

**This is an electronic reprint of the original article.
This reprint *may differ* from the original in pagination and typographic detail.**

Author(s): Himberg, Tommi

Title: Molemminpuolinen mukautuminen : tahdistumisen ja musiikillisen vuorovaikutuksen tutkimus

Year: 2012

Version:

Please cite the original version:

Himberg, T. (2012). Molemminpuolinen mukautuminen: tahdistumisen ja musiikillisen vuorovaikutuksen tutkimus. In T. Himberg, J. Vuoskoski, & T. Eerola (Eds.), *Monitieteinen musiikintutkimus : Suomen Musiikintutkijoiden 16. Symposium, Jyväskylä 21.-23.3.2012. Konferenssijulkaisu* (pp. 17-22). Jyväskylä, Finland: Musiikin laitos, Jyväskylän yliopisto. Retrieved from <https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/37585>

All material supplied via JYX is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of the repository collections is not permitted, except that material may be duplicated by you for your research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered, whether for sale or otherwise to anyone who is not an authorised user.

MOLEMMINPUOLINEN MUKAUTUMINEN: TAHDISTUMISEN JA MUSIIKILLISEN VUOROVAIKUTUKSEN TUTKIMUS

Tommi Himberg

Monitieteisen musiikintutkimuksen huippuyksikkö, Musiikin laitos, Jyväskylän yliopisto
tommi.himberg@jyu.fi

Tiivistelmä

Synkronisaation ja rytmisen liikkeen kokeellinen tutkimus on keskittynyt suurelta osin tutkimaan yksittäisiä koehenkilöitä laboratorio-olosuhteissa rytmitaputuskokein. Näin ollen mittausmenetelmätkin yleensä tarkastelevat lähinnä vain taputuksen tasaisuutta ja toisaalta synkronisaation tarkkuutta.

Tahdistuminen (entrainment) aidossa musiikillisessa vuorovaikutuksessa kahden tai useamman esiintyjän kesken on kuitenkin osoittautunut näitä malleja monimutkaisemmaksi. Sensorimotorisen synkronisaation (SMS) mallit eivät ole yleistettävissä aitoon vuorovaikutukseen, ja lisäksi ne eivät kunnolla huomioi vuorovaikutuksen kannalta tärkeitä tekijöitä kuten mukautumisen (adaptation) kaksisuuntaisuutta (molemmat / kaikki osallistujat mukautuvat toisten virheisiin / muutoksiin) tai pysty jäljittämään vaikutusten (influence) olemassaoloa tai suuntaa.

Esittelen viimeaikaisia empiirisiä tutkimuksia, jotka osoittavat SMS-mallien riittämättömyyden aidon moninkeskinen vuorovaikutuksen kuvaamiseen sekä joukon mm. dynaamisten järjestelmien tutkimuksesta lainattuja menetelmiä, jolla tällaista vuorovaikutusta voidaan tutkia ja osallistujien välistä mukautumista ja keskinäistä vaikutusta mitata. Tutkimukset ovat sekä rytmitaputus- että liiketunnistustutkimuksia. Menetelmiä voidaan soveltaa esimerkiksi musiikki- tai tanssiesityksen esittäjien tai esittäjien yleisön välisen vuorovaikutuksen tutkimiseen tai vaikkapa opetustilanteiden tai musiikkiterapiaimprovisaatioiden analysointiin.

Asiasanat: monitieteinen musiikintutkimus, vuorovaikutus, tahdistuminen

1. Johdanto

Rytmikäs musiikki saa kuulijan kuin huomaamatta taputtamaan jalallaan mukana tai liikkumaan muuten musiikin tahtiin. Keskusteluun uppoutunut pariskunta kävelee kadulla rinnakkain, askeltaen samassa tahdissa. Yleisö palkitsee esiintyjän raikuvien aplodein, jotka aina välillä tiivistyvät rytmikkääksi ja yhtäaikaiseksi taputukseksi hajotakseen taas hetken päästä kakofoniaksi.

Tällainen synkronisaatio ja tahdistuminen on ihmisille automaattista ja toisaalta välttämätöntä niin kielellisen kommunikoinnin kuin musisoinninkin kannalta. Ilmiötä on tarkasteltu kognitiivisen psykologian ja musiikintutkimuksen puolella lähinnä tutkimalla yksittäisiä koehenkilöitä laboratoriossa

järjestetyin taputuskokein. Tässä lyhyessä artikkelissa tarkoitukseni on perustella, miksi tahdistuminen on nimenomaan vuorovaikutuksellinen ilmiö ja miksi sitä siis pitäisi myös tutkia vuorovaikutustilanteissa. Esittelen myös esimerkein menetelmiä, joiden avulla tämä onnistuu.

2. Synkronisaatiotutkimus

Synkronisaatiota ja ajoitusta on tutkittu tyypillisesti taputuskokein. Taustalla on ollut kognitiotutkimuksen halu selvittää ihmisen sisäisen kellon toimintaa. Yhtäältä on tutkittu, miten hyvin kello auttaa pysymään tasaisessa tempossa ilman ulkoista apua, ja toisaalta

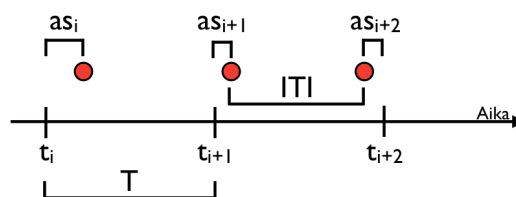
on tutkittu, miten kello auttaa tahdistamaan ulkoiseen, esimerkiksi metronomin antamaan tahtiin. Bruno Repp (2005) on tehnyt erinomaisen koostartikkelin tästä "sensorimotorisen synkronisaation" tutkimuksesta.

Sensorimotorisen (sensorinen eli aistinvarainen ärsyke, motorinen eli liikevaste) synkronisaation (SMS) klassinen tutkimusasetelma on, että koehenkilö kuulee aluksi metronomin, jonka tahtiin hän alkaa taputtaa. Hetken päästä metronomi loppuu, ja koehenkilön tulee jatkaa taputusta mahdollisimman tarkasti alkuperäisessä tempossa. Tämä synkronisaatio-jatkotaputusmenetelmä (synchronisation-continuation) on ollut käytössä ainakin 126 vuotta (Stevens, 1886) ja sitä on sovellettu luovasti: on vertailtu auditorisia ja visuaalisia metronomeja (Repp & Penel, 2004), tehty metronomiin pienempiä ja suurempia poikkeamia tasaisesta tahdista ja tarkasteltu tietoista ja tiedostamatonta virheenkorjausta (mm. Repp, 2002; Stephan et al., 2002), vertailtu iskulla ja iskujen välissä taputtamista (Repp, 2005b) ja paljon muuta.

Sisäisen kellon toimintaa koskevista teorioista ensimmäisiä ja sittemmin erittäin vaikutusvaltaisia oli Alan Wingin ja A.B. Kristoffersonin malli (Wing & Kristofferson, 1973), jossa rytmitaputuksen pienet, jatkuvat virheet (taputusintervallien varianssi) jaettiin toisaalta sisäisen kellon virheisiin ja toisaalta motorisen järjestelmän epätarkkuuksiin. Tämä malli on myöhemmin täydentynyt mm. Jiri Matesin (1994) ja Hans-Henning Schulzen ja Dirk Vorbergin (2002) toimesta.

Näitä voi kutsua myös lineaarisiksi malleiksi, sillä niissä virheenkorjaus perustuu siihen, että iskulla t_i (katso kuva 1) havaittu synkronisaatiovirhe a_i (se, että taputtajan isku osuu hieman ennen tai jälkeen metronomin, eikä täysin yhtä aikaa) korjataan lisäämällä tai vähentämällä seuraavaan (sisäisen kellon tuottamaan) iskuväliintervalliin (ITI) virhettä vastaava aika (tai osa siitä). Näin seuraava isku t_{i+1} osuu lähemmäksi metronomia. Näin korjaantuvat pienet vaihevirheet (phase error). Näissä tapauksissa sisäisen kellon jaksonaika (period), eli aikamitta yhdeltä iskulta seuraavaan on vakio ja sama kuin metronomillakin (T). Pienet epätarkkuudet tässä sekä motorisessa toteutuksessa aiheuttavat näitä pieniä vaihevirheitä, jotka lineaarinen virheenkorjaus

paikkaa, jolloin virhe ei pääse koskaan kasvamaan suureksi ja näin taputtaja pysyy metronomin tahdissa. Tämä virheenkorjaustapa voidaan kirjoittaa yksikertaiseksi lineaariseksi yhtälöksi. Vastaavalla tavalla Schulzen ja Vorbergin malli (2002) hoitaa myös tempon muutoksissa tarvittavan periodivirheenkorjauksen säätämällä vaiheen lisäksi myös taustalla olevaa jaksonaikaa.



Kuva 1. Lineaaristen mallien terminologiaa

Lineaarinen malli on toteutettu tietokonemalliksi, jolloin on voitu tutkia sen ja koehenkilöiden välistä vuorovaikutusta (Vorberg, 2005; Repp & Keller, 2008). Malli ei kuitenkaan tunnu tavoittavan ihmisen tahdistumiskykyjen keskeisimpiä ominaisuuksia, eli joustavuutta ja monenkeskisyyttä. Verrattaessa ihmisen sensorimotorisen tahdistumisen kykyä joillakin eläimillä havaituihin synkronisaatiokykyihin, mainitaan juuri joustavuus esimerkiksi metrinen tasojen ja tempoalueiden osalta ihmisen toiminnalle tyypillisinä ominaisuuksina (esim. Bispham, 2006). Toisaalta tahdistumiskyky mahdollistaa paitsi yhteistoiminnan parin kanssa, myös suurissa ryhmissä. Tätäkin taustaa vasten lineaaristen mallien asettama edellytys synkronisaatiovirheen tarkalle (joskin tiedostamattomalle) havaitsemiselle ja sen lineaariselle korjaamiselle tietyn vakioarvoisen parametrin kautta on ongelmallinen.

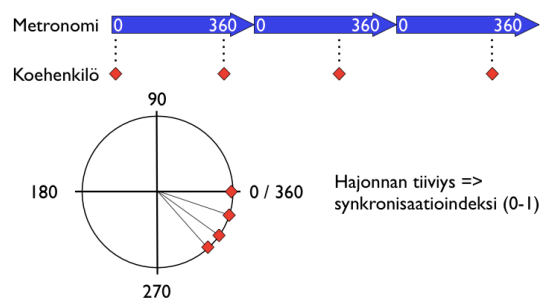
3. Oskillaattorimallit ja kulmatilastollinen tarkastelu

Toinen mallien pääluokka ovat epälineaariset tai ns. oskillaattorimallit. Nämä perustuvat dynaamisten järjestelmien tutkimukseen (kts. esim. Haken, Kelso & Buntz, 1985) ja kärjistetysti voisi sanoa, että yksittäisten iskujen samanaikaisuuden mittaamisen sijaan

tavoitteena on mallintaa tahdistuvien (ent-rained) järjestelmien ominaisuuksia, tyypillisesti epälineaarisiin differentiaaliyhtälöihin. Tavoite on siis ymmärtää toimijoiden sisäistä ja toimijoiden välistä dynamiikkaa.

Vaikka ei pyrkisikään rakentamaan vaikkapa musiikillisesta vuorovaikutuksesta monimutkaista mallia, on näissä malleissa hyödyllisiä piirteitä, joita voi helposti hyödyntää myös musiikillisen käyttäytymisen tutkimuksessa. Näistä keskeinen on musiikillisen metrin sykliisyys, eli että metrin rakenne toistaa itseään tietyn periodin (esim. yksi tahti tai yksi isku) välein. Näin ollen voidaan rytmejä muodostavia säveliä tutkia siten, miten ne suhtautuvat tähän rakenteeseen (kuten nuottikirjoituksessakin periaatteessa tehdään) eikä niinkään sen kautta, miten kauan rytmin ensimmäisestä sävelestä on kulunut aikaa. Tästä näkökulmasta tempon pysyvyys voidaan mitata niin, että katsotaan, mihin kohtaan metronomin syklistä periodia (joka voidaan ekstrapoloida myös metronomin pysäyttämisen jälkeiseen aikaan) taputtajan iskut osuvat. Näin saadaan joukko vaihe-erokulmia, joista voidaan suuntadatan analyysiin kehitetyillä kulmatilastollisilla menetelmillä (circular statistics (Fisher, 1993)) laskea vaihe-erojen jakauman tiiviyys, joka on luku nollan ja yhden väliltä. Täysin tasainen metronomimainen taputtaja saisi tuloksen 1, epätarkempi taputtaja pienempiä arvoja. Vastaavasti voidaan tarkastella taputtajien välistä tahdistumista laskemalla yhden taputtajan vaihe-erot suhteessa toisen taputtajan periodiin ja sitten laskemalla tämä jakauman tiivistyneisyysindeksi. Tässä tarkastelussa korkeita arvoja (~1) saavat parit, joiden vaihe-ero pysyy taputuksesta toiseen samana. Tämän vaihe-eron ei siis tarvitse olla välttämättä 0, eli taputus voi olla jaksonajaltaan synkronoitunutta (period synchrony) myös niin, että taputtajat ovat esimerkiksi vastavaiheessa (180 asteen vaihe-ero, l. synkopaatio, anti-phase synchrony).

Tempon pysyvyyttä ja synkronisaatiotarkkuutta kuvaavien indeksien lisäksi täysin vastaavalla tavalla voidaan laskea myös indeksi taputuksen pysyvyydelle, eli peräkkäisten iskuvälien pysyvyydelle. Tällöin viiteperiodina vain käytetään taputtajan omaa, kulloinkin tarkasteltavaa iskua edeltävää periodia.



Kuva 2. Iskuaikojen muuntaminen vaihekulmiksi ja synkronisaatioindeksin laskeminen (tässä tapauksessa metronomin ja koehenkilön välille).

Kulmatilastollisen tarkastelun etuna lineaariseen tarkasteluun on parempi häiriönsieto (yksittäiset puuttuvat sävelet eivät häiritse laskentaa), parempi laajennettavuus isokronisesta taputuksesta musiikillisten rytmien tutkimukseen ja metrin eri tasojen tarkasteluun, sekä käsitteellinen ja metodologinen yhteys dynaamisten järjestelmien teorioihin, jotka kattavat lineaarista virheenkorjausteoriaa paremmin synkronisaatioilmiöiden koko kentän.

4. Synkronisaatiosta vuorovaikutukseen

Tutkimuksesta valtaosa on keskittynyt yksittäisten koehenkilöiden tutkimiseen. Tavoitteena on kuitenkin ollut sen ymmärtäminen, miten vaikkapa orkesterin soittajat pysyvät samassa tahdissa, tai voimme tanssia heidän soittonsa tahtiin. Eikö tahdistumistakin siis pitäisi tutkia ihmisten välillä, kun kerran ihmistenvälisestä ilmiöstä on kyse?

Omassa väitöskirjaprojektissani halusin tarkastella musiikin kognitiota kulttuurienvälisesti, etenkin aiemmissa tutkimuksissa kiinnostavaksi osoittautuneita eroja rytmien ja metrin käsityksissä (Himberg, 2002; Toivainen & Eerola, 2003). Tuntemissani afrikkalaisissa kulttuureissa tärkeä musisoinnin sosiaalisuus oli tärkeää sisällyttää koeasetelmaan, joten päädyin rakentamaan kahden henkilön taputusasetelman.

Tämä osoittautui paitsi hankalaksi, myös uudeksi asiaksi. Asetelman laajentaminen kahden henkilön väliseksi tuo mukanaan valtavasti uusia muuttujia, ja vuorovaikutusta on erittäin vaikea kontrolloida. Jo tilanne,

jossa kaksi henkilöä taputtaa yhdessä saman metronomin tahdissa, osoittautui rikkaaksi vuorovaikutustilanteeksi, jossa koehenkilöt kokivat toisalta ristiriitaa siinä, pysyttäytyäkö tiukasti metronomin kanssa vai mennäkö mukaan toisen koehenkilön ekspressiiviseen taputustapaan, ja toisalta onnistumisen elämyksiä ja dramaattisten epäonnistumisten aiheuttamia spontaaneja naurunpyrskähdyksiä, joita ei metronomin tahtiin taputettaessa juuri esiinny.

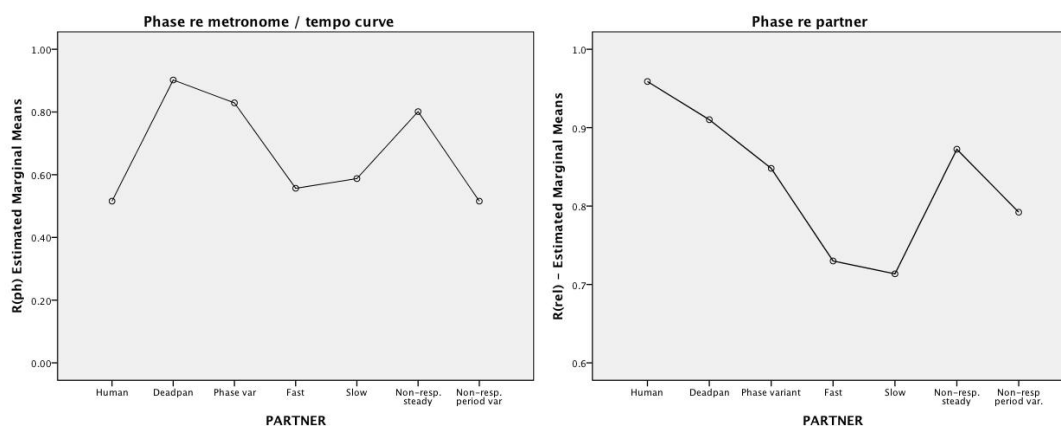
Kuten CERNin suuren hadronitörmäytymisen tapauksessa päästiin entistä korkeaa-energisemmissä törmäyksissä "uuteen fysiikkaan" (new physics), uusiin ilmiöihin, joita ei oltu aiemmilla laitteilla ja energiatasoilla havaittu, päästään myös taputustutkimuksia laajentamalla käsiksi uuteen psykologiaan. Lineaarinen standardimalli esimerkiksi synkronisaation osalta ei kahden tai useamman henkilön vuorovaikutustilanteessa päde, vaan näiden uusien ilmiöiden tutkimiseen tarvitaan sekä uusia teorioita että uusia mitaustapoja.

Tästä esimerkkinä tulos tekemästani kahden henkilön synkronisaatio-jatkotaputuskokeesta. MIDI-rummuilla taputtavat osallistujat eivät nähneet toisiaan, mutta kuulivat kyllä omansa ja toistensa taputuksen. Jippona oli, että osallistujat eivät joka kerta kuulleetkaan toisiaan, vaan parin taputuksen sijaan kuulokkeista saattoikin tulla ennalta nauhoitettua tietokonetaputusta. Olin tehnyt erilaisia tietokonetaputtajia: yksi oli sataprosenttisen tarkka metronominomainen taputtaja; toinen piti tempon täydellisesti, mutta sen taputuksessa oli "inhimillistä" pientä elä-

vyttä yksittäisten iskujen vaiheessa. Tämän lisäksi mukana oli tempoaan nopeuttava ja tempoaan hidastava taputtaja. Yhteistä tietokonetaputtajille oli, että ne eivät mitenkään reagoineet koehenkilön taputukseen, vaan niiden kanssa taputtaminen oli kuin soittaisi taustanauhan kanssa. Tarkoituksena oli katsoa, miten toisen ihmisen kanssa taputtaminen eroaa näiden tietokonetaputtajien kanssa toimimisesta.

Analyysissä tarkasteltiin luvussa 3. esitellyin mittarein yksittäisten koehenkilöiden taputuksen tasaisuutta sekä taputtajien välistä synkronisaatiota. Näistä tempon pysyvyys on yllätyksettömästi helpointa silloin, kun partnerina on tietokonetaputtaja, joka huolehtii täydellisesti alkuperäisessä tempossa pysymisestä (metronomimainen tai vain pieniä vaihevirheitä sisältävä versio) (kuva 3., vasen paneeli). Hieman yllättävästi musiikkia harrastavat koehenkilöt olivat yhdessä taputtaessaan heikompia temponpitäjiä kuin taputtaessaan tarkoituksella tempoa muuttavan tietokoneen kanssa.

Vaikka koehenkilöt eivät pitäneetkään alkuperäisestä temposta kovin tiukasti kiinni, niin sitäkin tarkemmin he pitivät kiinni toistensa taputuksesta. Yllättäen synkronisaatio on jopa tarkempaa kuin täydellisesti ennalta arvatun ja temponkin muuttumattomana pitävän metronomimaisen tietokonetaputtajan kanssa. Arvelin ennen koetta, että synkronisaatio metronomimaisen taputtajan kanssa olisi tarkinta ja että synkronisaatio toisen ihmisen ja "inhimillistety" tietokoneen välillä olisivat samanlaisia.



Kuva 3. Tempon pysyvyys (vas.) ja synkronisaatiotarkkuus (oik.) toisen ihmisen ja erilaisten tietokonepartnerien kanssa taputettaessa. Y-akselilla indeksi, joka voi saada arvoja 0 ja 1 välillä.

Hypoteesini oli, että kahden ihmisen välinen molemminpuolinen mukautuminen keikauttaisi vaa'an sen puolelle vaikka inhimillistetty tietokonetaputtaja pitääkin tempon tasaisena. Näin kävikin, mutta yllättävän selvästi.

Tuloksena tutkimuksessani oli, että vaikka ihmistenvälinen tahdistuminen johtikin heikompaan alkuperäisen tempon säilyttämiseen, oli koehenkilöiden välinen synkronisaatio "tiiviimpää" kuin synkronisaatio mukautumattoman tietokonetaputtajan kanssa. Johtopäätökseni arvelin, että kriittinen tekijä on juuri tuo mukautumisen molemminpuolisuus, yhteistoiminnallisuus.

5. Tahdistumisen anatomiaa

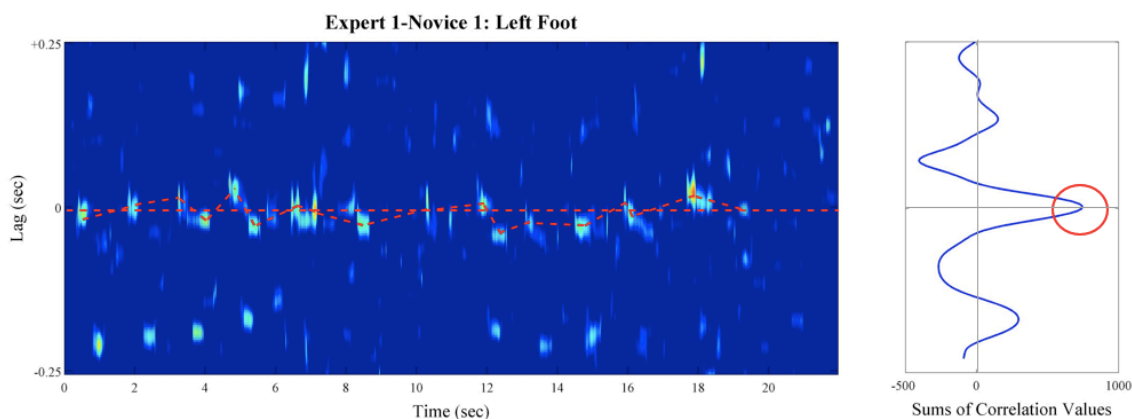
Uudet ilmiöt vaativat uusia mittaustapoja. Yksi paritaputustehtävien uusista ilmiöistä on, että mukautumiskykyisiä toimijoita onkin metronomiin mukautuvan koehenkilön sijasta nyt kaksi. Näin kiinnostavaksi kysymykseksi nouseekin, kumpi mukautuu ja muodostuuko parin kesken jonkinlainen roolijako (esim. selkeä johtaja ja seuraaja)? Toisin kuin yhden henkilön rytmitaputustutkimuksissa, näiden muuttujien tarkasteluun ei vielä ole vakiintuneita mittareita.

Yksi tapa visualisoida vuorovaikutusta taputtajien välillä on tarkastella taputtajien ajoitusta ikkunoidun ristikorrelaation (windowed cross-correlation) avulla. Ristikorrelaatioissa lasketaan aikasarjojen välisen yhteisvaihtelun määrä paitsi samanaikaisesti (taputtajan A ensimmäistä iskuväliä verrataan B:n ensimmäiseen iskuväliä, toista toiseen jne.) myös ajan suhteen siirret-

tyjen sarjojen välille (A:n ensimmäistä iskuväliä verrataan B:n toiseen, toista kolmanteen jne.), ja näin saadaan selville aikasarjojen yhteisvaihtelun viive. Esimerkiksi, jos yksi taputtajista (A) yhtäkkiä nopeuttaa tempoaan, ja toinen (B) seuraa tämän huomattuaan pari iskua perässä, näkyy tämä maksimina kahden iskun viiveellä lasketussa ristikorrelaatioissa.

Jotta tällaiset paikalliset muutokset saataisiin ristikorrelaatiolla näkyviin, se on tarkoituksenmukaista laskea "vähän kerrallaan", liikkuvassa ikkunassa, sillä pidemmän taputuskokeen iskuväliäkojen ristikorrelaatioissa tilastollisesti merkitseviksi nousevat molempiin suuntiin yhdellä iskuvälillä viivästetyt korrelaatiot. Tämä kertoo, että A on seurannut B:tä yhden iskun viiveellä ja päinvastoin, eli selkeää johtajaa ja seuraajaa ei yleensä ole, vaan synkronisaatio syntyy yhteistyöstä ja molemminpuolisesta mukautumisesta toisen taputukseen. Ikkunointi paljastaa, miten tämä ehkä aluksi hieman epäintuitiivinen tulos muodostuu.

Kuvassa 4 on esimerkki liiketutkimuksesta, jossa tarkasteltiin tanssiaskelten synkronisaatiota eteläafrikkalaisten eksperttien ja suomalaisten noviisien välillä. Kun taputusdatassa tallennetaan vain iskujen ajankohdat, voidaan jatkuvalla liikemittauksella tarkastella myös iskujen välistä aikaa ja saada taputus-tutkimuksia tarkempaa tietoa synkronisaation anatomiaasta. Kuvassa nähdään, kuinka synkronisaatio koko koetta tarkastellen on viiveetön (ristikorrelaation maksimi on nol-lan kohdalla), mutta ikkunointi paljastaa, kuinka tuo viiveetön synkronia on jatkuvan, molemminpuolisen mukautumisen tulosta.



Kuva 4. Synkronisaation muodostuminen molemminpuolisen mukautumisen seurauksena.

6. Päättö: molemminpuolisuus sosiaalisena viestintänä

Ihmistenvälisessä tahdistumisessa tiivis synkronisaatio siis saavutetaan molemminpuolisen mukautumisen tuloksena. Miten tärkeä tämä molemminpuolisuus sitten on, ja mitkä tekijät siihen vaikuttavat? Nämä ovat jatko-tutkimuksen kannalta keskeisiä kysymyksiä. Pilottitutkimusten valossa näyttäisi, että ihmiset ovat herkkiä tunnistamaan tämän molemminpuolisuuden, samoin kuin onnistuneella tahdistumisella on positiivisia emotionaalisia ja sosiaalisia vaikutuksia ja epäonnistuneella vastaavasti negatiivisia (Hove & Risen, 2009). Lisäksi molemminpuolisuus vaikuttaisi olevan yhteydessä yleisemminkin kommunikaatiokykyihin. Tästä kertovat alustavat tulokset autististen nuorten taputuskokeista, joissa ristikorrelaatio osoitti paritaputuksessa partnerina toimineen tutkijan olleen yksinomaan mukautuva osapuoli (Farrant, 2007).

Olen tässä lyhyessä artikkelissa kuvannut parin esimerkin avulla, miten klassisen rytmitaputuskokeen laajentaminen kahden henkilön välisen vuorovaikutuksen tutkimiseen avaa aivan uusia ilmiöitä ja siten vaikuttaa paitsi käytettäviin menetelmiin myös taustalla oleviin teorioihin. Tutkimukselle voi avautua myös musiikkiterapian kaltaisia uusia sovellusalueita.

Mitattavista asioista tässä käsiteltiin perinteisten mittareiden kulmatilastolliset muunnelmat sekä mukautumisen suunnan visualisointi ristikorrelaatiota käyttäen. Käsitellen muita tahdistumisen ja vuorovaikutuksen mittaamiseen käytettäviä menetelmiä tarkemmin valmistumassa olevassa väitöskirjassani, samoin kuin yksityiskohtaisesti tutkimustulosten vaikutusta sekä ajoituksen teoreettiseen taustaan että sosiaalisen kognition teoriaa yleisemminkin.

References

Bispham, J. (2006). Rhythm in music: What is it? who has it? and why? *Music Perception*, 24(2), 125–134.

Farrant, C. (2007). *Co-operative tapping and autism*. Unpublished course paper, Faculty of Music, University of Cambridge.

Fisher, N. (1993). *Statistical Analysis of Circular Data*. Cambridge University Press, Cambridge.

Haken, H., Kelso, J., and Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological cybernetics*, 51(5), 347–356.

Himberg, T. (2002). *Perception of Melodic Complexity - A Cross-cultural Investigation*. Master's thesis, University of Jyväskylä, Jyväskylä.

Hove, M. J. and Risen, J. L. (2009). It's all in the timing: Interpersonal synchrony increases affiliation. *Social Cognition*, 27(6), 949–960.

Mates, J. (1994). A model of synchronization of motor acts to a stimulus sequence i. *Biological cybernetics*, 70, 463–473.

Repp, B. H. (2002). Automaticity and voluntary control of phase correction following event onset shifts in sensorimotor synchronization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(2), 410–430.

Repp, B. H. (2005). Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(6), 969–992.

Repp, B. (2005b). Rate limits of on-beat and off-beat tapping with simple auditory rhythms: 2. the roles of different kinds of accent. *Music Perception*, 23(2), 165–187.

Repp, B. H. and Penel, A. (2004). Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms. *Psychological Research*, 68(4), 252–270.

Repp, B. H. and Keller, P. E. (2008). Sensorimotor synchronization with adaptively timed sequences. *Human Movement Science*, 27(3), 423–456.

Schulze, H.-H. and Vorberg, D. (2002). Linear phase correction models for synchronization: Parameter identification and estimation of parameters. *Brain and Cognition*, 48(1), 80–97.

Stevens, L. T. (1886). On the time-sense. *Mind*, 11, 393–404.

Toiviainen, P. and Eerola, T. (2003). Where is the beat?: Comparison of Finnish and South African listeners. In Kopiez, R., Lehmann, A. C., Wolther, I., and Wolf, C., eds. *5th Triennial ESCOM Conference*, p. 501–504.

Vorberg, D. (2005). Synchronization in duet performance. In 10th Rhythm Perception and Production Workshop, Bilzen, Belgium.

Wing, A. and Kristofferson, A. (1973). Response delays and the timing of discrete motor responses. *Perception & Psychophysics*, 14, 5–12.

