mitattuna runsaasti soittokokemusta, vaikka suurin osa kokikin olevansa vain musiikin harrastelijoita. Huomattavaa on myös se, ettei yksikään otoksen henkilöistä soittanut perkussioinstrumenttia pääinstrumenttinaan.

Laitteisto

Koehenkilöt suorittivat synkronoitumisen taputtamalla sormillaan pehmustettuja padeja. Molempien käsien vastaukset nauhoitettiin erikseen. Nauhoituksessa käytettiin kaksikanavaista Miditechin Audiolink III -äänikorttia. Ääniärsykkeiden esittämiseen ja vastausten nauhoittamiseen käytettiin Audacity-ohjelmaa (versio 2.0.5). Laitteiston latenssi mitattiin äänittämällä laitteiston toistama pulssi ja vertaamalla toistetun pulssin ja äänitetyn pulssin alukkeita¹. Näin saatu erotus vähennettiin jokaisesta nauhoituksesta. Ääniärsykkeet esitettiin koehenkilöille AKG:n K240 mk II -korvakuulokkeilla. Sekä äänityksessä että ääniärsykkeiden esittämisessä käytettiin 44100 Hz:n

¹ Ks. http://manual.audacityteam.org/index.php?title=Latency_Test [haettu 31.3.2015]

näytteenottotaajuutta.

Ärsykkeet

Ärsykemateriaalina käytettiin siniaalloista koostettuja ääniä. Äänet syntetisoitiin SciLab-ohjelmalla (Scilab Enterprises 2012; versio 5.5.1), minkä avulla ne myös koostettiin yksittäisiksi koeasetelmiksi ja tallennettiin wav-tiedostoina.

Jokainen yksittäinen ääni kesti 250 millisekuntia. Jokainen ääni alkoi noin 5 millisekunnin mittaisella nousulla nollassa (napsausten estämiseksi), laski hieman noin 113 millisekunnin ajan ja palasi nollassa viimeisten 132 millisekunnin aikana. Kaikkien äänien maksimiampplitudi oli sama.

Fundamenttitaajuudet olivat 100 Hz ja 150 Hz. Näihin lisättiin joko matala tai korkea äänenväri. Äänenväriulottuvuus koostui molemmille fundamenttitaajuuksille yhteisistä harmonisista kerrannaisista. Matalan ja korkean äänenvärien komponenttien taajuudet sekä aallonpituuksien tasapainopisteet (keskiarvot) on esitetty taulukossa 1. Äänenväreissä käytettävät taajuudet valittiin siten, että äänenvärien aallonpituuksien tasapainopisteiden¹ (*Spectral centroid*, ks. Schubert & Wolfe 2006) suhde oli sama kuin fundamenttitaajuuksien suhde.

TAULUKKO 1: Kokeessa käytettyjen äänenvärien taajuuskomponentit sekä niiden keskiarvot.

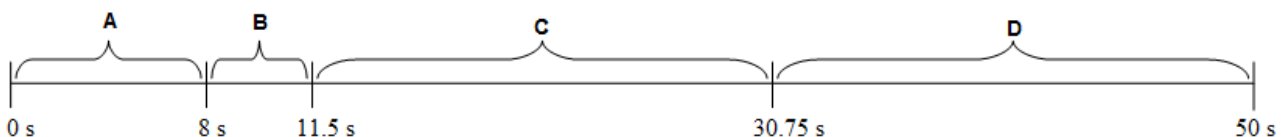
	Matala äänenväri	Korkea äänenväri
1. komponentti (Hz)	600	1500
2. komponentti (Hz)	900	1800
3. komponentti (Hz)	1200	2100
4. komponentti (Hz)	1500	2400
5. komponentti (Hz)	1800	3000
6. komponentti (Hz)	2100	3300
7. komponentti (Hz)	2400	3600
8. komponentti (Hz)	2700	3900
9. komponentti (Hz)	3000	4200
10. komponentti (Hz)	3300	4500
11. komponentti (Hz)	3600	4800
12. komponentti (Hz)	3900	5400
Keskiarvo (Hz)	2250	3375

Sekä äänenvärien että fundamentitaajuuksien keskinäiset erot olivat hyvin selkeät. Kokeessa käytettyjen äänenvärien ero on ajateltavissa luokaltaan samanlaiseksi kuin hyvin selkeästi toisistaan erottuvien instrumenttien ero, esimerkiksi kellopelin ja marimban. Fundamentitaajuuksien ero puolestaan vastasi kvintti-intervallia, joka on länsimaisessa musiikissa tavanomainen intervalli, ja joka on melodisena intervallina selkästi erottuva.

Ihmisen kuulo on tarkempi taajuuksille, jotka ovat noin 1 ja 7 kilohertsin välissä (Oxenham 2013, 5). Tätä kompensoitiin skaalaamalla äänenvärien taajuuksien äänenvoimakkuutta pienemmäksi. Koska tarkka määrä riippuu koehenkilöiden henkilökohtaisesta kuulon tarkkuudesta ja esitettävien äänten äänenvoimakkuudesta – ja kokeessa käytetty äänenvoimakkuus riippui kullekin koehenkilölle henkilökohtaisesti sopivasta voimakkuudesta – kompensointiin tarkkaa määrää ei voitu laskea etukäteen, joten skaalaus oli likimääräinen arvio, jolla pyrittiin estämään mahdollisia salienssieroja ärsykkeiden välillä.

Koeasetelmat

Koehenkilöt pyrkivät yksittäisissä koeasetelmissa taputtamaan mahdollisimman tarkasti kuulokkeista kuulemansa tahdistussignaalin tahdissa ja suodattamaan pois tähän myöhemmin lisätyn häirintäsignaalin. Jokainen yksittäinen koeasetelma alkoi kahdeksan sekunnin mittaisella hiljaisuudella (kuva 1: lohko A). Tämän jälkeen koehenkilöt kuulivat kaksi tahtia tahdistussignaalia (kuva 1: lohko B), jonka aikana he valmistautuivat taputtamiseen ja kuuntelivat, kummassa ulottuvuudessa tahdistussignaali oli. Koehenkilöt taputtivat tahdistussignaalin tahdissa 11 tahtia (kuva 1: lohko C), minkä jälkeen tahdistussignaaliin lisättiin häirintäsignaali ja koehenkilöt taputtivat tahdistus- ja häirintäsignaalin tahdissa 11 tahtia (kuva 1: lohko D), pyrkien mahdollisimman tarkasti taputtamaan tahdistussignaalin tahdissa. Lohkoa C kutsutaan tahdistumisosaksi ja lohkoa D häirintäosaksi niiden funktioiden mukaan koeasetelmassa. Yksittäinen koeasetelma kesti hiljaisuus mukaanluettuna 50 sekuntia.



KUVIO 1. Yksittäisen koeasetelman kulku. Lohko A: hiljaisuutta; lohkot B (valmistautumisosa) ja C (tahdistumisosa): tahdistumissignaali yksinään; lohko D: tahdistumissignaali ja häirintäsignaali yhdessä.

Tahdistussignaali (ks. taulukko 2) koostui seitsemästä 250 millisekunnin mittaisesta äänestä, joista ensimmäinen ja neljäs oli aksentoitu (taulukon 2 lihavoidut iskut), muodostaen ei-isokronisen rytmikaavan lyhyt-pitkä, suhteella 3:4. Kun koehenkilöt synkronoituivat fundamenttitaajuuteen, aksentointi tehtiin muuttamalla fundamenttitaajuutta aksenttien kohdalla ja pitämällä äänenväri jokaisella iskulla samana; kun koehenkilöt synkronoituivat äänenväriin, fundamenttitaajuus pidettiin jokaisen iskun kohdalla samana ja äänenväriä muutettiin aksenttien kohdalla.

TAULUKKO 2. Koeasetelmissä käytetyt tahdistussignaalit. Valmistautumis- ja tahdistumisosassa toistettiin tätä seitsemän iskun sykliä yhteensä 13 kertaa.

	Kontrolliasetelma		Fundamenttiasetelma		Äänenväriasetelma	
	f ₀	Äänenväri	f ₀	Äänenväri	f ₀	Äänenväri
isku 1	150	-	150	Korkea	150	Korkea
isku 2	100	-	100	Korkea	150	Matala
isku 3	100	-	100	Korkea	150	Matala
isku 4	150	-	150	Korkea	150	Korkea
isku 5	100	-	100	Korkea	150	Matala
isku 6	100	-	100	Korkea	150	Matala
isku 7	100	-	100	Korkea	150	Matala

Aksentoitujen iskujen välit olivat 750 millisekuntia ja 1000 millisekuntia. Koehenkilöt taputtivat tahdistumissignaaliin kaksikäsisesti, taputtaen valitsemallaan kädellä jokaisen syklin ensimmäisen aksentin ja toisella kädellä toisen aksentin, pyrkien pitämään tämän kaavan koeasetelman lävitse.

Häirintäsignaali (taulukko 3) koostui yhdeksästä 250 millisekunnin mittaisesta äänestä, joista ensimmäinen ja viides oli aksentoitu, paitsi silloin, kun tahdistussignaalin ja häirintäsignaalin aksentit olisivat osuneet samaan kohtaan: tällöin häirintäsignaalin aksentteja oli aikaistettu 250 millisekuntia (iskun verran). Tämä sen vuoksi, että oltaisiin välttytty kaksinkertaisten aksenttien tuomilta tulkintavaikeuksilta – koska silloin tehtävässä olisi ollut yksi hierarkinen taso lisää – ja toisaalta jotta häirintäsignaali olisi toiminut parhaansa mukaan häirintäfunktiossa, eikä päinvastoin olisi tukenut koehenkilön suoritusta sen kautta, että koehenkilö olisi pystynyt käyttämään häirintäsignaalin informaatiota hyödykseen synkronoitumisessa. Häirintäsignaali alkoi edellä mainituista syistä eri vaiheessa tahdistussignaalin kanssa.

Kolme erilaista koeasetelmaa luotiin jakamalla tahdistus- ja häirintäsignaali äänenväriin ja fundamenttitaajuuden välillä eri tavoin (ks. taulukot 2 ja 3). Näistä ensimmäistä kutsutaan kontrolliasetelmaksi ja kahta muuta suodatusasetelmiksi. Suodatusasetelmia kutsutaan niiden tahdistussignaalin mukaan fundamentti- (fundamenttitaajuus tahdistussignaalin) ja äänenväriasetelmiksi (äänenväri tahdistussignaalin).

TAULUKKO 3. Häirintäosioiden ensimmäiset tahdit eri koeasetelmissa. JAS = yhteisaksenttirakenne.

	Kontrolliasetelma			Fundamenttiasetelma			Äänenväriasetelma		
	f0	Äänenväri	JAS	f0	Äänenväri	JAS	f0	Äänenväri	JAS
isku 1	150	-	A	150	Korkea	A	150	Korkea	A
isku 2	100	-		100	Korkea		150	Matala	
isku 3	150	-	A	100	Matala	A	100	Matala	A
isku 4	150	-	A	150	Korkea	A	150	Korkea	A
isku 5	100	-		100	Korkea		150	Matala	
isku 6	100	-		100	Korkea		150	Matala	
isku 7	150	-	A	100	Matala	A	100	Matala	A

Kontrolliasetelmassa tahdistussignaali ja häirintäsignaali summattiin samaan ulottuvuuteen. Tämä toteutettiin niin, että tässä asetelmassa ei ollut äänenväriulottuvuutta lainkaan, vaan pelkkiä fundamenttitaauksia (käytännössä siniaaltoja). Näin saatiin mitattua se, kuinka paljon tahdistus- ja häirintäsignaalin muodostama yhteisaksenttirakenne vaikeutti synkronoitumista ylipäänsä. Tätä käytettiin vertailukohtana fundamenttitaajuuden ja äänenväriin täydellisestä yhtenäisyydestä.

Suodatusasetelmissa tahdistussignaali ja häirintäsignaali oli hajautettu äänisignaalin eri ulottuvuuksiin eli fundamenttitaajuuteen ja äänenväriin. Tämä mahdollisti kaksi erilaista suodatusasetelmaa: 1) fundamenttitaajuus tahdistussignaalinä ja äänenväri häirintäsignaalinä ja 2) äänenväri tahdistussignaalinä ja fundamenttitaajuus häirintäsignaalinä.

Fundamenttiasetelmassa tahdistumisosan aksentit olivat 150 Hz:n äänet ja aksentoimattomat 100 Hz:n äänet, äänenväriin pysyessä koko ajan korkeana. Häirintäosiossa fundamenttitaajuuden aksentit pidettiin samana, mutta äänenväriulottuvuuteen lisättiin aksentteja vaihtamalla äänenväri välillä matalaksi.

Äänenväriasetelmassa aksentointi tehtiin muuttamalla äänenväri aksenttien kohdalla korkeaksi, fundamenttitaajuuden pysyessä samana (150 Hz). Häirintäosiossa äänenväriaksentit jatkuivat samalla tavalla, mutta fundamenttitaajuusulottuvuuteen lisättiin aksentteja vaihtamalla fundamenttitaajuus välillä 100 Hz:ksi. Näiden aksenttien yhdistymistä yhteisaksenttirakenteeksi (taulukko 3, sarake JAS; ks. yhdistymisestä Jones 1987, 629) selvitettiin mittaamalla koehenkilöiden synkronoitumisen tarkkuutta: koska yhdistetty aksenttirakenne poikkesi tahdistussignaalin aksenttirakenteesta, oli odotettavaa, että jos tahdistus- ja häirintäsignaali summautuvat kyseisenlaiseksi rakenteeksi, synkronoitumisen tarkkuus huononee.

Kuten aiemmin mainittua, häirintäsignaali ei ollut täysin jaksollinen, vaan siinä oli ajoittaisia poikkeamia kaksoisaksenttien välttämiseksi. Näitä poikkeamia oli häirintäosion aikana viisi

kappaletta. Kokonaisuudessaan häirintäosiossa oli 77 iskua ja yhteisaksenttirakenteessa 46 aksenttia, joten poikkeamat eivät vinouttaneet kokonaisuutta merkittäväällä tavalla.

Mikäli fundamenttitaajuus ja äänenväri ovat yhtenäisiä, eli toista ei voi käsitellä käsittelemättä toista, pitäisi näiden yhdistyä samanlaiseksi aksenttirakenteeksi kuin kontrolliasetelmassa. Mikäli taas koehenkilöt pystyvät valikoivasti suuntaamaan tarkkaavaisuutensa pelkästään tahdistussignaaliin ja suodattamaan pois häirintäsignaalin, yhdistymistä yhteisaksenttirakenteeksi ei pitäisi tapahtua, eikä synkronoitumisen tarkkuuden merkittävästi heikentyä.

Kokeen kulku

Kokeen aluksi koehenkilöt lukivat kirjalliset ohjeet, minkä lisäksi heitä rohkaistiin esittämään kysymyksiä. Tämän jälkeen he suorittivat harjoitusosan, jonka aikana he taputtivat läpi kaikki eri asetelmat vähintään kerran. Mikäli koehenkilöillä oli ongelmia tehtävän suorittamisessa, harjoituskertoja lisättiin. Näiden harjoituskertojen jälkeen jokainen koehenkilö pystyi suorittamaan koeasetelman oikein. Harjoitteluaineistoa ei tallennettu eikä analysoitu.

Ennen ensimmäistä koetta oli puolen minuutin tauko, jonka aikana tutkija poistui huoneesta. Kahdeksan sekuntia ennen kokeen alkua koehenkilöt kuulivat kuulokkeista äänimerkin. Kaikki koehenkilöt suorittivat viisi toistoa jokaisesta koeasetelmasta eli yhteensä 15 koeasetelmaa. Lopuksi koehenkilöt täyttivät taustatietolomakkeen.

Koeasetelmat esitettiin koehenkilöille satunnaistetussa järjestyksessä: jokaisen koeasetelman aluksi koehenkilöillä oli kaksi tahtia aikaa kuunnella, kummassa ulottuvuudessa tahdistussignaali oli. Satunnaistaminen toteutettiin jakamalla koeasetelmat viiteen kolmen asetelman blokkiin, joissa kaikissa oli yksi toisto jokaista asetelmaa. Näiden blokkien sisällä koeasetelmien järjestys arvottiin satunnaisesti. Näin varmistettiin se, että kaikkia kolmenlaisia asetelmia oli tasaisesti koko kokeen ajan.

Koehenkilöt 1-7 suorittivat kokeen yliopiston tiloissa, koehenkilöt 8-11 tutkijan asunnossa. Molemmissa tiloissa seurattiin samaa menettelytapaa: koehenkilöt suorittivat kokeet yksin ja ilmoittivat viimeisen kokeen jälkeen tutkijalle koeasetelman päättymisestä.

3.2 Datan käsittely ja purkaminen

Koehenkilöiden suoritus tallennettiin koekohtaisesti (*trial*) .wav-tiedostoiksi, jossa molempien käsien data oli omalla kanavallaan. Nämä ladattiin SciLab-ohjelmaan, jossa datasta suodatettiin pois virheellisesti iskuiksi tallentuneita (esimerkiksi padien liikahtaessa pöydällä) arvoja käyttämällä liukuvaan keskiarvoon perustuvaa suodatinta. Tässä käytettiin liukuvaa keskiarvoa, sillä eri koehenkilöiden taputusvoimakkuudet vaihtelivat paljon jopa yksittäisten koeasetelmien sisällä. Aineistosta poistettiin tämän jälkeen arvot, jotka olivat ajallisesti liian aikaisia (ennen koeasetelman alkua rekisteröityneitä) tai liian myöhäisiä (koeasetelman jälkeen rekisteröityneitä), minkä jälkeen aineistosta tunnistettiin analyysia varten kirjoitettua skriptiä käyttäen automaattisesti, kummassa kanavassa oli johtavan (*downbeat*) ja kummassa seuraavan käden (*upbeat*) data.

Synkronoitumistarkkuuden mittari

Koehenkilöiden synkronoitumistarkkuuden mittaamisessa käytettiin sirkulaarisia menetelmiä (ks. Mardia & Jupp 2000). Tilastollisessa analyysissa käytettiin R-ohjelman versiota 3.1.3 (R Core Team 2015), johon oli sirkulaarista analyysia varten asennettu paketti *circular* (Agostinelli & Lund 2013), varianssien samansuuruisuuden tutkimista varten paketti *car* (Fox & Weisberg 2011) ja Cohenin *d*:n laskemista varten paketti *lsr* (Navarro 2015).

Tärkein sirkulaarisen hajonnan mittari on keskimääräinen resultanttipituus, joka kuvaa massakeskipisteen etäisyyttä ympyrän – jonka kehällä olevien pisteiden jakaumaa tarkastellaan – keskipisteestä ja saa arvoja välillä 0-1 (Mardia & Jupp 2000, 15-18). Mitä enemmän hajonneita pisteet kehälle ovat, sitä keskemällä massakeskipiste on, ja sitä lyhyempi keskimääräisen resultantin pituus on, mikä on tietenkin päinvastaista kuin normaaleissa hajonnan mittareissa. Tästä syystä sirkulaarisen keskihajonnan määrittelyssä käytetään keskimääräisen resultanttipituuden logaritmia kerrottuna negatiivisella luvulla, jolloin siitä saadaan analoginen jatkumolla laskettavan keskihajonnan kanssa (*ibid.*, 19).

Jokaisen koehenkilön jokaisesta kokeesta laskettiin erikseen sirkulaarinen keskihajonta tahdistumis- ja häirintäosioille (ks. kuvio 1), minkä jälkeen häirintäosion keskihajonnasta vähennettiin tahdistumisosan keskihajonta. Tämä erotusmuuttuja kuvaa hajonnan muutosta tahdistumisosasta häirintäosioon. Häirintäosion ollessa vaikeampi erotusmuuttujan pitäisi saada tilastollisesti nollasta ylöspäin poikkeavia arvoja.

Inklusiokriteeri

Kriteeri sille, että koehenkilön data yksittäisestä kokeesta oli mukana analyysissä, oli se, että tahdistuminen tahdistumisosassa oli onnistunutta. Mikäli jonkin häiriön tai tarkkaavaisuuden lipsahduksen vuoksi koehenkilö ei pysty tahdistumaan signaaliin, minkä seurauksena hajonta on jo tahdistumisosassa suurta, on mahdotonta tutkia, onko häirintäosan aksenttirakenteen monimutkaistamisella tähän mitään vaikutusta. Tämän ongelman poistamiseksi jokaisesta tahdistumisosasta laskettiin Rayleigh'n testin testisuure.

Rayleigh'n testin testisuure mittaa jakauman tasaisuutta keskimääräisen resultanttipituuden kautta: mikäli keskimääräisen resultantin pituus eroaa merkitsevästi nolosta, ei pisteiden katsota jakautuneen kehälle tasaisesti (Mardia & Jupp 2000, 94). Tätä sovellettiin koehenkilöiden suorituksen tutkimiseen siten, että koeasetelmat, joiden tahdistumisosan Rayleigh'n testisuure ei ollut merkitsevä, poistettiin. Ennalta määrättyä merkitsevyystasona oli $p = 0.05$, mutta koska yksittäisiä testejä tehtiin 150 kappaletta², tehtiin merkitsevyystasolle vielä Bonferroni-korjaus jakamalla merkitsevyystaso testien määrällä. Tällä tavoin poistettuja kokeita oli kuusi kappaletta. Nämä kaikki olivat koehenkilöltä numero 5. Poistetut kokeet olivat: 2 kontrolliasetelmaa, 3 fundamenttiasetelmaa ja 1 äänenväriasetelma.

² Analysoitavia koehenkilöitä oli 10, joista jokainen suoritti 15 yksittäistä koetta.

4 TULOKSET

4.1 Aineiston ryhmittelyanalyysi

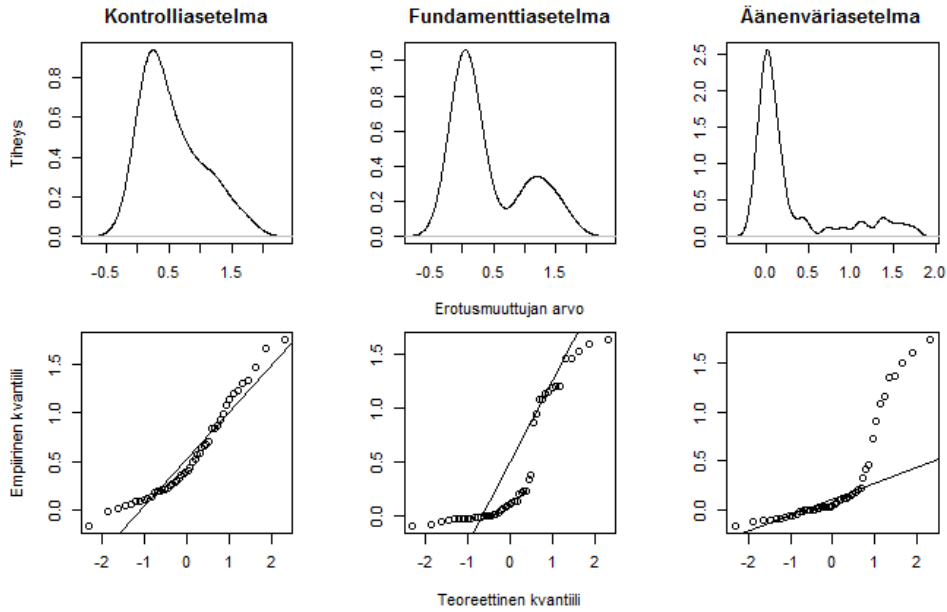
Aineiston käsittely aloitettiin tutkimalla koehenkilöiden suoritusten välisiä eroja, koska tämän kysymyksen ratkaisu vaikutti siihen, kuinka aineistoa jatkokäsiteltäisiin. Aineiston analysointi aloitettiin jakamalla aineisto koeasetelmien (kontrolliasetelma, fundamenttiasetelma ja äänenväriasetelma) mukaan ryhmiin. Taulukossa 4 on ryhmien havaintojen määrät, keskiarvot ja -hajonnat ja Shapiro-Wilkin testisuure³ sekä siihen liittyvä p -arvo. Kuviossa 2 on ryhmien tiheysfunktiot sekä kvantiilikuvaajat. Shapiro-Wilkin testin p -arvoista sekä kvantiilikuvaajista että tiheysfunktioista on havaittavissa, ettei normaaliusoletus toteudu yhdessäkään ryhmässä.

TAULUKKO 4. Koeasetelmien kuvailevat tiedot. Havaintojen määrä, keskiarvot ja -hajonnat sekä Shapiro-Wilkin testisuure ja siihen liittyvä p -arvo.

Asetelma	N	Keskiarvo	Keskihajonta	W	p
Kontrolliasetelma	48	0.55	0.48	0.92	0.003
Fundamenttiasetelma	47	0.41	0.57	0.76	<0.001
Äänenväriasetelma	49	0.28	0.51	0.70	<0.001

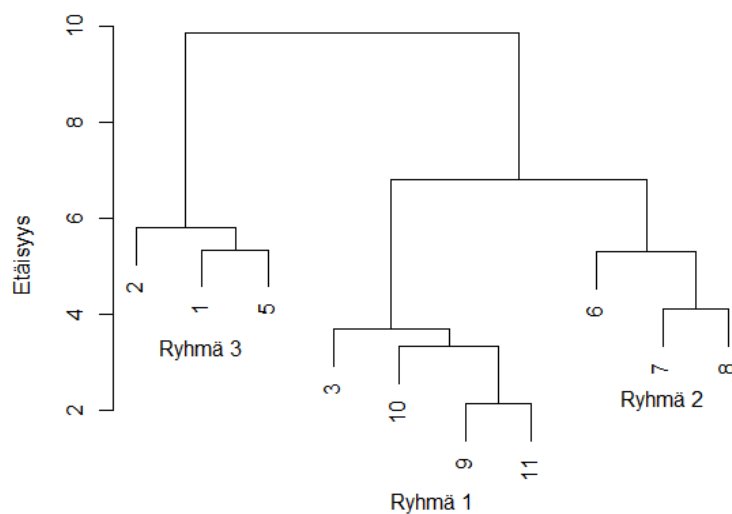
Tiheysfunktioista nähtävien fundamentti- ja äänenväriasetelmien jakaumien perusteella aineistolle ei yritetty tehdä muunnosta, vaan varsinkin fundamenttiasetelman kuvaajista selkeän kaksihuippuisuuden perusteella analyysia jatkettiin tunnistamalla aineistosta erillisiä ryhmiä, sillä eri mittayksikölle muuntaminen ei tavanomaisesti korjaa monihuippuisuuden aiheuttamaa epänormaaliutta, ja toisaalta monihuippuisuus viittaa usein siihen, että aineistossa on useita eri tavalla suoriutuneita ryhmiä. Tämän vuoksi myöskään ei-parametrisiin testiin siirtymistä ei suoraan tehty, vaan päätettiin tutkia ensin, onko aineistosta löydettävissä erillisiä ryhmiä, sillä aineiston käsitteleminen kokonaisuudessa ei-parametrisin menetelmin olisi antanut väärän kuvan aineistosta löytyvistä tendensseistä, siinä tapauksessa, että aineistossa on useita eri ryhmiä. Merkittävästi toisistaan eroaviin tendensseihin tiheysfunktioissa viittasi se, että sekä fundamentti- että äänenväriasetelmissä oli selkeä piikki lähellä nollaa, mikä viittaisi siihen, että ainakin osalla koehenkilöistä muutosta synkronoitumistarkkuudessa ei ollut.

³ Shapiro-Wilkin testi testaa nollahypoteesia, jonka mukaan mitattu muuttuja on normaalisti jakautunut. Sitä käytetään tavallisesti silloin, kun otoskoko on alle 50. (Nummenmaa 2004, 143.)



KUVIO 2. Koeasetelmien tiheysfunktiot (ylärivi) ja kvantiilikuvaajat (alarivi).

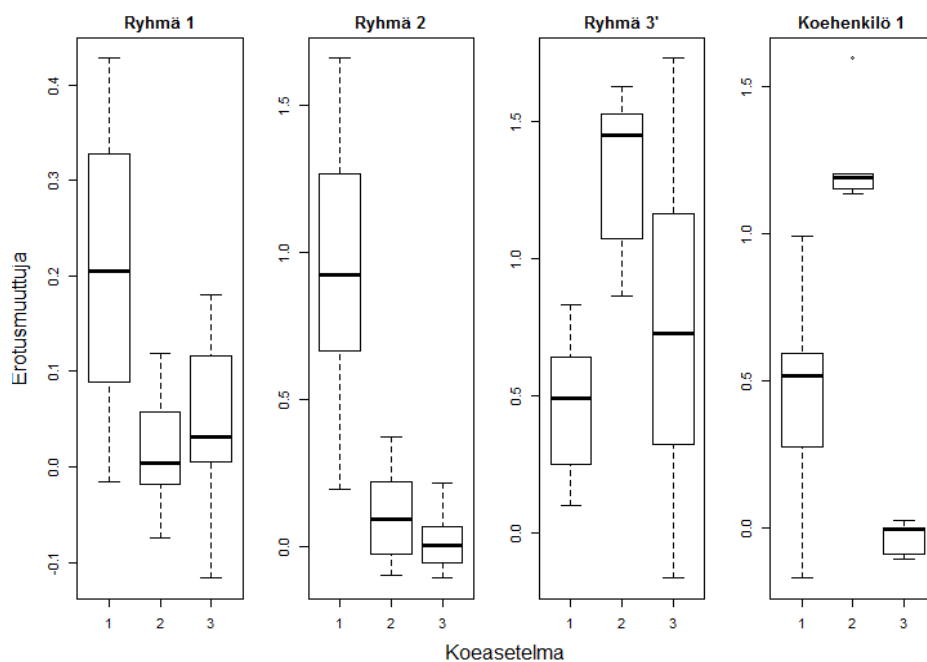
Ryhmien tunnistaminen suoritettiin tekemällä aineistolle hierarkinen ryhmittelyanalyysi. Hierarkisen ryhmittelyanalyysin etäisyysmittana käytettiin euklidista etäisyyttä ja klusterinmuodostusmenetelmänä Wardin menetelmää (R-ohjelman algoritmi ward.D2). Ryhmittelyanalyysin tulokset ovat kuviossa 3. Ryhmittelyanalyysin mukaisista ryhmistä poistettiin poikkeavat havainnot kvantiilikuvaajien tarkastelun perusteella. Ryhmässä 3 normalisuusoletus ei täyttnyt äänenväriasetelmassa. Koska siinä ei kuitenkaan näyttänyt olevan selkeästi poikkeavia



KUVIO 3. Hierarkinen ryhmittelyanalyysi koehenkilöistä.

havaintoja, ja havaintojen trendi vaikutti muutenkin hajanaiselta, päätettiin ryhmästä poistaa koehenkilö 1, joka aineiston subjektiivisessa tarkastelussa näytti suoritukseltaan poikkeavan koehenkilöistä 2 ja 5. Koehenkilöistä 2 ja 5 muodostettiin ryhmä 3'. Koehenkilö 1 pudotettiin pois jatkossa tehtävistä määrällisistä analyyseistä ja hänen aineistoaan päätettiin käsitellä vain laadullisesti, sillä havaintoja ei ollut kuin viisi kappaletta kussakin asetelmassa.

Jatkossa analyyseissä käytettiin seuraavanlaisia ryhmiä: ryhmä 1 (koehenkilöt 3, 9, 10 ja 11), ryhmä 3 (koehenkilöt 6, 7 ja 8) sekä ryhmä 3' (koehenkilöt 2 ja 5). Eri ryhmien sekä analyyseistä jatkossa poisjätetyn koehenkilön 1 suoritukset eri koeasetelmissä on esitetty kuviossa 4. Ryhmien välillä koeasetelmista suoriutumisen oli selkeitä eroja. Kuvioista 4 voidaan nähdä, että ryhmät 1 ja 2 ovat suoriutuneet fundamentti- ja äänenväriasetelmissä samankaltaisesti, mutta kontrolliasetelmassa ryhmä 2:n suoritus eroaa ryhmästä 1. Ryhmä 3' eroaa ryhmistä 1 ja 2 kaikkien asetelmien suhteen, mutta tärkein ero on se, että fundamentti- ja äänenväriasetelmien suoritukset poikkeavat selkeästi nolasta. Koehenkilö 1 on suoriutunut kontrolli- ja fundamenttiasetelmista samoin kuin ryhmä 3', mutta äänenväriasetelman kannalta muistuttaa enemmän ryhmiä 1 ja 2, mistä syystä hänet on irrotettu ryhmästä 3'.



KUVIO 4. Eri ryhmien sekä koehenkilön 1 suoritukset eri koeasetelmissä. 1 = kontrolliasetelma, 2 = fundamenttiasetelma ja 3 = äänenväriasetelma.

Koska ryhmien koot olivat pieniä, ei taustamuuttujien suhteen tehty tilastollista testaamista. Kuulovaurion ilmoittaneet henkilöt olivat ryhmissä 1 ja 2. Aikaisemmin synkronoitumiskokeeseen osallistunut koehenkilö oli ryhmässä 1. Mediaaniharrastusvuodet eri ryhmissä olivat 14.5 (ryhmä 1),

11 (ryhmä 2) ja 12 (ryhmä 3').

4.2 Fundamenttitaajuuden ja äänenväriin yhtenäisyys ja erillisyys eri ryhmissä

Aineiston jatkoanalyysissä käytettiin ryhmiteltyä aineistoa (ks. luku 3.3). Ryhmien kuvailevat tiedot on esitetty taulukossa 5. Koska havaintojen määrä eri koeasetelmissa vaihteli, päätettiin varianssianalyysin sijaan käyttää yksittäisiä yhden otoksen t-testejä. Koska oltiin kiinnostuneita nimenomaan häirinnän heikentävästä vaikutuksesta suoritukseen, asetettiin testattavaksi yksisuuntaisia vastahypoteeseja.

TAULUKKO 5: Ryhmien kuvailevat tiedot eri koeasetelmissa. Havaintojen määrä (N), keskiarvot- ja hajonnat, Shapiro-Wilkin testisuure (W) sekä siihen liittyvä p -arvo.

Ryhmä 1					
	N	Keskiarvo	Keskihajonta	W	p
Kontrolliasetelma	19	0.207	0.142	0.94	0.30
Fundamenttiasetelma	18	0.016	0.051	0.94	0.30
Äänenväriasetelma	17	0.048	0.083	0.95	0.52

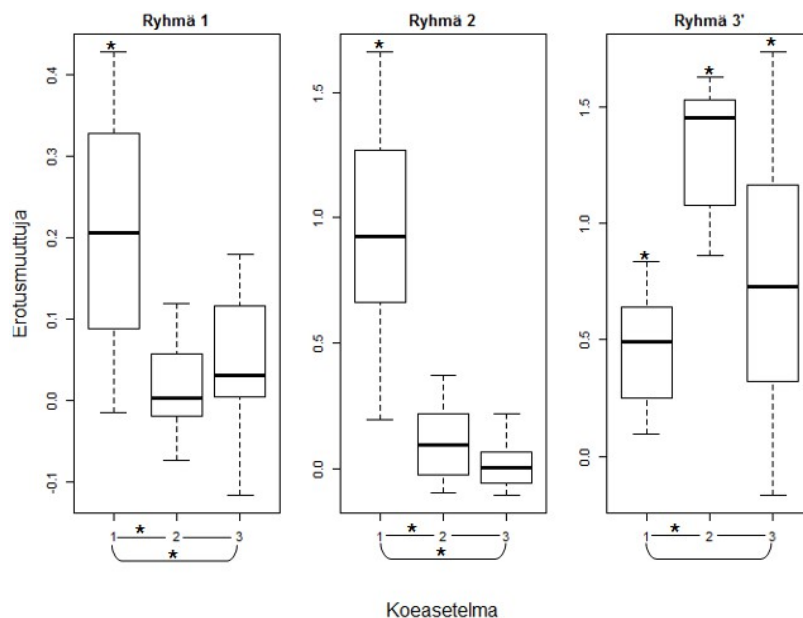
Ryhmä 2					
	N	Keskiarvo	Keskihajonta	W	p
Kontrolliasetelma	15	0.957	0.433	0.96	0.67
Fundamenttiasetelma	13	0.098	0.155	0.92	0.23
Äänenväriasetelma	13	0.020	0.094	0.95	0.63

Ryhmä 3'					
	N	Keskiarvo	Keskihajonta	W	p
Kontrolliasetelma	7	0.619	0.522	0.96	0.84
Fundamenttiasetelma	6	1.333	0.497	0.87	0.22
Äänenväriasetelma	9	0.769	0.643	0.96	0.81

Äänenväriin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyttä testattiin siten, että mikäli yksittäisten koeasetelmien keskiarvo poikkesi merkitsevästi nolasta ylöspäin, katsottiin, että ylikuulumista oli tapahtunut. Koeasetelmien välisillä vertailuilla taas selvitettiin kahta asiaa: 1) vertaamalla kontrolliasetelmaan tutkittiin, onko käsittely täysin yhtenäistä. Mikäli fundamentti- ja äänenväriasetelma eivät eronneet kontrolliasetelmasta merkitsevästi, katsottiin, että näissä asetelmissä prosessointi ei eronnut yksiulotteisen signaalin käsittelystä ja oli siten täysin yhtenäistä. 2) Fundamentti- ja äänenväriasetelmien välistä eroa tutkittiin sen selvittämiseksi, onko ylikuuluminen symmetristä.

Levenen testin mukaan varianssit olivat erisuuria ryhmien 1 ($F = 11.03, p < 0.001$) ja 2 ($F = 13.1, p < 0.001$) sisällä, mutta ei ryhmän 3' sisällä ($F = 0.52, p = 0.60$). Koska ryhmien 1 ja 2 osaryhmien varianssit erosivat toisistaan merkitsevästi, parittaiset vertailut päätettiin tehdä Welchin t-testillä, sillä se ei ole yhtä herkkä ryhmien varianssien erisuuruudelle kuin Studentin t-testi (Lu & Yuan 2010).

Merkitsevyystasolle tehtiin Bonferroni-korjaus vain ryhmien sisällä tehtävien testien määrän mukaan. Tämä sen takia, ettei tilastollinen voima heikkenisi liikaa, sillä ryhmittelyn seurauksesta ryhmien koot olivat jo melko pienet. Kaikissa ryhmissä ennalta asetettuna merkitsevyystasona koeasetelmien sisäisissä vertailuissa oli 0.05/6 (0.008), sillä jokaisen ryhmän sisällä suoritettiin kuusi t-testiä. Ryhmien sisäisten erojen merkitsevyystestit on tiivistetty kuvioon 5.



KUVIO 5. Ryhmien sisäiset erot. 1 = kontrolliasetelma, 2 = fundamenttiasetelma ja 3 = äänenväriasetelma. Tilastollisesti merkitsevät erot on merkitty asteriskilla (*). Ryhmissä 1 ja 2 vain kontrolliasetelma poikkesi nollasta merkitsevästi. Ryhmässä 3' kaikki asetelmat poikkesivat nollasta merkitsevästi. Ryhmissä 1 ja 2 kontrolliasetelma poikkesi merkitsevästi suodatusasetelmista, mutta suodatusasetelmat eivät poikenneet toisistaan merkitsevästi. Ryhmässä 3' vain kontrolliasetelma ja fundamenttiasetelma poikkesivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

Ryhmässä 1 suoritus kontrolliasetelmassa poikkesi tilastollisesti merkitsevästi nollasta ($t(18) = 6.35, p < 0.001, d = 1.46$), mistä on pääteltävissä, että koeasetelmassa käytetty yhteisaksenttirakenne vaikeutti koehenkilöiden suoritusta merkitsevästi. Suoritukset fundamenttiasetelmassa ($t(17) = 1.13, p = 0.10, d = 0.32$) ja äänenväriasetelmassa ($t(16) = 2.38, p = 0.01, d = 0.58$) eivät sen sijaan poikenneet nollasta tilastollisesti merkitsevästi, mikä viittaa siihen, että äänenväriin ja fundamenttitaajuuden prosessointi oli erillistä. Suoritus kontrolliasetelmassa

poikkesi merkitsevästi suorituksesta fundamenttiasetelmassa ($t(22.73) = 5.49, p < 0.001, d = 1.79$) ja äänenväriasetelmassa ($t(29.42) = 4.16, p < 0.001, d = 1.37$), mikä tukee ajatusta siitä, että suodatusasetelmissa koehenkilöiden suoritukset olivat erilaisia kuin kontrolliasetelmassa. Suoritukset fundamentti- ja äänenväriasetelmissä eivät eronneet toisistaan merkitsevästi ($t(26.30) = 1.35, p = 0.19, d = 0.46$). Äänenväri- ja fundamenttiasetelmissä suoritukset olivat siis samanlaiset, eikä niiden välillä ollut tämän perusteella minkäänlaista epäsymmetriaa.

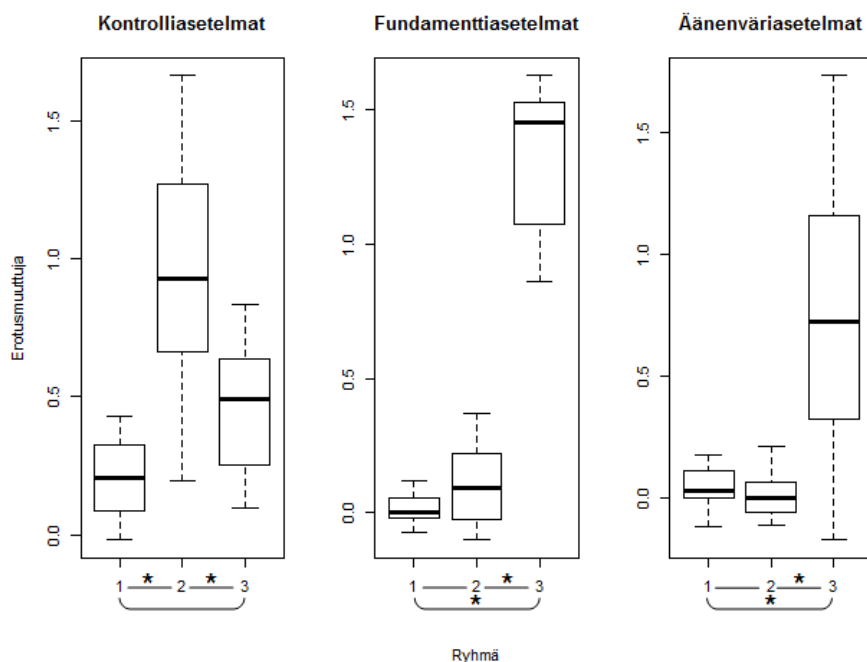
Ryhmässä 2 päätelmät olivat samanlaisia kuin ryhmässä 1: suoritus kontrolliasetelmassa poikkesi tilastollisesti merkitsevästi nolasta ($t(14) = 8.56, p < 0.001, d = 2.21$), mistä on pääteltävissä, että myös ryhmässä kaksi koeasetelmassa käytetty yhteisaksenttirakenne heikensi koehenkilöiden suoritusta. Sen sijaan suoritukset fundamenttiasetelmassa ($t(12) = 2.28, p = 0.02, d = 0.63$) ja äänenväriasetelmassa ($t(12) = 0.77, p = 0.23, d = 0.21$) eivät poikenneet merkitsevästi nolasta, mistä on pääteltävissä, ettei äänenväri- ja fundamenttitaajuuden kanavien välillä ollut ylikuulumista, mikä olisi heikentänyt suoritusta. Suoritus kontrolliasetelmassa poikkesi merkitsevästi suorituksesta fundamenttiasetelmassa ($t(17.98) = 7.17, p < 0.001, d = 2.64$) ja äänenväriasetelmassa ($t(15.49) = 8.16, p < 0.001, d = 2.99$), mutta fundamentti- ja äänenväriasetelma eivät eronneet toisistaan merkitsevästi ($t(19.72) = -1.55, p = 0.14, d = 0.61$). Tästä on pääteltävissä, ettei äänenvärin ja fundamenttitaajuuden välillä ollut myöskään ryhmässä 2 epäsymmetristä ylikuulumista.

Ryhmässä 3' päätelmät olivat suodatusasetelmissä erilaisia kuin ryhmissä 1 ja 2. Myös ryhmässä 3' suoritus kontrolliasetelmassa ($t(6) = 4.45, p = 0.002, d = 1.68$) poikkesi merkitsevästi nolasta: koeasetelmassa käytetty yhteisaksenttirakenne siis heikensi suoritusta myös tässä ryhmässä. Kontrolliasetelman lisäksi kuitenkin suoritukset myös fundamenttiasetelmassa ($t(5) = 10.98, p < 0.001, d = 4.48$) ja äänenväriasetelmassa ($t(8) = 3.59, p = 0.004, d = 1.20$) poikkesivat merkitsevästi nolasta. Tästä pääteltiin, että ryhmässä 3' koehenkilöiden ei ollut mahdollista synkronoitua pelkästään olennaisen ulottuvuuden mukaan. Äänenvärikanava oli ainakin jossain määrin ylikuulunut fundamenttitaajuuskanavalle sekä päinvastoin, mikä tarkoittaa, että äänenvärin ja fundamenttitaajuuden prosessointi oli yhtenäistä. Kontrolliasetelma poikkesi merkitsevästi fundamentti- ($t(10.322) = -5.5, p < 0.001, d = 3.07$), mutta ei äänenväriasetelmasta ($t(11.31) = -1.31, p = 0.22, d = 0.63$). Tämä tukee ajatusta siitä, että ainakin äänenväriasetelmassa yhtenäisyys oli täydellistä, sillä suoritus ei poikennut kontrolliasetelmasta, jossa koehenkilöiden tehtävänä oli synkronoitua yksiulotteiseen signaaliin. Suoritus fundamenttitaajuusasetelmassa poikkesi merkitsevästi suorituksesta kontrolliasetelmassa, mutta niin päin, että suoritus fundamenttiasetelmassa oli heikompaa kuin kontrolliasetelmassa. Tämän perusteella voisi ajatella, että ylikuulumista äänenvärikanavalle fundamenttitaajuuskanavalle oli tapahtunut enemmän, tai että

fundamenttitaajuus ei ollut tehtävän kannalta yhtä salientti kuin äänenväri. Kuitenkaan fundamentti- ja äänenväriasetelmat eivät eronneet toisistaan ($t(11.98) = -2.29, p = 0.04, d = 1.13$) merkitsevästi, mikä hankaloittaa niiden välisen eron tulkintaa.

4.4 Ryhmien väliset erot eri koeasetelmissa ja rytmikuvioiden synkronoitumisessa

Ryhmien välisten erojen selvittämiseksi tehtiin 9 parittaista testiä ryhmien välillä. Tästä syystä käytettiin Bonferroni-korjattuna merkitsevyystasona 0.0056:tta (0.05/9). Koska aikaisemman tarkastelun perusteella ryhmä 3' vaikutti eroavan ryhmistä 1 ja 2 siten, että ryhmässä 3' ylikuulumista kanavalta toiselle oli tapahtunut, mutta ryhmissä 1 ja 2 ei, tilastollisen voiman lisäämiseksi käytettiin ryhmän 3 suodatusasetelmien vertailuissa yksisuuntaista vastahypoteesia: hypoteesina oli, että tilanteessa, jossa ylikuulumista on, suoritustarkkuus on heikompaa ja siten keskiarvo myös suurempi. Kontrolliasetelmien suhteen tällaista päätöstä ei tehty, sillä aikaisempien testien mukaan kontrolliasetelmässä kaikissa ryhmässä oli ylikuulumista, joten erojen suunnasta ei tehty päätöstä. Ryhmien välisen merkitsevyystestauksen tulokset on esitetty kokoavasti kuviossa 6.



KUVIO 6. Ryhmien väliset erot eri koeasetelmissa. Tilastollisesti merkitsevät erot on merkitty asteriskilla (*). Kontrolliasetelmat poikkesivat toisistaan ryhmässä 1 ja 2 sekä ryhmässä 2 ja 3', mutta eivät ryhmässä 1 ja 3'. Fundamenttiasetelmat poikkesivat toisistaan ryhmässä 2 ja 3' sekä 1 ja 3', mutta eivät ryhmässä 1 ja 2. Äänenväriasetelmat poikkesivat toisistaan ryhmässä 2 ja 3' sekä 1 ja 3', mutta eivät ryhmässä 1 ja 2.

Ryhmien 1 ja 2 ($t(16.40) = -6.43, p < 0.001, d = 2.33$) sekä ryhmien 2 ja 3' ($t(17.88) = 3.29, p = 0.004, d = 1.38$) kontrolliasetelmat erosivat toisistaan merkitsevästi, mutta ryhmien 1 ja 3' kontrolliasetelmat eivät ($t(7.25) = -2.32, p = 0.05, d = 1.15$). Ryhmässä 2 suoriutuminen kontrolliasetelmassa oli siis heikompaa kuin ryhmissä 1 ja 3'.

Ryhmien 1 ja 2 fundamenttiasetelmat eivät eronneet toisistaan merkitsevästi ($t(13.88) = -1.83, p = 0.09, d = 0.71$), mikä tukee käsitystä, että ryhmissä 1 ja 2 äänenväri ei ylikuulunut fundamenttitaajuuskanavalle, eikä siten heikentänyt suoritusta. Ryhmien 1 ja 3' ($t(5.10) = -10.80, p < 0.001, d = 6.17$) sekä ryhmien 2 ja 3' ($t(6.30) = -9.59, p < 0.001, d = 5.211$) fundamenttiasetelmat erosivat toisistaan merkitsevästi, mikä tukee käsitystä, että ryhmässä 3' äänenväri ylikuului fundamenttitaajuuskanavalle ja siten heikensi suoritusta, toisin kuin ryhmissä 1 ja 2.

Äänenväriasetelmat eivät eronneet toisistaan merkitsevästi ryhmien 1 ja 2 välillä ($t(24.15) = 0.85, p = 0.41, d = 0.31$), mikä tukee käsitystä, että näissä ryhmissä fundamenttitaajuus ei ylikuulunut äänenvärikanavalle, eikä siten heikentänyt suoritusta. Sen sijaan ryhmien 1 ja 3' ($t(8.14) = -3.35, p = 0.0049, d = 1.57$) sekä ryhmien 2 ja 3' ($t(8.24) = -3.47, p = 0.004, d = 1.63$) väliset erot olivat merkitseviä. Tämä tukee käsitystä, että ryhmässä 3' fundamenttitaajuus ylikuului äänenvärikanavalle ja heikensi suoritusta ryhmässä 3', muttei ryhmissä 1 ja 2.

Kokonaisuudessaan ryhmien välisten erojen tarkastelu tukee ajatusta eri tavalla suoriutuneista ryhmistä. Ryhmissä 1 ja 2 ylikuulumista ei näyttänyt tapahtuneen suodatusasetelmissa, mutta ryhmät erosivat toisistaan kontrolliasetelmassa suoriutumisen suhteen. Ryhmässä 3' taas ylikuulumista suodatusasetelmissa oli tapahtunut, mikä erotti tämän selkeästi ryhmistä 1 ja 2.

Koska ryhmiin jakoa ei oltu tehty minkään teoreettisen kriteerin mukaisesti, esimerkiksi musiikillisen kokemuksen määrän perusteella, eikä taustamuuttujista ollut löydettävissä suuria eroja, päätettiin ryhmiä tutkia vielä sen suhteen, kuinka tarkkoja he olivat synkronoitumaan kokeessa käytettyyn tahdistumiskuvioon. Tällä tutkittiin ajatusta, että vaikeudet tahdistumiskuvioon synkronoitumisessa voisivat vaikuttaa ryhmien välillä havaittuun eroon ylikuulumisessa kanavien välillä.

Synkronoitumistarkkuutta eri ryhmissä tarkasteltiin katsomalla pelkkien tahdistumisosoiden (ks. kuvio 1) synkronoitumistarkkuutta. Tämän katsottiin kuvaavan sitä, miten tarkkoja eri ryhmissä olevat koehenkilöt ylipäänsä olivat synkronoitumaan kokeessa käytettyyn signaaliin: rytmikuvion tuttuus ja muut tilanteeseen liittyvät tekijät voivat vaikuttaa siihen, kuinka helppoa synkronoituminen on. Hypoteesi oli, että ryhmässä 3' synkronoitumistarkkuus olisi heikompaa, kuin ryhmissä 1 ja 2, sillä oli odotettavaa, että koehenkilöille, joille rytmikuvion prosessointi ylipäänsä on hankalampaa, voisi myös olla hankalampaa prosessoida sen ulottuvuuksia erillisinä. Tästä syystä

päätettiin käyttää testeissä yksisuuntaista vastahypoteesia, kun ryhmien 1 ja 2 keskiarvoja vertailtiin ryhmään 3'. Ennalta asetettuna merkitsevyystasona oli Bonferroni-korjattu 0.0167 (0.05/3), sillä ryhmien välisiä vertailuja tehtiin 3 kappaletta.

Normaaliusoletus ei pätenyt ryhmissä 1 ($W(53) = 0.664, p < 0.001$) ja 3' ($W(21) = 0.859, p = 0.005$), mutta päti ryhmässä 2 ($W(40) = 0.969, p = 0.31$). Koska normaaliusoletus ei pätenyt ryhmissä 1 ja 2 päätettiin erojen analysoimisessa käyttää epäparametrista Wilcoxonin järjestyssummatestiä.

Ryhmien kuvailevat tiedot ovat taulukossa 6. Kaikki ryhmät poikkesivat merkitsevästi toisistaan: ryhmät 1 ja 2 ($W = 457, p < 0.001, r = 0.59$), ryhmät 1 ja 3' ($W = 169, p < 0.001, r = 0.72$) ja ryhmät 2 ja 3' ($W = 284, p = 0.0078, r = 0.37$). Ryhmien välillä siis oli eroja siinä, kuinka tarkasti he pystyivät synkronoitumaan kokeessa käytettyyn tahdistumissignaaliin. Tarkinta synkronoituminen oli ryhmissä 1 ja 2, joissa ulottuvuuksien prosessointi oli erillistä, epätarkinta synkronoituminen oli ryhmässä 3', jossa ulottuvuuksien prosessointi oli yhtenäistä.

TAULUKKO 6. Ryhmien suoritukset tahdistumisasioissa.

Ryhmä	<i>N</i>	Mediaani	Minimi	Maksimi
1	54	0.084	0.041	0.474
2	41	0.182	0.052	0.403
3'	22	0.242	0.066	0.910

5 POHDINTA

Kysymykset, joihin tutkimuksessa etsittiin vastauksia, olivat: ovatko fundamenttitaajuus ja äänenväri yhtenäisiä sensomotorisessa synkronoitumistehtävässä, onko yhtenäisyys symmetristä ja onko yhtenäisyydessä eroja koehenkilöiden välillä? Koska aineistosta löydettyjen ryhmien välillä oli merkittäviä eroja, ei kahteen ensimmäiseen kysymykseen saatu täysin yksiselitteistä vastausta: ryhmässä 1 ja 2 äänenväriin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyydestä ei saatu näyttöä, mutta ryhmässä 3' saatiin näyttöä molempien yhtenäisyydestä. Tilastollisista analyyseista ulosjätetyllä koehenkilöllä yhtenäisyys ei näyttänyt symmetriseltä: äänenväriasetelmassa hänen suorituksensa muistutti ryhmiä 1 ja 2, mutta fundamenttiasetelmassa ryhmää 3'.

Tämä on ristiriidassa sen kanssa, että useissa tutkimuksissa on todettu äänenväriin ja fundamenttitaajuuden olevan erottamattomia siten, että epäoleellinen ulottuvuus heikentää joko nopeutta luokitella ärsykeitä tai tunnistaa niissä taajuuseroja (Allen & Oxenham 2014; Crowder 1989; Krumhansl & Iverson 1992; Melara & Marks 1990a & 1990b; Pitt 1994; Platt & Racine 1985; Wapnick & Freeman 1980; Warrier & Zatorre 2002). Sensomotorinen synkronoituminen on toimintaa, jossa näitä molempia tarvitaan: taajuuksien erottelua, jotta ärsykkeet ylipäänsä voitaisiin erottaa toisistaan, ja ärsykkeiden luokittelua, jotta signaalivuosta voi tunnistaa aksentit aksentoimattomista ärsykeistä. Tämän vuoksi ennalta asetettuna hypoteesina oli, että aikaisemmassa tutkimuksessa havaittu kanavien välinen ylikuuluminen olisi heikentänyt suoritusta myös sensomotorisessa synkronoitumistehtävässä. Tämä hypoteesi ei saanut yksiselitteistä tukea.

Tälle voi olla useita syitä. Ensinnäkin kokeessa käydyt taajuuserot niin fundamenttitaajuudessa kuin äänenvärien spektrin tasapainopisteissä olivat suuria, joten on mahdollista, että niiden luokittelu oli niin helppoa, ettei se vaikuttanut ryhmässä 1 ja 2 suoritusta heikentävästi. Tätä ei tue toisaalta se, että myös aikaisemmissa tutkimuksissa on käytetty selkeitä eroja. Krumhansl & Iverson (1992) käyttivät äänenväreinä pianoa ja trumpettia, joiden ero on hyvin selkeä, ja fundamenttitaajuuksina he käyttivät 370 ja 523 hertsiä, mikä on lähestulkoon yhtä suuri ero kuin tässä tutkimuksessa käytetty, mutta silti he havaitsivat luokittelutehtävässä reaktioaikojen hidastuvan.

Toinen mahdollinen syy on se, ettei sensomotorinen synkronoituminen ei vaadi ärsykeisiin reagoimista heti, vaan tulevien iskujen paikkojen ennakoimista edeltävien iskujen perusteella. Koehenkilöiden taputukset eivät siis ole reaktioita niihin tahdistumissignaalin iskuihin, joihin he yrittävät saada taputukset osumaan, vaan niitä edeltäneisiin (Repp 2013, 405). Tätä vaihtoehtoa prosessointiin käytettävän ajan vaikutuksesta yhtenäisyyteen ovat aikaisemmin ehdottaneet Semal

& Demany (1991, 2409) tulkitessaan sitä, miksi äänenväri ja fundamenttitaajuus vaikuttivat erillisiltä lyhytkestoisen muistin kannalta. Kuitenkin sensomotorisessa synkronoitumisessa myös suoritetaan virhekorjausta (Repp 2013, 407) suhteessa kuultuun signaaliin ja motoriseen toimintaan. On epäselvää, voisiko myös tämä tapahtua viiveellä. Sen lisäksi yksittäisten ärsykkeiden väli tässä tutkimuksessa oli vain 250 millisekuntia, ja koehenkilöt oletettavasti joutuivat prosessoimaan jokaisen iskun erikseen, eivät pelkästään niitä, joihin he yrittivät ajoittaa iskunsa. Jatkotutkimuksissa voitaisiin muunnella taputusten ja ärsykkeiden väliä sen selvittämiseksi, millainen vaikutus tällä on.

Aiemmin esitetyt selitykset siitä, miksei äänenväriin ja fundamenttitaajuuden yhtenäisyyttä todettu, eivät pysty toisaalta vastaamaan siihen, miksi vaikutus oli erilainen eri koehenkilöillä. Mahdollinen selitys tälle on ryhmien eroava synkronoitumistarkkuus kokeessa käytettyyn rytmikuvioon. Ryhmät 1 ja 2, joissa äänenväriin ja fundamenttitaajuuden prosessointi oli erillistä, synkronoitumistarkkuus oli tarkinta, vaikkakin ryhmän 2 synkronoitumistarkkuus erosi ryhmästä 1 merkitsevästi. Ryhmässä 3', joka erosi ryhmistä 1 ja 2 merkitsevästi synkronoitumistarkkuuden suhteen, äänenväriin ja fundamenttitaajuuden prosessointi oli yhtenäistä. Huomattavaa tässä tuloksessa on se, että heikompi synkronoitumistarkkuus ryhmässä 2 ei vielä aiheuttanut muutosta prosessointi erillisyydessä. Vasta ryhmässä 3' käsittelyssä tapahtui laadullinen muutos erillisestä yhtenäiseen.

Taustatietojen perusteella ei ollut pääteltävissä, että eri ryhmissä olisi ollut merkittävällä tavalla musiikilliselta kokemukseltaan eroavia koehenkilöitä. Ei siis ole välttämättä perusteltua väittää, että erot olisivat johtuneet sinänsä eroista musiikillisessa kokemuksessa tai yleisessä rytmitajussa. Voi olla, että erot johtuivat pikemminkin siitä, kuinka hyvin koehenkilöt pystyivät käyttämään hyväkseen auditiivisessa signaalissa olevaa informaatiota tahdistumiseen. Tämän taustalla voivat olla tilannekohtaiset tekijät sekä se, kuinka tuttu rytmikuvio on koehenkilölle: kontekstisidonnaisuuden tärkeyteen viittaa se, että Warrierin ja Zatorrin (2002) tulosten mukaan ärsykejonon melodinen konteksti voi vaikuttaa siihen, kuinka erillisinä ja yhtenäisinä äänenväri ja fundamenttitaajuus näyttäytyvät. Nämä ovat asioita, joita jatkotutkimuksissa voitaisiin myös selvittää.

Havaintojen pienen määrän vuoksi ryhmien 1 ja 2 nollatulokseen täytyy suhtautua varauksella, sillä voi olla, että tulos johtui siitä, ettei tilastollista voimaa ollut tarpeeksi erottamaan efektiä. Cohenin d -suureen arvot olivat ryhmän 1 äänenväriasetelmassa ($d = 0.58$) ja ryhmän 2 fundamenttiasetelmassa ($d = 0.63$) yli kirjallisuudessa tavallisesti kohtalaisena efektikokona pidetyn raja-arvon ($d = 0.50$) (ks. Piasta & Justice 2010). Toisaalta yleistä sääntöä parempi vertailukohta voi olla tutkimuksessa käytetty kontrolliasetelma, jolla haluttiin nimenomaan

kartoittaa suoritusta siinä tapauksessa, että yhteisaksenttirakenteen prosessointi on täysin yhtenäistä. Kontrolliasetelmien efektikoot (ryhmässä 1 $d = 1.46$ ja ryhmässä 2 $d = 2.21$) olivat huomattavasti suurempia kuin mainittujen suodatusasetelmien efektikoot.

Efektikoon tulkinnassa täytyy olla varovainen siitäkin syystä, että osa efektistä voi selittyä sillä, että muutos signaalissa ylipäänsä on aiheuttanut tarkkaavaisuuden hetkellisen siirtymisen pois tehtävästä. Vaikka äänenväriin ja fundamenttitaajuuden prosessointi olisikin erillistä, jos se, että signaali muuttuu, voi aiheuttaa muutoksen synkronoitumisessa. Toisin sanoen pieni muutos suoritustarkkuudessa ei välttämättä johdu siitä, että informaatiota ylikuuluisi epäolennaiselta kanavalta olennaiselle, vaan siitä, että tarkkaavaisuus siirtyy hetkeksi seuraamaan epäolennaista kanavaa. Tässä kokeessa tätä kontrolloitiin niin, että muutoksen määrä pidettiin minimissä: suodatusasetelmissa jo tahdistumisosassa oli mukana epäolennainen ulottuvuus ja häirintäosioon siirtyessä epäolennaiseen ulottuvuuteen vain lisättiin aksentteja. Mahdollisesti tätä voisi tutkia jatkossa niin, että suorituksen ajallista muuttumista tutkittaisiin tarkemmin. Tällöin voitaisiin mahdollisesti erottaa tarkkaavaisuuden hetkellinen siirtyminen toiseen kanavaan kanavien välisestä ylikuulumisesta eli niiden yhtenäisyydestä.

Toisaalta tulokset olivat eri ryhmien välillä hyvin selkeitä: ryhmässä 3', jossa ylikuulumista havaittiin, muutos tahdistumisosasta häirintäosioon oli sen verran suuri, ettei sen selittäminen hetkellisellä tarkkaavaisuuden suuntaamisella epäolennaiseen ulottuvuuteen vaikuta realistiselta. Tästä syystä ryhmien 1 ja 2 suurehkoihin efektikokoihin on suhtauduttava varauksella: kontrolliasetelmien huomattavasti suurempien efektikokojen perusteella efektin odotettiin olevan suhteellisen robusti, mutta tätä ei havaittu suodatusasetelmissä. Tällainen robusti efekti havaittiin vain ryhmän 3' suorituksissa suodatusasetelmissä sekä koehenkilön 1 suorituksessa fundamenttiasetelmassa.

Haasteellista synkronoitumisen tutkimisessa on se, että koehenkilöiden väliset erot suorituksessa ovat suuria. Jatkotutkimuksissa voitaisiin käyttää tulosten käsittelemiseen menetelmiä, joilla eroja voitaisiin normalisoida. Voi olla, että tällä tavoin oltaisiin voitu tässäkin tutkimuksessa yhdistää ryhmät 1 ja 2, mikäli suoritusta ei oltaisi tarkasteltu absoluuttisesti, vaan suhteessa kontrolliasetelmassa suoriutumiseen. Tämä olisi voinut parantaa tilastollisten testien voimaa.

Tämän lisäksi tutkimuksessa jäi vielä avoimeksi monia teoreettisia kysymyksiä sen suhteen, mitkä prosessit ovat vastuussa moniulotteisen äänisignaalin prosessoinnista sensomotorisessa synkronoitumisessa ja kuinka nämä prosessit toimivat ajallisesti. Tutkimuksessa ei myöskään eroteltu valintaprosesseja (*decision processes*) havaintoprosesseista (*perceptual/sensory processes*), jotka ovat aikaisemmassa tutkimuksessa käytettyjä teoreettisia toisistaan erillisiä prosessoinnin

tasoja, joilla ärsykkeiden erillisuus ja yhtenäisyys voivat ilmetä (ks. Ashby & Townsend 1986; Melara & Marks 1990a). Kaksikäinen sensomotorinen synkronoitumistehtävä on siinä mielessä mielenkiintoinen valintaprosessien suhteen, että siinä koehenkilöiden täytyy tehdä päätös paitsi taputusten ajoittamisesta, myös siitä, kummalla kädellä he taputtavat kulloinkin. Erityyppisten virheiden analyysi voisi tuoda lisävalaistusta näiden prosessien ymmärtämiseen.

Ryhmässä 3' mahdollisesti havaittu äänenväriin suurempi ylikuuluminen fundamenttitaajuuskanavalle toistaa hieman eri näkökulmasta Pittin (1994: koe 2) tulokset, joissa musiikillisesti kokemattomilla havaittiin vastaavanlainen epäsymmetria. Tässä kokeessa tosin ei ollut kyse taustatietojen perusteella musiikillisesta kokemattomuudesta, vaan kokeessa käytetyn tahdistumissignaalin tarjoamista synkronoitumismahdollisuuksista, joista ryhmä 3' ei saanut niin hyvin kiinni kuin ryhmät 1 ja 2. Mielenkiintoista tältä kannalta on myös se, että vastaavanlainen trendi oli havaittavissa tilastollisista analyyseistä poisjätetyllä koehenkilöllä: hänen suorituksensa perusteella näytti siltä, että äänenvärikanava on ylikuulunut fundamenttitaajuuskanavalle, mutta ei toisinpäin. Toisaalta poissuljettua ei ole sekään, että kokeessa käydyissä ärsykkeissä olisi ollut salienssiongelmia, mikä on vaikuttanut siihen, että äänenväri on ylipäänsä ylikuulunut fundamenttitaajuuskanavalle enemmän.

Tulosten yleistettävyydessä on rajoituksensa. Koska ryhmät olivat pieniä, täytyy tuloksiin suhtautua suurella varauksella, sillä myöskään yksittäisiä havaintoja ei ollut eri ryhmissä suurta määrää. Tämän lisäksi kaikilla analysoiduilla koehenkilöillä oli musiikillista kokemusta, joten tuloksia ei voi yleistää soittamista harrastamattomiin, sillä havainto- ja toiminta-alueet ovat eri tavoin yhteenkytkettyneitä muusikoilla ja soittamista harrastamattomilla (ks. Novembre & Keller 2014).

Tuloksia ei voi välttämättä yleistää erilaisiin ärsykesarjoihin. Kokeessa käytetyt ärsykesarjat olivat rakenteeltaan hyvin yksinkertaisia ja abstrakteja, kuten myös koehenkilöiden tehtävä. Tämä ei vastaa kovinkaan tarkasti sitä, millaisia musiikillisia ärsykeitä ihmiset käytännössä kohtaavat. Jatkotutkimuksissa voitaisiin käyttää esimerkiksi oikeita instrumentteja, ärsykejonoja, jotka on sävelletty musikaalisiksi ja synkronoitumistehtävää, joka on toisteisen taputuksen sijaan musikaalinen. Tämän lisäksi kokeen tulokset tulisi toistaa myös ärsykkeillä, joiden parametreja on muuteltu, jotta saataisiin selville, missä määrin kokeen tulokset johtuvat siinä käytettyjen ärsykkeiden spesifeistä parametreista, kuten esimerkiksi hyppyjen suuruudesta ja suunnasta.

Eräs mahdollisuus on myös se, että aksenttien havaitut paikat vaikuttivat tuloksiin. Aikaisemmassa tutkimuksessa on ollut erimielisyyttä sen suhteen, onko esimerkiksi melodiankaarrokseen liittyvä aksentti melodian huippukohdassa vai sitä seuraavalla nuotilla (ks. Pfordresher 2003, 432-433). Tämä voi osaltaan selittää havaittuja eroja synkronoitumistarkkuudessa

signaaliin: harjoitteluvaiheessa kävi ilmi, että osa koehenkilöistä pyrki taputtamaan poikkeavien iskujen jälkeisille iskuille. Tämän vuoksi kokeessa käytetty synkronoitumissignaali ei välttämättä ole ollut heidän kannaltaan tässä mielessä luonteva. Tämä on seikka, joka jatkotutkimuksissa tulisi ottaa huomioon.

Tulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että valikoivaan tarkkaavaisuuteen perustuva sensomotorinen synkronoitumistehtävä on toimiva tapa tutkia äänisignaalin ulottuvuuksien yhtenäisyyttä ja erillisyyttä, ja tässä tutkimuksessa tällä tavalla saatiin uudenlaista tietoa siitä, kuinka ihmiset prosessoivat moniulotteista äänisignaalia. Tuloksilla on tämän lisäksi merkitystä yhteisaksenttirakenneteorialle: interferenssin puute ryhmissä 1 ja 2 vihjaa siihen suuntaan, ettei aksenttirakenteen syntyminen moniulotteisesta signaalista ole automaattista, vaan riippuu siitä, mitkä signaalin ulottuvuudet ovat havaittajan kannalta oleellisia. Toisin sanoen ihmiset voivat siirtää tarkkaavaisuuden fokaalipistettä paitsi hierarkisten tasojen välillä (Jones & Boltz 1989; Jones 2012; Palmer & Krumhansl 1990), myös moniulotteisen audittiivisen signaalin eri ulottuvuuksien välillä.

LÄHTEET

- Agostinelli, C. Lund, U. (2013). R package 'circular': Circular Statistics (version 0.4-7). Haettu 21.5.2015 osoitteesta: < <https://r-forge.r-project.org/projects/circular/> >
- Allen, E. J., & Oxenham, A. J. (2014). Symmetric interactions and interferences between pitch and timbre. *Journal of the Acoustical Society of America*, 135(3), 1371–1379.
- Ashby, G. F. & Townsend, J. T. (1986). Varieties of Perceptual Independence. *Psychological Review*, 93(2), 154–179.
- Caclin, A., Giard, M.-H., Smith, B. K., McAdams, S. (2007). Interactive processing of timbre dimensions: A Garner interference study. *Brain research*, 1138, 159–170.
- Crowder, R. G. (1989). Imagery for Musical Timbre. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(3), 472–478.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor Facilitation During Action Observation: A Magnetic Stimulation Study. *Journal of Neurophysiology*, 73(6), 2608–2611.
- Fox, J. & Weiberg, S. (2011). An {R} Companion to Applied Regression (2nd edition). Thousand Oaks CA: Sage. Haettu 21.5.2015 osoitteesta <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Garner, W.R. (1974). *The processing of information and structure*. New York : John Wiley & Sons
- Grau, J. W. & Kemler Nelson, D. G. (1988). The Distinction Between Integral and Separable Dimensions: Evidence from the Integrality of Pitch and Loudness. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117(4), 347–370.
- Hari R., Forss N., Avikainen S., Kirveskari E., Salenius S. & Rizzolatti G. (1998). Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 95, 15061–15065.
- Hari, R., Bourguignon, M., Piitulainen, H., Smeds, E., de Tiège, X. & Jousmäki, V. (2014). Human primary motor cortex is both activated and stabilized during observation of other person's phasic motor actions. *Phil. Trans. R. Soc. B* , 369(1644). Haettu 20.10.2014 osoitteesta: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/369/1644/20130171.full.pdf+html>
- Haueisen, J. & Knösche, T. R. (2001). Involuntary Motor Activity in Pianists Evoked by Music Perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(6), 786–792.
- Hickok, G., Buchsbaum, B., Humphries, C. & Muftuler, T. (2003). Auditory-Motor Interaction Revealed by fMRI: Speech, Music, and Working Memory in Area Spt. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(5), 673–682.

- Iacoboni M., Woods R. P., Brass M., Bekkering H., Mazziotta J.C. & Rizzolatti G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, 286, 2526–2528.
- Iverson, P. (1995). Auditory Stream Segregation by Musical Timbre: Effects of Static and Dynamic Acoustic Attributes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(4), 751–763.
- Jones, M. R. (1987). Dynamic pattern structure in music: Recent theory and research, *Perception & Psychophysics*, 41(6), 621–634.
- Jones, M. R. (2012). Musical Time. *Oxford Handbook of Music Psychology*. Haettu 16.10.2014 osoitteesta: <http://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780199298457.001.0001/oxfordhb-9780199298457-e-008?rskey=SVaQdP&result=1>
- Jones, M. R. & Boltz, M. (1989). Dynamic Attending and Responses to Time. *Psychological Review*, 96(3), 459–491.
- Jones, M. R. & Pfordresher, P. Q. (1997). Tracking Musical Patterns using Joint Accent Structure. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 51(4), 271–290.
- Krumhansl, C. & Iverson, P. (1992). Perceptual Interactions Between Musical Pitch and Timbre. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 18(3), 739–751.
- Lidji, P., Jolicoeur, P., Moreau, P., Kolinsky, R., & Peretz, I. (2009). Integrated Preattentive Processing of Vowel and Pitch. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 481–484.
- Lu, Z. & Yuan, K.-H. (2010). Welch's t Test. *Encyclopedia of Research Design* (toim. Salkind, N. J.). Haettu 8.4.2015 osoitteesta: <http://srmo.sagepub.com/view/encyc-of-research-design/n497.xml>
- Mardia, K. V. & Jupp, P. E. (2000). *Directional Statistics*. Chichester : John Wiley.
- Melara, R. D. & Marks, L. E. (1990a). Interaction among auditory dimensions: Timbre pitch and loudness. *Perception & psychophysics*, 48(2), 169–178.
- Melara, R. D. & Marks, L. E. (1990b). Perceptual Primacy of Dimensions: Support for a Model of Dimensional Interaction. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(2), 398–414.
- Melara, R. D. & Marks, L. E. (1990c). Dimensional Interactions in Language Processing: Investigating Directions and Levels of Crosstalk. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(4), 539-554.
- Navarro D. J. (2015). Learning statistics with R: A tutorial for psychology students and other beginners (Version 0.5). University of Adelaide. Adelaide, Australia. Haettu 21.5.2015

osoitteesta: <http://ua.edu.au/ccs/teaching/lsr>

- Nishitani, N. & Hari, R. (2000). Temporal Dynamics of Cortical Representation for Action. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(2), 913–918.
- Novembre, G. & Keller, P. E. (2014). A conceptual review on action-perception coupling in the musicians' brain: what is it good for? *Frontiers in Human Neuroscience* (8), 1–11.
- Nummenmaa, L. (2004). *Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät*. Helsinki: Tammi.
- Oxenham, A. J. (2013). The Perception of Musical Tones. Teoksessa D. Deutsch (toim.), *The Psychology of Music* (s. 1–33). London: Academic Press.
- Palmer, C. & Krumhansl, C. (1990). Mental Representations for Musical Meter. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(4), 728–741.
- Pantev, C., Hoke, M., Lutkenhoner, B. & Lehnertz, K. (1989). Tonotopic Organization of the Auditory Cortex: Pitch versus Frequency Representation. *Science*, 246(4929), 486–488.
- Pfordresher, P. Q. (2003). The Role of Melodic and Rhythmic Accents in Musical Structure. *Music Perception*, 20(4), 431–464.
- Piasta, S. B. & Justice, L. M. (2010). Cohen's d statistic. Teoksessa Salkind, N. J. (toim.), *Encyclopedia of Research Design*. Haettu 27.4.2015 osoitteesta <http://srmo.sagepub.com/view/encyc-of-research-design/n58.xml>
- Pitt, M. A. (1994). Perception of Pitch and Timbre by Musically Trained and Untrained Listeners. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(5), 976–986.
- Platt, J. R. & Racine, R. J. (1985). Effect of frequency, timbre, experience, and feedback on musical tuning skills. *Perception & Psychophysics*, 38(6), 543–553.
- Prince, J. B, Thompson, W. F. & Schmuckler, M. A. (2009). Pitch and Time, Tonality and Meter: How Do Musical Dimensions Combine? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1598–1617.
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Haettu 21.5.2015 osoitteesta: < <http://www.R-project.org/>. >
- Repp, B. H. (2003). Phase Attraction in Sensorimotor Synchronization With auditory Sequences: Effects of Single and Periodic Distractors on Synchronization Accuracy. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(2), 290–309.
- Repp, B. H. (2006). Does an auditory distractor sequence affect self-paced tapping? *Acta Psychologica*, 121, 81–107.
- Repp, B. H. (2009a). Rhythmic sensorimotor coordination is resistant but not immune to auditory stream segregation. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 62(12), 2306–2312.

- Repp, B. H. (2009b). Segregated in perception, integrated for action: Immunity of rhythmic sensorimotor coordination to auditory stream segregation. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(3), 426–434.
- Repp, B. H. & Su, Y.-H. (2013). Sensorimotor Synchronization: A Review of Recent Research (2006-2012). *Psychonomic Bulletin & Review*, 20, 403–452.
- Scilab Enterprises (2012). Scilab: Free and Open Source software for numerical computation (Windows, Version 5.1.1).
- Schubert, E. & Wolfe, J. (2006). Does Timbral Brightness Scale with Frequency and Spectral Centroid? *Acta Acustica United With Acustica*, 92, 820-825.
- Semal, C & Demany, L. (1991). Dissociation of pitch from timbre in auditory short-term memory. *Journal of the Acoustical Society of America*, 89(5), 2404–2410.
- Semal, C. & Demany, L. (1993). Further evidence for an autonomous processing of pitch in auditory short-term memory. *Journal of the Acoustical Society of America*, 94(3 pt. 1), 1315–1322.
- Silbert, N. H., Townsend, J. T., Lentz, J. J. (2009). Independence and separability in the perception of complex nonspeech sounds. *Attention, perception & psychophysics*. 71(8), 1900–1915.
- Singh, P. G. (1987). Perceptual organization of complex-tone sequences: a tradeoff between pitch and timbre? *Journal of the Acoustical Society of America*. 82(3), 886–99.
- Singh, P. G., Bregman, A. S. (1997). The influence of different timbre attributes on the perceptual segregation of complex-tone sequences. *Journal of the Acoustical Society of America*. 102(4), 1943–1952.
- Smith, J., Hausfield, S., Power, R. & Gorta, A. (1982) Ambiguous musical figures and auditory streaming. *Perception & psychophysics*. 32(5), 454–464
- Sundberg, J. (2013). Perception of Singing. Teoksessa D. Deutsch (toim.) *The Psychology of Music* (s.69-105). London: Academic Press.
- Wapnick, J. & Freeman, P. (1980). Effects of Dark-Bright Timbral Variation in the Perception of Flatness and Sharpness. *Journal of Research in Music Education*, 28(3), 176–184.
- Warrier, C.M., & Zatorre, R.J. (2002). Influence of tonal context and timbral variation on perception of pitch. *Perception & Psychophysics*, 64(2), 198–207.