

MATALIEN TAAJUUKSIEN FYSIOLOGISET JA PSYKOLOGISET VAIKUTUKSET IHMISEEN

Emma-Karoliina Hytönen
Kandidaatintutkielma
Musiikkitiede
18.5.2012
Jyväskylän yliopisto

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Tiedekunta – Faculty Humanistinen tiedekunta	Laitos – Department Musiikin laitos
Tekijä – Author Emma-Karoliina Hytönen	
Työn nimi – Title Matalien taajuuksien fysiologiset ja psykologiset vaikutukset ihmiseen	
Oppiaine – Subject Musiikkitiede	Työn laji – Level Kandidaatintutkielma
Aika – Month and year Toukokuu 2012	Sivumäärä – Number of pages 23
<p>Tiivistelmä – Abstract</p> <p>Tutkimus on luonteeltaan kirjallisuuskatsaus, joka paneutuu tarkastelemaan matalia taajuuksia ja sen vaikutuksia. Vaikutusten tarkastelu on jaettu fysiologisiin ja psykologisiin vaikutuksiin.</p> <p>Ihmisen kehon ominaistaajuudet ovat matalia taajuuksia eli pääosin alle 113 Hz. Matalat taajuudet resonoivat ihmisen kehon ja elinten ominaistaajuuksien kanssa, jonka vuoksi niillä on vaikutusta ihmiseen. Matalia taajuuksia hyödynnetään ihmisten hoitamisessa, josta esimerkkinä on fysioakustinen terapia. Matalia taajuuksia voidaan käyttää myös ääniaseissa, jolloin niiden tarkoituksena on häiritä ihmistä. Matalia taajuuksia esiintyy myös jatkuvasti arkielämässä erilaisen melun muodossa.</p> <p>Tutkielman perusteella voi sanoa, että vaikka matalilla taajuuksilla on vaikutusta ihmisen fysiikaaliseen puoleen, parhaimmat tulokset saadaan kuitenkin kun ihminen otetaan huomioon kokonaisuutena, jolla on myös psykologinen puoli.</p>	
Asiasanat – Keywords Matalat taajuudet, fysioakustinen, musiikkiterapia, vibroakustinen	
Säilytyspaikka – Depository JYX	
Muita tietoja – Additional information	

Sisällys

1 JOHDANTO	4
2 AKUSTIIKAN PERUSTEET	6
2.1 ÄÄNEN PERUSOMINAISUUDET	6
2.2 TAAJUUDET	7
2.3 PSYKOAKUSTIIKKA	8
3 MATALIEN TAAJUUKSIEN VAIKUTUKSET	9
3.1 FYSIOAKUSTINEN TERAPIA	11
3.2 FYSIOLOGISET VAIKUTUKSET	12
3.3 PSYKOLOGISET VAIKUTUKSET	15
4 POHDINTA	18
LÄHTEET	21

1 Johdanto

Tutkimukseni tavoitteena on ymmärtää matalien taajuuksien aiheuttamia vaikutuksia ihmisessä. Tämän työn on tarkoitus olla kirjallisuuskatsaus, joka esittelee aiheen aikaisempaa tutkimusta ja sen käsitteistöä. Matalia taajuuksia käytetään ihmisen hoitamiseen musiikkiterapiassa sekä fysioterapiassa, mutta ihminen altistuu matalille taajuuksille joka päivä musiikin ja esimerkiksi liikenteen kautta. Tunnetuin matalia taajuuksia hyödyntävä sovellus on fysioakustinen tuoli, joka lähettää ihmisen kehoon matalia taajuuksia, joiden avulla pyritään hoitamaan mm. stressiä, lihasjäykkyyttä sekä riippuvuuksia. Matalien taajuuksien rentouttavia vaikutuksia hyödynnetään myös konserttielämyksien markkinoinnissa. Yksi hyvä suomalainen esimerkki tästä on Deep Relaxing Sounds –konsertit, joissa matalia taajuuksia tuottavalla kontrabassolla soitetaan klassista musiikkia, yleisön nauttiessa makuullaan matalien taajuuksien rentouttavasta voimasta. Lähivuosina lehtien otsikoista on voinut myös lukea ääniaseista, joilla voidaan hajottaa esimerkiksi mellakoita. Ääniaseissa käytetään suuria desibelejä yhdistettynä erilaisiin taajuuksiin, kuten juuri mataliin taajuuksiin. Matalien taajuuksien vaikutusten tunteminen oman ja muiden ihmisten hyvinvoinnin kannalta on siis tärkeää.

Tutkimusta aiheesta on tehty paljon, mutta se on edelleen hieman hajanaista ja joiltain osin hieman myös ristiriitaista. Enimmäkseen tutkimusta on tehty matalien taajuuksien hyödyistä musiikkiterapian ja fysioterapian piirissä. Lisäksi tutkimusta on tehty myös fysiikan puolella. Joidenkin tulosten kohdalla on tutkimuksissa saatu hieman ristiriitaisia tuloksia esimerkiksi matalien taajuuksien vaikutuksista verenpaineeseen. Voisi myös ajatella, että jos matalat taajuudet vaikuttavat hallituissa olosuhteissa positiivisesti ihmiseen, niin samat taajuudet voivat ehkä aiheuttaa negatiivisia muutoksia melun muodossa.

Ensimmäinen tavoitteeni on löytää syitä miksi matalat taajuudet vaikuttavat ihmiseen, toisekseen miten mikäkin taajuus todellisuudessa vaikuttaa. Kolmanneksi haluan selvittää matalien taajuuksien aiheuttamia ongelmia esimerkiksi melun muodossa.

Mataliksi taajuuksiksi määrittelen tässä työssä äänet, jotka ovat alle 113 Hz. Kyseiseen ylärajaan päädyin, koska suurin osa käsittelemistäni tutkimuksista on pitänyt ylärajana 113

Hz. Sama taajuus on korkein myös fysioakustisessa terapiassa. Ihmisen kuuloalue on keskimäärin 16 Hz – 20 kHz. Alin taajuus on subkontraoktaavin C eli C2. Kuuloalueen alapuolisia taajuuksia kutsutaan infraääniksi ja näitä ääniä voi vain aistia keholla. (Joutsenvirta 2005.)

Matalataajuisia ääniä on esimerkiksi musiikissa sekä nykypäivänä koneiden ja liikenteen aiheuttamana elinympäristössämme. Lehikoisen (1997) mukaan musiikki ja äänivärähtely ovat jokapäiväinen ilmiö nykyihmisen elämässä ja joissain tapauksissa äänistä on tullut neurofysiologinen rasite. Ihmiselle paras akustinen elinympäristö olisi täysin luonnonmukainen hiljaisuus. (Lehikoinen 1997, 38.) Luonnossa matalia taajuuksia tavataan harvoin ja niitä aiheuttaa lähinnä luonnonilmiöt kuten ukkonen, maanjäristys ja maanvyöryt (Äänipää, 2005). Millaisia vaikutuksia näillä tuhoa ennustavilla matalilla äänillä ihmiseen on ja miten ne ilmenevät?

2 Akustiikan perusteet

Akustiikka eli äänioppi on enimmäkseen yksi fysiikan osa-alue, joka tutkii esimerkiksi ilmassa etenevän värähtelyn aiheuttamia ääniä. Musiikkipiireissä se on kuitenkin tärkeä tutkimusalue musiikkiakustiikan kautta. Musiikkiakustiikka keskittyy musiikkiin liittyviin ääniin ja sen tutkimuskohteita ovat soittimet, lauluääni, viritysjärjestelmät, psykoakustiikka, saliakustiikka sekä äänentoisto ja äänen vahvistaminen. (Välimäki 2003, 241.) Jotta voimme ymmärtää miten ääni voi vaikuttaa ihmiseen, tulee ensin tietää mitä ääni on.

2.1 Äänen perusominaisuudet

Äänen kuulemista ja tajuamista varten ihminen tarvitsee korvaa. Korva tajuaa äänenä mekaanista värähtelyä, jonka värähtelytiheys on kuuloalueella. Korvan kuulomekanismi tarvitsee aina jonkin väliaineen värähtelylle, koska ääni ei etene tyhjiössä. (Lindeman 1980, 21.)

Äänen eteneminen ilmassa perustuu ilman molekyylien liikkeeseen. Ilma on rakentunut erilaisista molekyyleistä, kuten hapesta, typestä, hiilidioksidista, hiilimonoksidista sekä monesta muusta. Molekyylien välillä ei ilmassa ole mitään, jonka vuoksi molekyylit voivat painautua toisiaan vasten tai tiivistyä pienempään tilaan. Toisaalta molekyylit voivat ilman elastisuuden vuoksi myös hajota kappaleiksi tiivistetystä muodostaan. (Hosken 2011, 7.) Värähtelevä kappale saa lähellään olevat molekyylit liikkumaan ilmassa edestakaisin eli ns. värähtelemään omassa tahdissaan. Ilmamassa pysyy kuitenkin paikallaan, vaikka hiukkaset värähtelevät. (Lindeman 1980, 21.) Ääniaalto syntyy siis siitä, kun molekyylit painautuvat yhteen, erkanevat ja taas painautuvat yhteen toistuvana kaavana. Tämä kaava tiivistymisistä ja ohenemisista mahdollistaa siis äänen etenemisen ilmassa. (Hosken 2011, 7.)

Äänenvoimakkuus on riippuvainen ilman vuorottelevien tiivistymisien ja ohentumien eli ylä- ja alapaineiden välisistä paine-eroista. Lyhytaikainen ääni kuullaan kun yli- ja alipaine tasaantuvat nopeasti. Äänenkorkeuden voi aistia vasta kun äänen kesto on vähintään 50 ms. (Lindeman 1980, 22.)

2.2 Taajuudet

Taajuus eli frekvenssi (f) kertoo värähdyksien lukumäärästä sekunnissa. Taajuuden mittayksikkö on hertsi (Hz). Kun sekunnissa tapahtuu 1 värähdys on taajuus $f=1$ Hz. Aallonpituus kuvaa kahden peräkkäisen aallon huippujen keskinäistä etäisyyttä ja se on riippuvainen aallon etenemisnopeudesta ja taajuudesta f . (Lindeman 1980, 22.) Kun aallonpituus pienenee, taajuus suurenee ja päinvastoin. Jos ajattelee kitaran kieltä äänenlähteenä, niin mitä kauemmin kielellä kestää liikkua edestakaisin, sitä hitaammin kieli liikkuu ja sitä matalampi on taajuus. Keskimäärin ihminen kuulee 20-20 000 Hz, jonka vuoksi värähtely, jonka aiheuttamat aallot osuvat kyseisten taajuuksien välille ovat todellisia ääniaaltoja. Ihmisen kuuloalueen yläpuolella olevia ääniä kutsutaan ultraääniksi ja niitä voi kuulla esimerkiksi koirat. Infraääniksi puolestaan kutsutaan ihmisen kuuloalueen alapuolella olevia taajuuksia. Näitä taajuuksia ihminen ei kuule, mutta voi tuntea ja tätä kautta havaita niiden olemassaolon. (Hosken 2011, 20-21.) Tieto siitä, että ihminen voi tuntea erityisesti juuri matalia taajuuksia on tärkeä tieto aiheen kannalta. Matalat taajuudet voivat siis vaikuttaa ihmiseen myös tuntoaistin kautta.

Siniääni on musikaalisen äänen yksinkertaisin muoto. Se sisältää vain yhden taajuuden ja muistuttaa kuultuna vihellystä. Sävelet koostuvat yleensä samaan aikaan soivista siniäänistä, joita kutsutaan ylä-ääneksiksi sekä osa-ääneksiksi. Sävel puolestaan voi olla harmoninen tai epäharmoninen sen mukaan miten siniäänten taajuudet suhtautuvat toisiinsa. Harmonisessa äänessä on perustaajuus, joka on matalin siniääni. Harmonisen äänen ylä-äänesten taajuudet ovat matalimman siniäänen kokonaislukukerrannaisia. (Välimäki 2003, 243.) Matalien taajuuksien vaikutuksia tutkittaessa on hyötyä siitä, että siniäänen avulla voidaan luoda vain yhden taajuuden ääni, jolloin muiden taajuuksien vaikutus voidaan eliminoida.

Ominaistaajuudeksi kutsutaan värähtelytaajuutta, jolla jokin kiinteä kappale tai systeemi värähtelee herkemmin kuin muilla taajuuksilla. Useat kiinteät kappaleet ja rakenteet ovat herkkiä ulkopuoliselle värähtelylle, ja joillakin kappaleilla on useampia ominaistaajuuksia. (Lindeman 1980, 33-34.)

Resonanssi-ilmiö liittyy olennaisesti ominaistaajuuteen. Tällä ilmiöllä tarkoitetaan myötävärähtelyä. (Lindeman 1980, 34.) Kun kahdella esineellä on sama ominaistaajuus,

kohteiden sanotaan myötävärähtelevän eli resonoivan. Tätä ilmiötä on helppo selventää kielisoittimella (esim. kitaralla) ja jollain voimakasäänisellä instrumentilla (esim. trumpetti). Kun trumpetti ja kitara ovat lähekkäin ja trumpetilla soitetaan sävel, joka löytyy myös kitarasta, alkaa kitaran kieli värähtelemään ja tuottaa pehmeän äänen samasta sävelestä kuin trumpetti. Resonanssissa värähtelyenergiaa siirtyy toisesta kappaleesta toiseen. (Butler 1992, 29.) Resonanssi-ilmiötä käytetään hyväksi äänivärähtelyjen vahvistamisessa ja tämän vuoksi jousi- ja kielisoittimien kaikupohjan vaikutus perustuu pääasiassa resonanssiin. (Lindeman 1980, 34.) Ihmisen lihaksilla ja soluilla on myös omat ominaistajuudet, jolloin resonanssi-ilmiön voidaan olettaa tapahtuvan myös ihmisessä. Ihmisen pehmytkudoksen värähtelytaajuus on 7-8 Hz, joka on samalla ehkä vaarallisin taajuusvärähtely alue ihmisen kannalta (Sargeant 2011).

2.3 Psykoakustiikka

Psykoakustiikka on tieteenala, joka tutkii kuinka ihminen havaitsee ääntä. Ala on tärkeä musiikkiakustiikan ja musiikintutkimuksen kannalta. Psykoakustiikka pyrkii selvittämään subjektiivisten havaintojen ja fysikaalisten suureiden välisen suhteen. Yksi psykoakustiikan tuottama tieto on, että äänen voimakkuusaistimus riippuu taajuudesta. Äänenpainetaso ei siis yksinään määritä sitä, kuinka voimakkaalle ääni kuulostaa. Kuulon herkkyys on parhaimmillaan keskitaajuuksilla eli 3 ja 4 kHz taajuuksilla. Herkkyys pienenee siitä kohti pieniä ja suuria taajuuksia. Esimerkiksi jos äänenpainetaso on 60 dB ja taajuus on 4 kHz ja halutaan tuottaa yhtä voimakas ääni 40 Hz taajuudella, sen äänenpainetason tulee olla 80 dB. (Välimäki 2003, 245). Psykoakustiikkaan kuuluu myös paljon tietoa korvan toiminnasta ja siitä kuinka ihminen kuulee äänet, mutta tässä työssä käsiteltävän aiheen kannalta korvan toiminnan ymmärtämisellä ei ole niin suurta merkitystä, että paneutuisin aiheeseen tässä.

3 Matalien taajuuksien vaikutukset

Matalien taajuuksien vaikutuksia tutkittaessa niiden aiheuttama värähtely on keskiössä. Lehikoisen (1997) mukaan eri taajuuksien aiheuttama värähtely on fysikaalinen ilmiö, jossa jokin esine, kuten soittimen kieli pannaan värähtelemään. Se aiheuttaa ilmamolekyyleissä kolmiulotteisen heiluriliikkeen, joka muistuttaa aaltoliikettä. Kun tämä aaltoliike tavoittaa vastaanottajan korvan, aiheuttaa liike tärykalvon värähtelyn. Sisäkorvassa värähtely muuttuu sähkökemiallisiksi impulsseiksi, jotka välittyvät hermoratoja pitkin aivoihin, jossa impulssit aiheuttavat ilmiön nimeltä kuuleminen. (Lehikoinen 1997, 27-28.) Värähtelystä syntyvä ääniaalto osuu levitessään myös muualle ihmisen kehossa, kuin vain korviin. Koska ihmisen kehosta yli 70 % on vettä ja vedessä ääni kulkee viisi kertaa tehokkaammin kuin ilmassa, äänen taajuudet vaikuttavat koko kehoon (Thompson 2007). Lehikoinen erittelee kolme erilaista värähtelyilmiötä, jonka musiikki aiheuttaa ihmisen ollessa aktiivisena osapuolena. Nämä ilmiöt ovat ”musiikki värähtelynä sinänsä, musiikin ihmisessä aiheuttama resonanssivärähtely sekä ihmisessä itsessään esiintyvät biologiset ja psykologiset värähtelyt”. Ihmisen kudoksilla ja lihaksilla on omat ominaistajuutensa, jotka reagoivat herkästi kun kehoon kohdistetaan tarkasti samoja taajuuksia. Kehon kudokset alkavat siis värähtelemään lähetetyn äänistimulaation mukaan, jonka seurauksena verenkierto ja aineenvaihduntaprosessit tehostuvat. (Lehikoinen 1997, 28.) Lisäksi lihakset voivat rentoutua ja kehonosat lämmetä (Punkanen 2004, 73). Tällainen resonointi tapahtuu siis silloin, kun kahdella esineellä on luonnostaan sama värähtelytaajuus. Resonoinnin aikana kohteet siirtävät värähtelyssä energiaa toisilleen. (Butler 1992, 29.)

Kaikki akustinen värähtely vaikuttaa ihmiseen. Lehikoisen (1996) mukaan erityisesti harmonisesti soivassa musiikissa esiintyy runsaasti koherenttia värähtelyä eli värähtelysystemiin sisältyy samassa vaiheessa olevaa värähtelyä. Nykymusiikissa sointikuva on lähempänä satunnaisvärähtelyn akustista rakennetta. Aivotoiminnan kannalta koherenssi on olennainen ilmiö. Esimerkiksi häiriötilanteissa aivoihin voi syntyä sekasortoinen (inkoherentti) tilanne, joka vaikuttaa negatiivisesti ihmiseen. (Punkanen 2004, 72.)

Jotta matalien taajuuksien vaikutuksia ihmisessä voidaan arvioida, tulisi ensimmäiseksi selvittää ihmiskehon värähtelytaajuudet. Thompson (2000) on selvittänyt aivojen taajuuksia, mikä auttaa tiedostamaan miten taajuudet ihmiseen vaikuttaa. Aivokuoren hermosoluissa

värähtelytaajuus on 0,5-30 Hz. Alle 3,5 Hz:n värähtelyä kutsutaan Delta-taajuudeksi, 3,5-7 Hz sanotaan Thetataajuudeksi, 7-13 Hz on Alfataajuus ja 13-30 Hz:n väliä kutsutaan Beta-taajuudeksi. Betataajus vatsaa ihmisen normaalia valveilla ja tietoisena olemisen tilaa. Ihmisen kääntäessä ajattelunsa sisäänpäin esimerkiksi mietiskellessään silmät kiinni, aivojen toiminta hidastuu ja värähtely tippuu Alfataajuudelle. Thetataajuus vastaa unien näkemisen tilaa. Deltataajuus saavutetaan vasta syvässä unessa. Aivotoiminnan hidastumisen seurauksena ihminen rentoutuu, verenpaine laskee ja sydämen syke ja hengitys hidastuu. (Thompson 2000.)

Taajuuksien 20-50 Hz on todettu estävän lihasten impulssit, joka aiheuttaa lihasten rentoutumista (Wigram 2005). Koko kehoon vaikuttaviksi taajuuksiksi sanotaan taajuuksia 40-80 Hz:n välillä. Kipukohtauksia ja kouristuksia pitäisi vähentää taajuudet 40-60 Hz ja Hertzeillä 40-60 välillä on todettu olevan positiivinen vaikutus vatsakipuihin. (Skille&Wigram 1995.) Lehkoinen lanseerasi taajuudelle 40 Hz nimeksi talamustaajuus, koska talamuksen alueen hermosolujen värähtely havaittiin olevan 40 Hz. Talamuksella on yhteyksiä lähes joka puolelle aivoja, mutta tärkein tehtävä sillä on valikoivan tarkkaavaisuuden säätely. (Paju 2003, 152-153.)

Melu, jota aiheuttaa esimerkiksi liikenne, teollisuus, asuin-ympäristö, sekä vapaa-aika sisältää kohtuullisen paljon matalia taajuuksia, jotka ovat tässä tapauksessa 20-200 Hz. Tällaiset äänenlaadut ovat yleensä hankalia ja epänormaaleja, jonka vuoksi äänen häiritsevyys voi alkaa heti äänen kuuluessa. Lisäksi julkisivurakenteissa ei ole otettu kovinkaan usein huomioon alle 100 Hz taajuuksia, jonka vuoksi ilmaääneneristävyyden on epävarmaa. Pahimmillaan matalille taajuuksille voi yliherkistyä, jolloin ääniä voi kuulla, vaikka niitä ei todellisuudessa olisikaan. (Ääniteknologian perusteet 2007, 30-31.) Silti Työterveyslaitoksen mukaan tieliikennemelun aiheuttamia ääniä alle 50 Hz taajuuksilla ei tarvitse ottaa huomioon julkisivujen äänieristyksissä, koska äänenpaine jää alle säädettyjen raja-arvojen (Työterveyslaitos 2011, 32;39). Edellisessä selvityksessä huomioitiin vain matalien taajuuksien aiheuttamaa äänenvoimakkuutta, mutta ei sitä, mitä taajuudet aiheuttavat ajan myötä ihmiselle. Voiko matalia taajuuksia sisältävä melu aiheuttaa vaurioita tai epätasapainoa ihmisen kehossa äänten resonoidessa hallitsemattomasti?

3.1 Fysioakustinen terapia

Fysioakustinen terapia (FA) pohjautuu matalataajuiseen äänivärähtelyyn. Musiikkiterapeuteille varsinkin Suomessa hoitomenetelmä on varsin tuttu, koska se on kehitetty Suomessa lähinnä Petri Lehikoisen toimesta. Muualla maailmassa löytyy myös erilaisia sovellutuksia matalataajuisesta äänivärähtelyhoidosta, mutta käsittelen tässä työssäni lähinnä vain FA-menetelmää. Haluan kuitenkin lyhyesti nostaa esiin muutkin matalataajuisen äänivärähtelyhoidon menetelmät, jotta aiheesta saadaan tarpeeksi laaja käsitys.

Vibroakustisen terapian kehittäjänä on toiminut norjalainen Olav Skille. Vibroakustinen terapia perustuu musiikin ja matalataajuisen siniäänen yhdistämiseen. Skille määritteli vuonna 1982 matalataajuisen äänen olevan 30-120 Hz. Ensimmäiset vibroakustiset laitteet ilmestyivät 1988-89, mutta jo ennen tätä Skille teki omia kokeilujaan ja testailujaan papyruskaiuttimiin kiinnitetyillä kaiuttimilla. Ensimmäiset viralliset laitteet käyttivät stereokasettinauhvoja, joissa oli rentouttavaa musiikkia yhdistetty yksittäisiin matalataajuisiin, rytmisesti sykkiviin siniääniin. Äänistimulus välitetään kehoon kuuden tuolissa olevan kaiuttimen kautta. Lisäksi ohjausyksikön kautta voidaan säätää mm. stimuluksen voimakkuutta eri kehonosissa. (Hooper 2002, 4-5.)

Somatron on kehittynyt yhdysvaltalaisen Byron Eakin kokeiluista, jotka hän aloitti vuonna 1985. Eak halusi kokeilla miten suoraan kehoon soitettu musiikki vaikuttaa rentouttavasti. Somatronin tuote on Clinical Recliner, jossa on neljä kaiutinta, joiden kautta kehoon soitetaan erikoisvalmisteista musiikkia eli ns. vibroakustista musiikkia. Siniääniä tämä laite ei pysty tuottamaan. (Hooper 2002, 6-7.)

Music Vibration Table (MVT) on Somatronin sukulainen. MVT:n on kehittänyt yhdysvaltalainen Kris Chesky. MVT:ssä on värähtelykalvo, joka on kiinnitetty hoitopöytään ja tämän kalvon kautta kehoon ohjataan musiikin aiheuttamaa värähtelyä. Laite tuottaa ääntä 60-300 Hz väliltä. Lisäksi laitteessa on tietokoneohjattu palautejärjestelmä, joka mittaa ja kontrolloi värähtelyn vaikutuksia hoidettavan kehossa. (Hooper 2002, 7-8.)

Fysioakustinen menetelmä perustuu ajatukseen, että musiikki ei ole vain sitä mitä kuulemme, vaan sen voi myös aistia värähtelyn kautta. Menetelmä pohjautuu matalataajuisten siniäänen käyttöön ja resonanssi-ilmiöön. Taajuudet vaihtelevat menetelmässä 27-113 Hz välillä.

Ensimmäiset kokemukset fysioakustisesta terapiasta on 1970-luvulta. Tuolloin Helsingin Kuulonhuoltoliitossa kokeiltiin soittaa vahvasti bassovoittoista musiikkia niin, että potilas istui kaiuttimen päällä tai nojasi pianoon. Tärkein huomio tuolloin oli, että musiikin voi myös tuntea eikä kuuleminen ole ainut mahdollisuus hyödyntää musiikkia. Nykymuotoisessa fysioakustisessa terapiassa käytetään erityistä tuolia, johon on upotettu kaiuttimia. Tuolin kaiuttimien kautta ohjataan kehoon siniääninä taajuuksia 27-113 Hz:n väliltä. Tietokoneella voidaan säätää taajuudet tarkoituksen mukaisiksi ja lisäksi vaikuttaa voimakkuusvaihteluun, taajuusvaihteluun sekä kiertovaihteluun. (Lehikoinen 1998, 28-30.) Pelkkien siniäänien lisäksi voidaan hoitoa tehostaa musiikilla, jota asiakas voi kuunnella kuulokkeilla tai harvinaisemmissa tapauksissa tilaan sijoitetuilla kaiuttimilla. Musiikki on lähinnä viihtyvyyttä lisäävää ja potilas saa itse olla mukana valitsemassa musiikkia, jota haluaa kuunnella. (Ala-Ruona 2003, 184.) Joskus terapeutti saattaa käyttää esimerkiksi 24 minuutin pituisia CD-levyjä, joka sisältää matalataajuisia musiikkia 56,7 Hz:n taajuudelta, jota suositellaan stressin vähentämiseen (Rüütel, Ratnik, Tamm & Zilensk 2005, 35). Fysioakustisella terapialla on myös sivuvaikutuksia, jotka kylläkin ovat hyvin harvinaisia. Liian voimakkaalla värähtelyllä aloitetussa hoidossa voi esiintyä huimausta sekä lievää pahoinvointia. (Ala-Ruona 2003, 184.)

3.2 Fysiologiset vaikutukset

Fysioakustisen hoidon ja sitä kautta matalien taajuuksien fysiologisia vaikutuksia on tutkittu jonkin verran. Matalataajuiseen äänivärähtelyyn perustuvia hoitomenetelmiä käytetään hyvinkin erilaisten oireiden ja sairauksien hoitoon. Menetelmien käyttö perustuu usein kliiniseen kokemukseen ja sitä kautta saatuihin positiivisiin hoitovasteisiin. Toisin sanoen selkeää näyttöä monien sairauksien osalta on vähäisesti. Tutkimusta on kuitenkin tehty mm. lihasspastisiteetin ja liikkuvuuden hoidosta, kivunlievityksestä, psyykkisissä häiriöissä, riippuvuusongelmista, stressin ja ahdistuksen hoidosta sekä keuhko- ja sydänsairauksista. (Punkanen 2004, 78.)

Wigram (1990) on tutkinut matalien taajuuksien vaikutusten paikallistamista. Toisin sanoen hän on tutkinut sitä, missä mikäkin taajuus ihmisessä eniten vaikuttaa. Tutkimuksen mukaan 40 Hz vaikutti parhaiten pohkeisiin ja reisiin. 50 Hz tuntui tutkittavien mielestä parhaiten reisissä, lantiossa sekä ristiselässä. 60 Hz puolestaan vaikutti lantion ja ristiselän sekä rintakehän alueella. 70 Hz tuntui kehon yläosissa ja 30 Hz pohkeissa ja reisissä. 20 Hz vaikutti laaja-alaisesti pohkeiden ja lanteen väliselle alueelle. Alle 23 Hz erittäin matalat taajuudet huomattiin tutkimuksessa hieman epämiellyttäväiksi ja ne saattoivat aiheuttaa pahoinvointia. (Skille & Wigram 1995, 54-55.)

Sibelius Akatemiassa suoritetussa tutkimuksessa tutkittiin fysioakustisen hoidon vaikutuksia ihmisiin. Tutkimukseen osallistui 38 opettajaa ja konttorityöntekijää, joista 26 oli tutkimuksen loppuun asti mukana. Mittaukset tutkimusta varten tehtiin tutkimuksen alussa, puolivälissä ja lopussa. Hoitokertoja oli 15, joista jokainen kerta kesti 30 minuuttia. Mittaukset suoritettiin hoitokertojen alussa ja lopussa. Tutkimuksessa selvisi esimerkiksi, että FA-menetelmä vaikuttaa positiivisesti systoliseen ja diastoliseen verenpaineeseen, eli veren ala- ja yläpaineeseen. Keskimäärin yläpaine laski hoidon aikana 131 Hgmm:stä 125 Hgmm ja alapaine 94:stä 82 Hgmm. Hoidon vaikutus tutkittavien pulssiin oli merkityksetön, vaikka pulssi laskikin itse hoitokertojen aikana, mutta pysyvää muutosta leposykkeeseen ei hoidoilla saatu. (Lehikoinen 1998, 42-46.) Wigramin (1996) tutkimuksessa ei kuitenkaan löydetty merkittäviä muutoksia verenpaineeseen tai pulssiin vibroakustista menetelmää käytettäessä ja verratessa verrokki ryhmiin (Wigram 1996, 205-206). Hairo (1995) huomasi verenpaineen laskevan fysioakustisella hoidolla. Keskimäärin systolinen paine laski 13 mmHg:ä ja diastolinen paine 9 mm Hg:ä. (Ryynänen 2004, 23.)

Rothsten (2003) tutki Pro gradu -tutkielmassaan vaikuttaako FA-hoito palautumisnopeuteen lihassoluvaurioita aiheuttavasta hermolihaväsytyksestä. Tutkimuksen mukaan hoidolla saattaa olla hyvin lieviä positiivisia vaikutuksia palautumiseen. Jos tutkimuksessa saadut viitteet pitävät paikkansa, FA-hoidolla saattaa olla samankaltaisia vaikutuksia kuin esimerkiksi hieronnalla. Hieronta lisää verenvirtausta ja poistaa sillä tavoin rasituksen aiheuttamia kuona-aineita lihaksista, joka taas nopeuttaa palautumista. (Rothsten 2003, 62.)

Anneli Hietikko ja Piia Katajapuu-Riikonen (2007) tutkivat puolestaan Pro gradu -tutkielmassaan voiko fysioakustisella hoidolla vaikuttaa ikääntyvien henkilöiden

seisomatasapainoon ja maksimaaliseen isometriseen lihasvoimaan. Aiempien tutkimusten mukaan mekaanisen vibraation avulla on parannettu lihasvoimaa 5 %. Tutkimuksen mukaan FA-hoidon aiheuttama vibraatio ei lisännyt kuitenkaan lihasvoimaa eikä myöskään parantanut seisomatasapainoa. Tutkimuksessa huomattiin kuitenkin, että jalkojen kivut vähenivät ja jalat tuntuivat kevyemmiltä. Tämä saattoi johtua lymfanesteiden virtauksen ja verenkierron paranemisesta. (Hietikko&Katajapuu-Riikonen 2007, 31-34.) Samaa aineistoa on käyttänyt Pro gradu -tutkielmassaan myös Sanna Rinne (2009). Hän tutki FA-hoidon vaikutusta ikääntyvien liikkumiskykyyn, mutta hänkään ei löytänyt merkittäviä muutoksia aineistosta. (Rinne 2009, 30-34.)

Marit Hoem Kvam (1997) tutki vibroakustisen menetelmän vaikutusta CP-vammaisten hoidossa. Tutkimuksessa etsittiin tuloksia Nic Waalsin lihastestillä, sykemittauksilla ja piirustus-/kirjoitustesteillä. Tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan olleet merkityksellisiä, vaikka menetelmä koettiin miellyttäväksi ja yksittäisiä lyhytkestoisia parannuksia huomattiin. (Kvam 1997, 290-295.)

Spastisuuden eli jäykkähaltvauksen hoitamiseksi matalataajuudesta äänivärähtelystä voi olla hyötyä. Boakes (1990) huomasi, että värähtely taajuudella 20-50 Hz estää lihasimpulsseja, joka saa aikaan rentoutumista. Lisäksi taajuudet 50-100 Hz välillä saavat lihakset supistumaan ja vastavuoroisesti rentoutumaan, joka myös auttaa spastisuudesta kärsiviä. (Wigram 2005, 165.)

Hyvin matalataajuinen ja infraäänialueen melu voi aiheuttaa fysiologisia toimintavaurioita, vaikka sitä ei kuultaisi, silloin kun äänet esiintyvät voimakkaana värinä ja painemuutoksina. Tällöin vaikutukset eivät välity kuulon kautta, vaan resonanssin kautta. Äänitason noustessa ihmisen kudoksissa yli 100 dB, voi muutaman Hz taajuuksilla esiintyä resonanssin aiheuttamana kudonvaurioita (Jauhiainen&Vuorinen&Heinonen-Guzejev 2007, 36). Yleisesti ottaen matalataajuinen melu voi olla haitallista vain kun se kuullaan ja havaitaan. Tällöin melu on fysiologisia toimintoja häiritsevää eli se aiheuttaa unihäiriöitä, heikentää suoritus- ja työkykyä sekä voi vaikeuttaa sosiaalista kanssakäymistä. (Jauhiainen et al. 2007, 20.)

Matalia taajuuksia hyväksi käyttävissä ääniaseissa on lähinnä kyse ihmisen fysiologiseen puoleen vaikuttamisessa. Infraääniaseet voivat aiheuttaa sydän-, hengitys-, ruuansulatus- sekä keskushermoston häiriötä (Thomas 1999, 28). Tutkimusten mukaan rottien stressitaso nousee, kun alle 20 Hz taajuuksia eli infraääniä soitetaan 100-120 dB voimakkuudella. Samanlaisia tuloksia ihmisillä on havaittu vain kun ihmiset ovat väsyneitä. Uneen taasen voidaan vaikuttaa 80-100 dB matalataajuisella melulla. Aseita voidaan käyttää myös tuottamaan kipua korviin. Korvissa tuntuva kipu on huomattava, kun 100 Hz tiputetaan ääntä 50 Hz:iin pitäen voimakkuuden 135 dB, jonka jälkeen äänenvoimakkuutta nostetaan hitaasti 140 dB 20 Hz kohdalla ja nopeasti nostetaan 162 dB taajuuden ollessa 2 Hz. (Altmann 1999, 16-18.) Teoriassa vaarallisimmat taajuudet ihmisen kannalta ovat 6 Hz ja 7 Hz, koska nämä ovat ihmisen pehmytkudoksen värähtelytaajuudet. Tarpeeksi lujaa soitettuna nämä taajuudet saattavat repiä sisäelimet. Nasan tutkimusten mukaan taajuudet välillä 0-100 Hz soitettuna 150-155 dB voimakkuudella aiheuttaa värähtelyä rintakehässä, muuttaa hengityksen rytmiä, aiheuttaa kakomistuntemuksia, päänsärkyä, yskää, visuaalisia vääristymiä sekä altistuksen jälkeistä väsymystä. Visuaalisia vääristymiä aiheuttaa taajuudet 19 Hz ympärillä, koska se saa ihmisen silmämunat värähtelemään, jonka seurauksena näköön tulee häiriöitä. (Sargeant 2001.) Useassa muussa tutkimuksessa samaa silmien värähtelyä ei ole kyetty kuitenkaan toisintaa (Altmann 1999, 19).

3.3 Psykologiset vaikutukset

Matalataajuinen äänivärähtelyhoito on usein osa musiikkiterapiaa, vaikka sitä käytetään myös fysiatrian puolella. Musiikkiterapian laadun vuoksi psykologiset vaikutukset ovat tärkeitä äänivärähtelyhoidossa. Musiikkiterapiassa hoidetaan fyysisten oireiden lisäksi myös psyykkisiä oireita.

Punkanen (2002) tutki Pro gradu -tutkielmassaan fysioakustisen menetelmän, musiikin kuuntelun ja terapeutin keskustelun luoman kokonaisuuden toimivuutta huumeriippuvuuden hoidossa ja kuntoutuksessa. Tutkimuksen mukaan FA-hoito yhdistettynä musiikin kuunteluun, aiheutti kuntoutujaan syvärentoutuneisuuden tilan, jossa kuntoutujan mieleen nousi mielikuvia ja muistoja ja niihin liittyviä tunteita. Nämä muistot ja tunteet ovat saattaneet olla tiedostamattomina ja unohdettuina useita vuosia. Terapeutin keskustelun kautta kuntoutujat pystyivät käsittelemään ja arvioimaan sitä materiaalia, joka oli noussut

esille syvärentoutuneisuuden tilassa. (Punkanen 2002, 75-76.) Ennen kaikkea FA-menetelmän aiheuttamien kehollisten aistimusten kautta kuntoutujat pääsivät kiinni omiin tunteisiinsa (Punkanen 2004, 82). Lisensiaatintyössään Punkanen (2006) nostaa esiin fysioakustisen menetelmän tärkeyden huumevieroituspotilaan kipujen lievittämisessä, jännitysten ja ahdistuksen vähentämisessä, terapeutisuhteen rakentamisessa sekä korvaavien mielihyvähäkökemusten tarjoamisessa. (Punkanen 2006, 107-108.) FA-menetelmän fysiologisten vaikutuksien lisäksi tärkeäksi menetelmässä nousee terapeutin läsnäolo ja terapeutin keskustelu, joten suurin vaikutus tapahtuu psykologisella puolella.

Esa Ryyänen (2004) on tutkinut omassa Pro gradu -tutkielmassaan FA-menetelmän vaikutusta huumevieroituksessa. Tutkimuksessa fysioakustinen hoito yhdistettiin moniammatillisen tiimityöskentelyn kautta fysioterapiaan. Fysioakustisen menetelmän herättämät tunteet ja tunnelmat purettiin merkityksellisen musiikin kautta tai keskustelemalla. Vieroitusoireiden hoitovaiheessa FA-menetelmä oli osa kipujen lievittämistä ja rentoutumista sekä omaan kuntoutumiseen motivoitumista. Nämä tavoitteet toteutuivat, koska kipulääkkeiden käyttö väheni huomattavasti ja hoitoon sitoutuminen myös parani. (Ryyänen 2004, 84-92.) Vaikka tutkimuksessa otettiin huomioon, että FA-hoito yhdistettynä fysioterapiaan lisäisi oksitosiinin tuotantoa ja täten vähentäisi kipuja, mielestäni suurin vaikutus on kuitenkin kokonaisuuden kannalta ollut tunteiden käsittelemisellä ja siksi listaan tutkimuksen psykologisten vaikutusten alle.

Sibelius-Akatemiassa toteutetun kokeilun perusteella havaittiin, että FA-menetelmä vaikutti positiivisesti ahdistuneisuuteen, jännitykseen sekä kykyyn rentoutua sekä keskittyä. Ahdistuneisuutta arvioitiin Spielbergerin ahdistusasteikolla, joka sisältää kaksi osaa: tilanneahdistuksen (ahdistavuus juuri kyseisellä hetkellä) ja ahdistustaipumuksen. Molemmista osioista oli havaittavissa laskusuuntausta. (Lehikoinen 1997, 30-34.)

Matalataajuista äänivärähtelyhoitoa on käytetty terapiana myös nuorten tyttöjen kanssa, joilla on ollut huonoa itsetuntoa sekä kehonkuva ongelmia. Terapia auttoi tyttöjä rentoutumaan, antoi heille hetken levähtää, toi uusia ja uudenlaisia kehollisia tuntemuksia ja antoi aikaa reflektointiin. Terapian avulla tyttöjen myönteisyys ja suvaitsevaisuus itseään kohtaan lisääntyi. (Rüütel, Ratnik, Tamm & Zilensk 2004, 33, 38-42.)

KANSA -yhtiön 32 työntekijää osallistui tutkimukseen, jossa selvitettiin matalien taajuuksien vaikutusta stressiin. Osallistujat jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen sai matalataajuista äänivärähtelyhoitoa ja toinen ryhmä osallistui stressinhallintakurssille. Paremmat tulokset stressin vähenemisestä sai ryhmä, joka osallistui matalataajuiseen äänivärähtelyhoitoon. Tutkimus ei kuitenkaan antanut viitteitä siitä, etteikö stressinhallintakurssista olisi hyötyä stressin ehkäisyssä. (Lehikoinen 1998, 42.)

FA-menetelmää on käytetty myös traumojen hoidossa. Traumaattiset kokemukset ovat tallentuneet somaattiseen muistiin, jonka vuoksi FA-menetelmän kehollinen lähestymistapa voi olla hyvin keskeinen traumojen hoidossa. Kun FA-menetelmän yhdistää traumapsykoterapian kehotietoisuus- ja mielikuvatyöskentelyyn, on saatu hyviä tuloksia traumojen hoidossa. (Punkanen 2004, 83.)

Tutkittaessa matalataajuisen melun vaikutusta työskentelyyn esiin on noussut, että melu vaikuttaa negatiivisesti huomioon ja oikolukemiseen. Lisäksi melun huomattiin aiheuttavan subjektiivisia oireita, joita olivat keskittymiskyvyn katoaminen, väsymys sekä tärykalvoissa tuntuva paine. (Bengtsson, Waye & Kjellberg 2004, 83;98.)

Matalilla taajuuksilla on saatu aikaan myös kummituskokemuksia. Laboratorio-olosuhteissa on saatu tuotettua ihmisille outoja tuntemuksia kuten kiusaantuneisuutta ja epämääräisiä, harmaita välähdyksiä lähinnä taajuudella 18,9 Hz. Kyseessä on lähes sama taajuus, jolla on joissain tutkimuksissa havaittu olevan vaikutuksia silmien värähtelyyn. On esitetty, että sama taajuus aiheuttaisi myös levottomuutta sekä tuntemuksen lämpötilan laskemisesta. (Sargeant 2001.)

4 Pohdinta

Tarkoitukseni oli selvittää kuinka matalat taajuudet vaikuttavat ihmiseen. Tutkimuskysymyksikseni muodostui miksi matalat taajuuden vaikuttavat ihmiseen, miten mikäkin taajuus ihmiseen vaikuttaa sekä matalien taajuuksien aiheuttamat ongelmat.

Se miksi matalat taajuudet vaikuttavat ihmiseen, perustuu lähinnä resonanssi ilmiöön. Ihmisen kehon ominaistaajuudet ovat matalia taajuuksia, jonka vuoksi juuri matalat taajuudet vaikuttavat ihmiseen. Ihmisen kehon osat alkavat värähdellä, jos niihin kohdistetaan niiden ominaistaajuutta vastaava ääntä. Tätä ilmiötä kutustaan resonanssi-ilmiöksi. Resonanssi-ilmiön tunnistaminen ja tietäminen avaa mahdollisuuksia vaikuttaa ihmisen kehoon ja elimistöön äänen avulla niin hyvässä kuin pahassakin. Ilmiön tunnistaminen voi myös edesauttaa häiriöiden poistamista ihmisen normaalista elinympäristöstä, koska esimerkiksi liesituuletin, joka tässä esimerkissä hurisoi n. 19 Hz taajuudella saattaa aiheuttaa levottomuutta.

Tutkimuksessani huomasin, että matalien taajuuksien vaikutukset voidaan jaotella fysiologisiin ja psykologisiin vaikutuksiin. Fysiologisiin vaikutuksiin voidaan luetella verenpaineen aleneminen, verenkierron aktivoituminen, kuona-aineiden poistuminen, lihasjännityksen väheneminen sekä mahdollinen sykkeen aleneminen. Psykologisista vaikutuksista voi mainita rentoutumisen, ahdistuksen vähenemisen, stressioireiden lievenemisen sekä erilaisten riippuvuuksien ja traumojen hoidon. Kivunlievittäminen on mielestäni sekä fysiologista että psykologista, koska vaikka eri teorioiden mukaan kivunlievittyminen johtuisi joko oksitosiinin- ja endorfiinintuotannon aktivoitumisesta tai äänivärähtelyn aiheuttamasta ns. hellästä hieronnasta joka solulle, niin oma osansa varmasti on myös rentoutumisella.

Ihmisen keho värähtelee hyvin monella taajuudella, jonka vuoksi tarkkojen taajuuksien löytäminen voi olla haastavaa. Tutkimusten mukaan 40 Hz vaikuttaa parhaiten pohkeisiin ja reisiin. 50 Hz tuntuu parhaiten reisissä, lantiossa sekä ristiselässä. 60 Hz puolestaan vaikuttaa lantion ja ristiselän sekä rintakehän alueella. 70 Hz tuntuu kehon yläosissa ja 30 Hz pohkeissa ja reisissä. 20 Hz vaikuttaa laaja-alaisesti pohkeiden ja lanteen väliselle alueelle. Alle 23 Hz eli erittäin matalat taajuudet saattavat olla hieman epämiellyttäviä, ja ne saattavat aiheuttaa

pahoinvointia. (Skille & Wigram 1995, 54-55.) Taajuuksien vaikutukseen liittyy myös äänenvoimakkuus, jonka vuoksi on hankala tehdä selkoa siihen, kuinka mikäkin taajuus itsenäisesti ihmiseen vaikuttaa. Sama taajuus voi olla sekä haitallinen (aiheuttaa levottomuutta ja pahoinvointia) että rentouttava riippuen äänenvoimakkuudesta. Tällainen taajuus on esimerkiksi 7 Hz: se voi repiä liian voimakkaana kuultuna sisäelimet, mutta toisaalta se on myös sama taajuus kuin aivojen Alfaaajuus, joka taasen on koettu rentouttavaksi (Sargeant 2001).

Matalia taajuuksia hyväksi käyttävää matalataajuista äänivärähtely menetelmää käytetään niin musiikkiterapian puolella, että fysioterapiassa. Tällä hetkellä FA-menetelmän käyttö ei edellytä minkäänlaista koulutusta, vaikka sitä käytettäisiin hoitotyössä (Punkanen 2004, 84). Tämän saattoi myös huomata tutkimuksia lukiessa, koska musiikkiterapian puolella tehdyt tutkimukset olivat monipuolisempia kuin esimerkiksi liikuntatieteille tehdyt tutkimukset. Yleisesti ottaen musiikkiterapian tutkimuksissa FA-menetelmä oli osa suurempaa hoitokokonaisuutta, johon kuului lähes poikkeuksetta aina terapeutin läsnäolo ja keskusteleminen. Liikuntatieteiden, terveystieteiden ja fysioterapian puolen tutkimukset keskittyivät usein pelkkiin fysikaalisiin ilmiöihin. Lisäksi hoitotilanteista puuttui terapeutin lähestyminen. Parhaimmat hoitovasteet saavutettiin tutkimuksissa, joissa terapian merkitys oli otettu huomioon. Voisiko siis sanoa, että vaikka matalilla taajuuksilla on vaikutusta ihmisen fysikaaliseen puoleen, parhaimmat tulokset saadaan kuitenkin kun ihminen otetaan huomioon kokonaisuutena, jolla on myös psykologinen puoli.

Melu, jota aiheuttaa esimerkiksi liikenne, teollisuus, asuin-ympäristö sekä vapaa-aika, sisältää kohtuullisen paljon matalia taajuuksia, tässä tapauksessa 20-200 Hz. Tällaiset äänenlaadut ovat yleensä hankalia ja epänormaaleja, jonka vuoksi äänen häiritsevyys voi alkaa heti äänen kuuluessa. Melua tarkastelleissa selvityksissä on huomioitu vain matalien taajuuksien aiheuttamaa äänenvoimakkuutta, mutta ei sitä, mitä taajuudet aiheuttavat ajan myötä ihmiselle. Mielenkiintoista olisi jatkossa selvittää voiko matalia taajuuksia sisältävä melu aiheuttaa vaurioita tai epätasapainoa ihmisen kehossa äänten resonoidessa hallitsemattomasti?

Lisää tutkimusta aiheista vielä kaivataan, koska monet teoriat pohjautuvat vielä oletuksille. Erityisen mielenkiintoista tutkimuksen kannalta olisi myös perehtyä melun aiheuttamiin

ongelmiin. Kirjallisuuskatsauksena tämä työ antaa yleiskuvan fysioakustisen hoidon lähtökohdista, ja on pohjana mahdollisiin empiirisiin jatkotutkimuksiin aiheesta.

Lähteet

- Ala-Ruona, E. 2003. Fysioakustinen hoito osana erikoissairaanhoidon ja kuntoutustutkimusta. Teoksessa E. Ala-Ruona, J. Erkkilä, R. Jukkola & K. Lehtonen (toim.), *Muistoissa Petri Lehikoinen 1940-2001*. Jyväskylä: Suomen musiikkiterapiayhdistys r.y., 173-193.
- Altman, J. 1999. *Acoustic Weapons—A Prospective Assessment: Sources, Propagation, and Effects of Strong Sound*. Cornell University Peace Studies Program.
- Bengtsson, J., Waye, K. & Kjellberg, A. 2004. Evaluations of effects due to low-frequency noise in a low demanding work situation. *Journal of Sound and Vibration*, 278 (2004), 83-99.
- Butler, D. 1992. Essentials of Acoustics. *The Musicians Guide to Perception and Cognition*. New York: Schirmer Books. 15-31.
- Hietikko, A. & Katajapuu-Riikonen, P. 2007. *Fysioakustisen hoidon vaikutus ikääntyvien henkilöiden maksimaaliseen isometriseen lihasvoimaan ja seisomatasapainoon: satunnaistettu, kontrolloitu interventiotutkimus*. Jyväskylän yliopisto. Terveystieteiden laitos. Pro gradu.
- Hongisto, V. 2007. Ääniteknologian perusteet. [WWW-dokumentti]. Viitattu 3.4.2012. Saatavissa: <http://www.acoustics.hut.fi/teaching/S89.2300/lectures/ch30%20VH%20ympa%CC%88risto%CC%88melu%20v%202007>.
- Hooper, J. 2002. Is VA therapy, music therapy? *Music Therapy Today*. [WWW-dokumentti]. Viitattu 3.4.2012. Saatavissa: <http://wfmt.info>.
- Hosken, D. 2011. *An introduction to music technology*. New York: Routledge.
- Jauhiainen, T., Vuorinen, H. & Heinonen-Guzejev, M. 2007. Ympäristömelun vaikutukset. *Suomen ympäristö*, 3/2007. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Joutsenvirta, A. 2005. Akustiikka. [WWW-dokumentti]. Saatavissa: www.siba.fi/akustiikka.
- Koskinen, V. & Hongisto, V. 2011. *Tieliikennemelun taajuusjakauma*. Sisäympäristölaboratorio, Turku, Työterveyslaitos, Helsinki.
- Kvam, M. 1997. The Effect of Vibroacoustic Therapy. *Physiotherapy*, 83(6), 290-295.
- Lehikoinen, P. 1998. The Physioacoustic Method: Acoustic Vibration in Medicine. *Finnish Journal*

of Music Education, 3(3), 25-50.

- Lehikoinen, P. 1997. Musiikki värähtelynä. Teoksessa M. Kaikkonen & S. Mattila (toim.), *Musiikki ja mielen mahdollisuudet*. Helsinki: Sibelius-Akatemian koulutuskeskus, 26-39.
- Lindeman, O. 1980. *Elektroninen musiikki*. Helsinki: Otava.
- Rinne, S. 2009. *Fysioakustisen hoidon vaikutukset ikääntyneiden liikkumiskykyyn*. Jyväskylän yliopisto. Terveystieteiden laitos. Pro gradu.
- Rothstén, M. 2003. *Fysioakustisen tuolin vaikutukset ihmisen elimistön palautumiseen submaksimaalisen lihasväsytyksen jälkeen*. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro gradu.
- Rüütel, E., Ratnik, M., Tamm, E., Zilensk, H. 2004. The Experience of Vibroacoustic Therapy in the Therapeutic Intervention of Adolescent Girls. *Nordic Journal of Music Therapy, 13(1), 33-46.*
- Ryynänen, E. 2004. *Hoitomallin kehittämisprojekti huumevieroituspotilaan kuntoutumisen käynnistäjänä*. Jyväskylän yliopisto. Musiikin laitos. Pro gradu.
- Paju, K. 2003. ”Parantavat Hertzit” Katsaus Petri Lehikoisen kirjalliseen tuotantoon ja fysioakustiseen menetelmään suomalaisten tutkimusten ja artikkeleiden valossa. Teoksessa E. Ala-Ruona, J. Erkkilä, R. Jukkola & K. Lehtonen (toim.), *Muistoissa Petri Lehikoinen 1940-2001*. Jyväskylä: Suomen musiikkiterapiayhdistys r.y., 141-172.
- Punananen, M. 2006. *Musiikkiterapia osana huume-kuntoutusta: Hoitoon kiinnittämisestä kokemusmaailman integroimiseen*. Jyväskylän yliopisto. Musiikin laitos. Licensiaatintyö.
- Punananen, M. 2004. Matalataajuinen äänivärähtelyhoito - teoreettisia näkökulmia, kliinisiä sovellutuksia ja tutkimustuloksia. *Musiikkiterapia 19(1), 69-88.*
- Punananen, M. 2002. ”Matkalla mieleen ja tunteisiin”. *Fysioakustinen menetelmä ja musiikkiterapia huume-kuntoutuksessa*. Jyväskylän yliopisto, Musiikkitieten laitos. Pro gradu - tutkielma.
- Sargeant, J. 2001. *Sonic Weapons*. [WWW-dokumentti]. ForteanTimes. Viitattu 13.5.2012. Saatavissa: http://www.forteanimes.com/features/articles/256/sonic_weapons.html.
- Skille, O. & Wigram, T. 1995. The Effects of Music, Vocalization and Vibration on Brain and Muscle Tissue: Studies in Vibroacoustic Therapy. Teoksessa: Wigram, T., Saperston,

- B. & West, R. (Eds.). *The Art and Science of Music Therapy: A Handbook*, 23-57. Chur, Switzerland: Harwood Academic Publisher.
- Thomas, T. L. 1999. Human network attacks. *Military Review*; Sep/Oct 1999; 79, 5; ProQuest Central.
- Thompson, J. 2000. *Sleeping/Waking/Awakening*. [WWW-dokumentti]. Center of Neuroacoustic Research Articles. Saatavissa: <http://neuroacoustic.com/sleep.html> .
- Thompson, J. 2007. *The Clinical Use of Sound*. [WWW-dokumentti]. Center of Neuroacoustic Research Articles. Saatavissa: http://neuroacoustic.com/clinical_services.html .
- Välimäki, V. 2003. Musiikkiakustiikka. Teoksessa T. Eerola, J. Louhivuori & P. Moisala (toim.), *Johdatus musiikintutkimukseen*. Vaasa: Suomen Musiikkitieteellinen Seura, 241-250.
- Wigram, A.L. 1996. *The effects of Vibroacoustic therapy on clinical and non clinical populations*. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, London University, London, England.
- Wigram, T. 2005. *Music and Sound Vibration: Testing Hypotheses as a Series of Case Studies*. In D. Aldrige (ed.) *Case Study Designs in Music Therapy*. London and Philadelphia: Jessica Kingsley Publishers. 163-189.
- Äänipää. 2007. Verkko-oppimateriaali. [WWW-dokumentti]. Viitattu 3.12.2011. Saatavissa: <http://www.aanipaa.tamk.fi/>