

## AKUSTINEN ÄÄNENLAATUINDEKSI KUORMITTUMISEN JA PALAUTUMISEN MITTARINA. Semiokluusioharjoitukset ja lepo palautumisen menetelminä

Jaana Tyrmi, Puheen- ja äänentutkimuksen laboratorio, Yhteiskuntatieteiden tiedekunta, Tampereen yliopisto

Tero Ikävalko, Puheen- ja äänentutkimuksen laboratorio, Yhteiskuntatieteiden tiedekunta, Tampereen yliopisto

Tutkimuksessa tarkasteltiin, miten AVQI (akustinen äänenlaatuindeksi) reagoi äänen kuormittumiseen ja kuormittumisesta palautumiseen. Lisäksi selvitettiin, eroavatko palautumisen myötä äänentuottoon tulleet muutokset kahden aktiivisen palautumisharjoitteen (vesivastusterapia ja nasaaliharjoitus) ja passiivisen levon välillä. Kolmekymmentä tutkimushenkilöä suoritti äänen kuormitustehtävän (15 min.), jonka jälkeen heidät jaettiin palautumisessa käytettyjen menetelmien mukaan kolmeen ryhmään. Palautumisharjoitteen jälkeen (10 min.) kaikki ryhmät kävivät läpi passiivisen lepovaiheen (10 min.). Ennen jokaista tutkimusvaihetta ja niiden jälkeen koehenkilöiltä tallennettiin luenta- ja vokaali näytteet, joista analysoitiin AVQI, sen osaparametrit (CPPS, HNR, shimmer, slope ja tilt) sekä äänenpainetaso (SPL). Äänen kuormitus lisäsi merkittävästi shimmeriä ja nosti SPL:ää. Tilt-muutos korreloi negatiivisesti kuormitustuntemusten kanssa. Kuormitusta seuranneiden palautumisvaiheiden aikana shimmer pieneni ja tilt sekä HNR kasvoivat koko tutkimusryhmällä. SPL-muutoksella oli yhteys käytettyyn palautusmenetelmään: SPL-arvot kasvoivat vesivastusryhmällä ja pienivät nasaali- ja leporyhmällä. Vesivastusryhmällä havaittu SPL:n kasvu saattaa johtua subglottaalisen ilmanpaineen kasvusta tai äännön kynnyspaineen alenemisesta. Vesivastusterapiassa veden kuplimisen aiheuttama hierova vaikutus saattaa lisätä verenkiertoa kuormittuneessa äänihuulikudoksessa ja nopeuttaa palautumista.

**Avainsanat:** aktiivinen palautuminen, AVQI, passiivinen palautuminen, äänen kuormittuminen

---

Kirjoittajien yhteystiedot:

Jaana Tyrmi  
jaana.tyrmi@tuni.fi

Tero Ikävalko  
tero.ikavalko@tuni.fi

## 1 JOHDANTO

Akustinen äänenlaatuindeksi (AVQI) on monimuuttuja-algoritmi, joka antaa objektiivisen, numeerisen tiedon äänenlaadusta äänityshetkellä (Priss, Hosemann, Barsties v. Latoszek & Lehnert, 2018). AVQI koostuu äänen selkeyttä (tasoitettun keptrin huipun erottuvuus, smoothed cepstral peak prominence, CPPS), hälyn määrää (signaali-kohinasuhde, engl. *harmonics-to-noise ratio*, HNR), karheutta (periodiamplitudin epätasaisuus, shimmer % ja dB) ja tiivyyttä kuvaavista parametreista (spektrin yleinen jyrkkyys, slope ja kallistuminen, tilt) (Kankare ym., 2020). AVQI:n on todettu erottelevan terveen ja dysfonisen äänen toisistaan ja soveltuvan hyvin myös dysfonian vaikeusasteen analysointiin (ks. mm. Kankare ym., 2019; Núñez-Batalla, Díaz-Fresno, Álvarez-Fernández, Muñoz Cordero & Llorente Pendás, 2017). Joidenkin tulosten mukaan näyttää siltä, että AVQI yksinään ei kykenisi erottelemaan normaalia ja jonkin verran häiriöistä ääntä toisistaan, mutta yhdessä jonkin muun mittarin (kuten kuunteluarvion tai subjektiivisen arvion) kanssa, siitä olisi hyötyä myös ääniseulonassa (Batthyany ym., 2019; Faham ym., 2019).

Aiemmissä tutkimuksissa on todettu, että puhujan äänen kuormittaminen nostaa perustaajuutta (F0) ja äänenpainetasoa (SPL) (mm. Laukkanen & Kankare, 2006; Rantala, Vilkmán & Bloigu, 2002). Jitterin ja shimmerin (perustaajuuden ja periodiamplitudin epäsäännöllinen vaihtelu) reagointi kuormitukseen riippuu taas yksilön strategiasta mukautua kuormitukseen (mm. Laukkanen, Ilo-mäki, Leppänen & Vilkmán, 2008; Laukkanen & Kankare, 2006). Joissain kuormitustutkimuksissa on todettu, että kuormitustehtävä saattaa toimia ääntä lämmittävänä harjoituksena, kunnes se jossain vaiheessa kuormitustehtävän jatkuessa muuttuu ääntä rasittavaksi toiminnaksi (Vintturi, 2001). Käännekohta määräytyy yksilöllisistä tekijöistä.

Äänen lämmittelyä (engl. *warm up*) pidetään laajalti suositeltavana toimenpiteenä ennen vaativaa äänellistä suoritusta (Titze, 2001). Sen avulla pyritään helpottamaan äänentuottoa (Elliot, Sundberg & Gramming, 1995; Laukkanen ym., 2004; Titze, 2001; Van Lierde ym., 2011; Vintturi ym., 2001) ja parantamaan äänen akustisia ja aerodynaamisia ominaisuuksia (Amir, Amir & Michaleli, 2005; Laukkanen, Horaček & Havlík, 2012; Van Lierde ym., 2011; Motel, Fisher & Leydon, 2003; Vintturi ym., 2001). Lämmittelystä saadut hyödyt näyttäisivät olevan suurelta osin yksilöllisiä (Dargin & Searl, 2015; Milbrath & Solomon, 2003).

Lämmittelyn lisäksi puhutaan palauttavista harjoituksista (engl. *cool down*), joilla pyritään nopeuttamaan kehon palautumista. Palauttavien harjoitusten toivotaan myös vähentävän loukkaantumisriskiä, kun niitä käytetään säännöllisesti (Hoore & Peaken, 2018). Palautumista äänellisesti vaativista suorituksista ja palauttavien ääniharjoitusten vaikutuksia on tutkittu suhteellisen vähän (Ragan, 2016; Rima, DeFatta & Sataloff, 2012). Saadut tulokset ovat samansuuntaisia kuin, mitä on saatu huippu-urheilijoita koskevista liikunta- ja urheilulääketieteellisistä palautumistutkimuksista (ks. katsausartikkeli Hooren & Peake, 2018). Tutkittavat ovat kokeneet hyötyvänsä aktiivisista palautumisharjoituksista, vaikka fysiologisia hyötyjä ei ole pystytty havaitsemaan (Ragan, 2016; Rima, DeFatta & Sataloff, 2012).

Ääntöväylän osittaisella sulkemisella tai kaventamisella eli semioklusiona (SOVTE, engl. *semi-occluded vocal tract exercises*) tehtäviä ääniharjoitteita on käytetty jo kauan niin terveäänisten äänenkäyttäjien harjoittamisessa kuin äänihäiriöiden hoidossakin (Guzmán, Castro, Testart, Munoz & Gerhard, 2013; Paes, Zambon, Yamasaki, Simberg & Behlau, 2013; Simberg, Sala, Tuomainen, Sellman & Rinnemaa, 2006). Esimerkkejä semiokluu-

sio- eli puolisolkuharjoitteista ovat soinnilliset frikatiivit (kuten [v] ja [β]), nasaalit ([m], [n] ja [ŋ]) tai ääntäminen erilaisiin putkiin. Semiokluusioharjoitteiden aikana ilmavirtaus ääntöväylässä hidastuu, minkä seurauksena ääniraon sisäinen ilmanpaine kasvaa. Tämän on havaittu pienentävän äänihuulten välistä törmäyspainetta ja vähentävän mahdollisesti kudosisaurion riskiä (Titze 2006). Voimistuneet värähtelytuntemukset kasvoissa ja ääntöväylässä auttavat äänen tuottajaa semiokluusioharjoitteen aikana sovittamaan äänihuulten adduktiota, ääniraon muotoa ja kurkunpään ääntöväylän (putkimainen tila äänihuulista kurkunkanteen) laajuutta siten, että puhuja saa tuotettua voimakkaampaa ja kirkkaampaa ääntä (Laukkanen, Titze, Hoffman & Finnegan, 2008; Laukkanen, Horaček, Krupa & Švec, 2012; Titze, Riede & Popolo, 2008).

Semiokluusioiden yleisistä vaikutusmekanismeista on jo paljon tietoa (ks mm. Andrade ym., 2014; Dargain & Seal, 2015; Guzmán ym., 2016; Kapsner-Smith, Hunter, Kirkham, Cox & Titze, 2015; Laukkanen, 1995; Laukkanen 2015; Maxfield, Titze, Hunter & Kapsner-Smith, 2015; Titze, 2006). Eri semiokluusioiden vaikutustehojen eroja ja jopa mahdollisia vasta-aiheita, jotka estäisivät harjoituksen tekemisen, sen sijaan on tutkittu vähemmän. Saatujen teoreettisten laskelmien (Titze 2006) ja alustavien kokeellisten tulosten perusteella (Guzmán ym., 2013; Tyrmi, Horaček, Krupa, Havlík & Laukkanen, 2015) vaikuttaa siltä, että tähän mennessä tutkituista semiokluusioista eniten virtausvastusta lisäävät harjoitukset olisivat myös tehokkaimpia. Näin ollen kapeaan pilliin ääntäminen saattaisi toimia harjoitteena tehokkaammin kuin väljempään putkeen ääntäminen, ja toisaalta frikatiivi tehokkaammin kuin nasaali. Oletus kuitenkin kaippaa lisävahvistusta. Tähän tutkimukseen valittiin palautumisharjoitteiksi virtausvas-

tukseltaan oletettavasti tehokkaampi vesivastusterapia ja pienemmän virtausvastuksen antava nasaaliharjoitus. Semiokluusioharjoitteiden käytöstä ja vaikutuksesta äänen lämmittelyssä on runsaasti tietoa. Jotkut äänenkäytön kouluttajat ja laulunopettajat käyttävät semiokluusioita myöskin palauttavina harjoitteina, vaikka niiden toimivuudesta tähän tarkoitukseen on olemassa vasta niukasti tutkimusnäyttöä (ks. Ragan, 2016; Rima, DeFatta & Sataloff, 2012).

Akustisen äänenlaadunindeksin käyttö on aluillaan suomalaisessa äänitutkimuksessa ja siksi tarvitaan lisää tietoa sen kyvystä havaita pieniä muutoksia äänessä, kuten esimerkiksi lievästä äänen väsymisestä syntyviä muutoksia terveäänisillä puhujilla. On lisäksi tärkeää saada lisää tietoa paitsi kuormituksen vaikutuksista ääneen myös erilaisten palauttavien ääniharjoitusten vaikutuksista. Siksi tässä tutkimuksessa arvioitiin AVQI-analyysin kykyä mitata 1) äänen kuormituksesta syntyviä akustisia muutoksia ja 2) kuormituksesta palautumisen myötä ääneen syntyviä muutoksia sekä selvitettiin, 3) eroavatko palautumismenetelmien vaikutukset toisistaan. Palautumismenetelminä käytettiin kahta semiokluusioharjoitetta (vesivastusterapia ja nasaaliharjoitus) sekä passiivista lepoa. Lop-pulevon tavoitteena oli tuoda esiin aktiivisen ja passiivisen palautumisharjoitteen erot. Lisäksi muuttujina käytettiin äänenpainotasoa sekä kuormituksen aiheuttamia tuntemuksia äänen väsymisestä. Subjektivisia äänituntemuksia verrattiin akustisesti mitattuihin muuttujiin.

## 2 MATERIAALI JA MENETELMÄ

### 2.1 Tutkimushenkilöt ja tehtävät

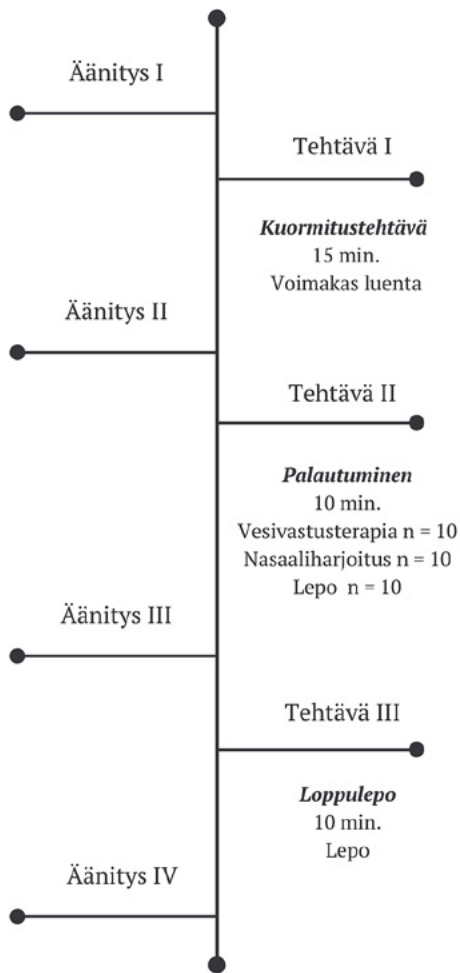
Tutkimukseen osallistui 30 vapaaehtoista ensimmäisen vuoden logopedian opiskelijaa, joista 27 (iän keskiarvo 24,3 vuotta) oli naisia ja kolme miehiä (iän keskiarvo oli 26,7 vuotta). Tutkittavilla ei ollut todettuja äänihäiriöitä. Kaikki tutkittavat suorittivat kolme tutkimustehtävää (ks. kaavio 1). Ensimmäinen tehtävä oli äänen kuormitustehtävä (tehtävä I), jonka aikana tutkittavat lukivat satunnaista tekstiä 15 minuutin ajan. Jotta ääneen kohdistuisi riittävästi kuormitusta, tutkittavia pyydettiin voimistamaan ääntä 15 dB heidän tavanomaisesta puhevoimakkuudestaan, joka oli mitattu kalibraationa käytetystä luennasta. Äänen voimakkuutta tarkkailtiin luennan ajan, ja tutkittavia kehoitettiin lisäämään voimakkuutta, jos se pieneni. Kuormituskokeen jälkeen tutkittavat vastasivat kysymykseen äänen väsymistuntemuksista (ks. kappale 2.2).

Kuormitustehtävän jälkeen tutkittavat suorittivat palautumisvaiheen (tehtävä II). Tehtävää II varten heidät jaettiin satunnaisesti kolmeen 10 hengen ryhmään, joista kaksi ryhmää suoritti 10 minuutin ajan aktiivista palautumisharjoitetta. Kolmas ryhmä istui vastaavan ajan hiljaa paikoillaan. Toinen aktiivisen palautumisen ryhmistä ohjeistettiin tekemään palauttavana harjoitteena [m:]-nasaaliharjoitusta ja toinen vesivastusharjoitusta (ns. pulputusta). Nasaaliharjoituksessa tutkittavia ohjattiin pitämään kieli suun pohjalla ja tuottamaan harjoitetta pehmeästi ja lempeästi samalla tuntien resonanssivärähtelyä kasvoilla. Vesivastusharjoitteessa tutkittavat äänsivät lasiseen resonanssiputkeen (pituus 27 cm, halkaisija 0,9 cm) sen toisen pään ollessa upotettuna 2 cm syvyyteen veteen. Tutkittavia ohjeistettiin ääntämään [o:]- tai [u:]-vokaalia, jotka auttavat huuliota asettumaan luontaisesti putken ympärille, ja ääntämään pehmeästi, mutta kuitenkin niin,

että vesi kuplii. Sekä nasaaliharjoitetta että vesivastusharjoitetta tekevää ryhmää neuvottiin pitämään aina muutaman äännön jälkeen pieni tauko. Tutkittavien kanssa harjoiteltiin tehtäviä muutaman kerran ohjeistuksen jälkeen. Tehtävän II jälkeen kaikki tutkittavat kävivät läpi vielä loppulevon (tehtävä III), jonka aikana he istuivat 10 minuuttia hiljaa. Kaikkia tehtävien tekoa valvottiin, niiden suorituksen ajan.

### 2.2 Aineiston keruu ja analysointi

Ennen tutkimustehtävää I tehtiin alkuäänitys (äänitys I), tehtävien I, II ja III välissä väliäänitykset (äänitys II ja III) ja tehtävän III jälkeen loppuäänitys (äänitys IV) (ks. kaavio 1.). Äänityksiä varten tutkittavat lukivat seisaaltaan 77 sanan mittaisen vakioidun tekstin ('Pohjantuuli ja aurinko') sekä äänsivät kolme noin 5 sekunnin pituista [a:]-vokaalia äänentutkimuskäyttöön suunnitellussa akustoidussa tilassa. Tutkittavia pyydettiin lukemaan teksti heidän tavanomaisella keskusteluäänien voimakkuudellaan ja puhekorkeudellaan. Ääninäytteet äänitettiin pääpantamikrofonilla (AKG C544L) 4 cm etäisyydellä henkilön huulikulmasta. Tallennuksessa käytettiin Focusrite iTrack Solo -äänikorttia (näytteenottotaajuus 44,1 kHz ja 16 bitin amplitudin erottelutarkkuus) sekä PC-tietokoneelle asennettua Praat-ohjelmaa (versio 6.0.39). Äänenpainetaso mitattiin Brüel & Kjaer 2238 Mediator-tasomittarilla, johon oli kytketty saman valmistajan 4188-tyypin mikrofoni. Välittömästi tehtävän I jälkeen tutkittavat vastasivat myös kysymykseen ”Kuinka paljon koit äänesi väsyvän kuormituksen aikana?” merkitsemällä visuaalis-analogisen asteikon (vas) janalle äänen väsymisen tunteen määrän asteikolla 0–10 (0 = ei lainkaan ja 10 = erittäin paljon).



Kaavio 1. Tutkimusprotokolla äänityksistä ja tutkimustehtävistä (N = 30).

Äänitteet analysoitiin AVQI-ohjelman versioilla 02.02. (Maryn & Weenink, 2015), joka on validoitu suomen kielelle (Kankare ym., 2019). Analyysiin käytettiin Praat-ohjelmaa (5.3.55). Analyysiin otettiin luentatekstin 23 ensimmäistä tavua ja 3 sekuntia keskimmäisen pidennetyn vokaalinäytteen keskeltä. AVQI-indeksi tuottaa arvon välillä 0–10. Häiriöisen äänen raja-arvo suomenkielisillä puhujilla on 2.87 (Kankare ym., 2019). SPL analysoitiin luentanäytteestä.

Kuormituksen vaikutuksia AVQI:n parametreihin tarkasteltiin parittaisella Studentin t-testillä, sillä ne noudattivat normaali-jakaumaa (Kolmogorov-Smirnovin testissä

$p > 0,05$ ). Palautumisryhmien välisiä eroja alkutilanteessa ja kuormituksen jälkeen tarkasteltiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (Bonferroni-korjausta käyttäen). Analyysin avulla varmistettiin, etteivät ryhmät eronneet toisistaan kuormituksen jälkeen minkään tutkitun parametrin suhteen. Kuormituksen jälkeisiä AVQI:n arvoja verrattiin sekä palautumisen että loppulevon jälkeisiin arvoihin käyttämällä toistomittausten varianssianalyysiä (Täydellinen tekijäasetelma, Bonferroni-korjaus). Toistomittausten varianssianalyysillä arvioitiin myös, oliko palautumisryhmän ja äänitysajankohdan välillä yhdysvaikutusta eli vaikuttiko palautumisryhmä siihen, miten AVQI ja sen osaparametrit sekä SPL muuttuivat palautumisen ja loppulevon myötä. Subjektiviisen äänen kuormittuneisuuden määrän suhdetta akustisesti mitattuihin kuormitusmuutoksiin tarkasteltiin korrelaatioanalyysillä (Spearmanin rho).

### 3 TULOKSET

Yhdellä vesivastusryhmän tutkittavalla havaittiin puutteelliset signaalitiedot lepovaiheen jälkeisissä äänityksissä ja yhdellä leporyhmän tutkittavalla kuormituksen jälkeisissä äänityksissä. Näitä tutkimusvaiheita vertailtaessa kyseisten tutkittavien näytteet jätettiin pois analyysistä. Tulosten yhteydessä on mainittu kulloinkin vertailussa olevien ryhmien koot.

#### 3.1 Kuormituksen vaikutukset

Koko aineiston tasolla 29 tutkittavan ryhmässä shimmer ja SPL olivat suurempia värittömästi kuormituksen jälkeen (ks. liite 1). Shimmer %:ssa havaittu keskimääräinen muutos oli 0,67 ( $t(28) = -3,114$ ,  $p = 0,004$ ), shimmer dB:ssä 0,05 ( $t(28) = -2,447$ ,  $p = 0,021$ ) ja SPL:ssä 0,68 ( $t(28) = -3,504$ ,  $p = 0,002$ ). Kolme palautumisryhmää eivät eronneet toisistaan alkuäänityksestä eivätkä

kuormituksen jälkeen tehdystä äänityksestä saatujen mittaustulosten suhteen (SPL, AVQ-indeksi ja sen osatekijät, CPPS, HNR, shimmer, LTAS, slope, tilt) (Kuvio 1). Väsymystuntemukset kuormituksen jälkeen eivät myöskään erottaneet ryhmiä toisistaan (One-Way ANOVA,  $p > 0,05$ ).

TAULUKKO 1. Tutkittavien arviot äänen kuormitustestin vaikutuksista äänen väsymiseen 10 cm vas-janalla mitattuna (0 = ei lainkaan ja 10 = erittäin paljon).

TAULUKKO 1. Tutkittavien arviot äänen kuormitustestin vaikutuksista äänen väsymiseen 10 cm vas-janalla mitattuna (0 = ei lainkaan ja 10 = erittäin paljon).

Äänen väsymystuntemukset	Vesivastusryhmä (n = 10)	Nasaaliryhmä (n = 10)	Leporyhmä (n = 10)
Keskiarvo	6,53	6,53	6,8
Keskihajonta	2,54	1,67	1,00
Vaihteluväli	8,9-1,6	7,7-1,9	8,1-5

Tutkittavat arvioivat äänensä väsymistä kuormituskokeen jälkeen asteikolla 0–10 (0 = ei lainkaan ja 10 = erittäin paljon). Tuloksen mukaan he kokivat äänensä keskimäärin kohtalaisen väsyneeksi (N = 30 KA 6,62; KH 1,78; VV 1,6-8,9). Kuormituksen jälkeinen tilt-muutos (erotus kuormituksen jälkeisten ja alkuarvojen välillä) ja äänen väsymisen tuntemukset kuormituksen jälkeen korreloivat negatiivisesti (Spearmanin  $\rho = -0,371$ ,  $p = 0,048$ ). Niillä tutkittavilla, jotka kokivat runsasta äänen väsymistä, spektrin kaltevuus muuttui jyrkemmäksi ja niillä, jotka kokivat vain lievää äänen väsymistä, tyypillisesti loivemmaksi. Taulukossa 1 näkyy kuormitustestävän jälkeiset äänen kuormitustuntemukset ryhmittäin. Ryhmät eivät eronneet merkittä-

västi toisistaan kuormitustuntemuksen suhteen. Kuormitustuntemus ei korreloinut tilt-muutoksen lisäksi minkään muun tutkitun parametrin kanssa.

### 3.2 Palautumisen vaikutukset

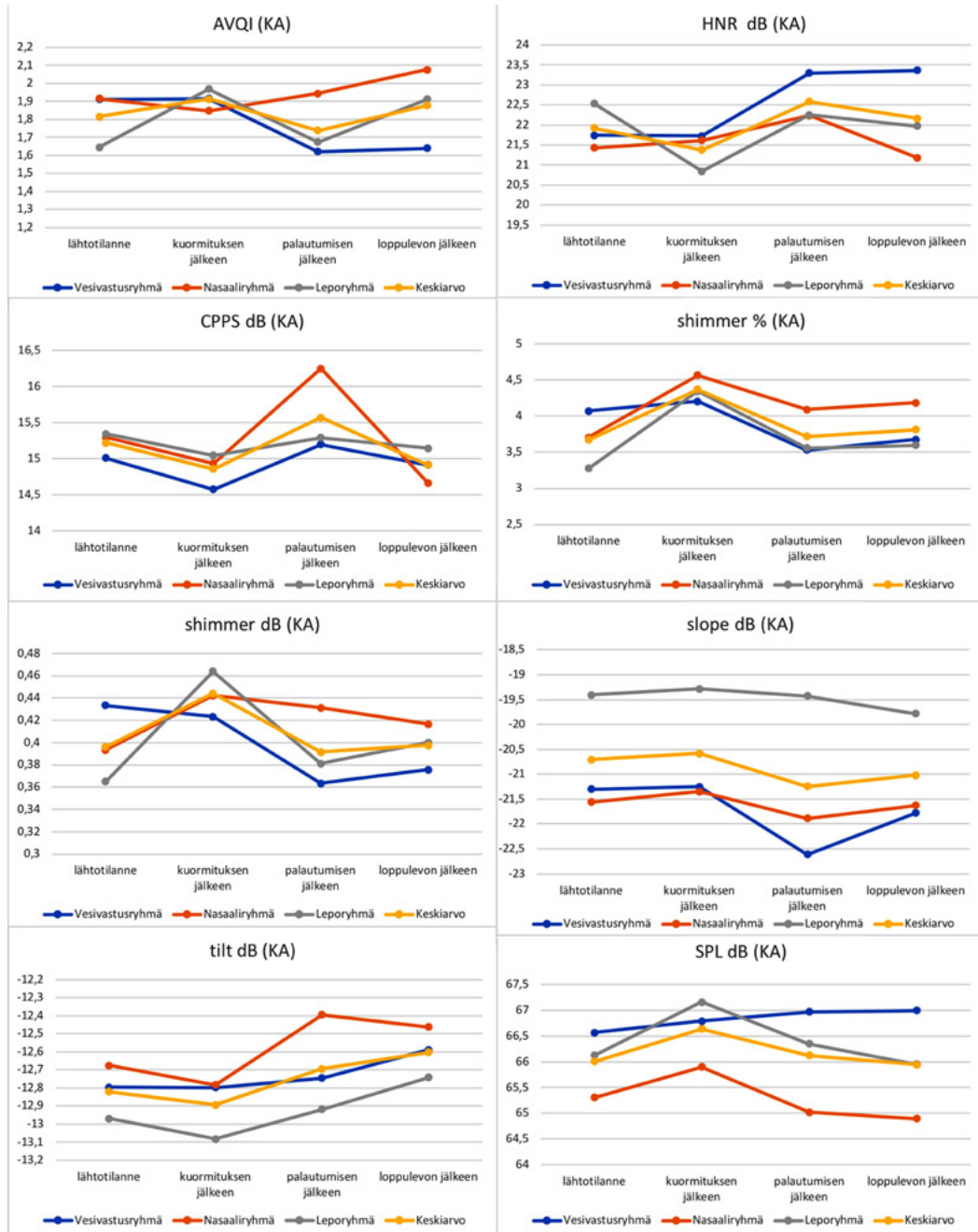
Palautumisen jälkeen sekä perturbaatio että SPL olivat merkitsevästi pienempiä kuten nähdään taulukosta 2 (muutos: shimmer % -0,65, shimmer dB -0,05 ja SPL -0,57 dB). HNR ja tilt kasvoivat (muutos: HNR 1,20 dB, tilt 0,19 dB), mutta slope pieneni (muutos: -0,72 dB) (liite 1, taulukko 2 ja kuvio 1). AVQI:n ja CCPS:n arvot eivät muuttuneet äänitysten II ja III välillä.

TAULUKKO 2. Toistomittausten varianssianalyysin tulokset palautumisen jälkeisille merkitseville muutoksille (äänitysajankohdan päävaikutus). Verrattavana kuormituksen jälkeinen (äänitys II) ja palautumisjakson jälkeinen (äänitys III) äänitysajankohta (vesivastusryhmä n = 10, nasaaliharjoitusryhmä n = 10 ja leporyhmä n = 9).

AVQI:n parametri	F(1, 25)	p-arvo
HNR	8,452	0,007
Shimmer %	15,616	0,001
Shimmer dB	17,012	0,000
Slope	4,632	0,041
Tilt	7,917	0,009
<b>SPL</b>	7,343	0,012

Palautumistavalla (vesivastusharjoite n = 10, nasaaliharjoite n = 10 ja lepo n = 9) ja äänituskerralla (äänitys II ja III) ei ollut yhdysvaikutusta eli harjoitteet ja lepo eivät eronneet

toisistaan sen suhteen, millaisia muutoksia AVQI:ssa, sen parametreissa tai SPL:ssä tapahtui palautumisvaiheen myötä.



KUVIO 1. Kuviot 1a-h havainnollistavat AVQ-indeksin ja sen parametrien sekä SPL:n muutoksia (n = 9, nasaaliryhmä n = 10 ja leporyhmä n = 9).

Kuviosta 1 on kuitenkin nähtävissä, että esimerkiksi SPL ja AVQI muuttuivat palautumismenetelmien välillä jokseenkin eri lailla, vaikkakaan tämä eroavaisuus ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Nasaaliryhmässä AVQI kasvoi, kun taas vesivastusryhmässä ja leporyhmässä se laski. SPL laski sekä nasaali- että leporyhmässä, mutta kasvoi vesivastusryhmässä.

### 3.3 Loppulevon vaikutukset

Äänitysten II ja IV (kuormituksen jälkeinen ja loppulevon jälkeinen tilanne) välillä havaittiin positiivinen muutos HNR- (KA = 0,75) ja tilt-luvuissa (KA = 0,29) sekä negatiivinen muutos shimmer(dB)-luvuissa (KA = -0,05)

ja shimmer(%)-luvuissa (KA = -0,56) (taulukko 3 ja liite 1). Näiden lisäksi palautumis- harjoitteella ja äänityskerralla (äänitys II ja IV) oli merkitsevä yhdysvaikutus SPL:ään (F(2, 25), p = 0,038). Äänitysten II ja IV välisiä eroja tutkittiin vielä erikseen jokaisessa ryhmässä sekä ryhmien välisiä eroja erikseen äänityksissä II ja IV. Vertailut osoittivat, että SPL muuttui eri tavoin palautumisryhmissä. SPL pieneni merkitsevästi leporyhmällä (p = 0,013), jolla keskiarvojen erotus (KE) oli -1,20 dB ja keskivirhe (KV) 0,39 dB, sekä nasaaliryhmällä (p = 0,003), jolla KE oli -1,00 dB ja KV 0,236 dB. Vesivastusryhmällä havaittu pieni SPL:n nousu (0,2 dB) ei ollut merkitsevä.

TAULUKKO 3. Toistomittausten varianssianalyysin tulokset levon jälkeisille merkitseville muutoksille (äänitysajankohdan päävaikutus). Verrattavana kuormituksen jälkeinen (äänitys II) ja loppulevon jälkeinen ajankohta (äänitys IV) (vesivastusryhmä n = 9, nasaaliharjoitusryhmä n = 10 ja leporyhmä n = 9).

AVQI:n parametri	F(1, 25)	p-arvo
HNR	4,548	0,043
Shimmer %	7,731	0,010
Shimmer dB	8,943	0,006
Tilt	17,895	0,000

Kuviosta 1 näkyy, että keskimäärin HNR kasvoi nasaaliryhmällä ja pieneni kahdella muulla ryhmällä. Erot ryhmien välillä eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.

## 4 POHDINTA

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, miten AVQI reagoi äänen kuormittumiseen ja siitä palautumiseen. Äänen kuormituskokeeseen osallistui 30 tutkittavaa (15 min.) ja sen perään palautumisvaiheeseen, jossa tutkittavat tekivät 10 minuuttia aktiivista palautumis-

harjoitetta (nasaaliharjoite tai vesivastusteerapia) tai istuivat 10 minuuttia hiljaa (lepo). Palautumisvaiheen jälkeen kaikki tutkittavat osallistuivat vielä passiiviseen lepovaiheeseen, jonka aikana he istuivat hiljaa 10 minuuttia. Jokaisen tutkimusvaiheen jälkeen sekä ennen tutkimuksen aloitusta tutkittavilta äänitettiin luentanäytteet, joista analysoitiin AVQI sekä SPL. Tulokset antavat viitteitä siitä, että kuormittumisen ja palautuneisuuden mittareina toimisivat parhaiten SPL ja AVQI:n parametreista shimmer ja tilt, sillä nämä muuttuivat reagoivat sekä äänen kuormitukseen että



palautumiseen. Kuormituskoe nosti SPL:ää ja lisäsi shimmeriä. Palautuminen pienensi SPL:ää, shimmeriä ja slopea sekä kasvatti tiltiä. Kuormituskokeen aikaan saama muutos tiltissä korreloi negatiivisesti tutkittavan kokeman subjektiivisen äänen väsymisen tunteen kanssa. AVQI ja sen osaparametri CPPS eivät reagoineet äänen kuormitukseen tai sitä seuranneeseen palautumiseen.

Perturbaation (shimmer) lisääntyminen kuormituksen vaikutuksesta voi olla merkki laryngaalisen resistanssin pienenemisestä (Teixeira, 2013), joka voi puolestaan seurata kurkunpään lihasten väsymisestä. Aiemmissä tutkimuksissa (Yiu & Chen, 2003; Verdolini-Marston, Sandage & Titze, 1994) on todettu, että äänihuulten kosteutta lisäävät ja viskositeettia alentavat toimenpiteet ovat vähentäneet perturbaatiota. Kuormitus toimii oletettavasti päinvastaisesti, sillä sen seurauksena äänihuulikudos menettää elastisuuttaan ja kimmoisuuttaan (Titze, 2000). Tämän tutkimuksen tulokset poikkesivat Rantalan ja Vilkmänin (1999) tuloksista, joiden mukaan shimmer-arvot pienenevät työviikon ja työpäivän aikana naispuolisilla opettajilla (ks. myös Laukkanen, Ilomäki, Leppänen & Vilkmän, 2008; Leppänen, Laukkanen, Ilomäki & Vilkmän, 2009). Eroon voi olla yhtenä syynä se, että tutkimuksissa tarkasteltiin hyvin erityyppisten kuormitusten vaikutusta ääneen. Remacle, Garnier, Gerber, David ja Petillion (2018) arvioivat myös, että kuormituksen vaikutus shimmeriin vaihtelee yksilöstä ja päivästä riippuen. Rantalan ja Vilkmänin (1999) tutkimuksessa shimmer vähenikin nimenomaan niillä, jotka raportoivat runsaasti ääniongelmia, mutta ei niillä, joilla ääniongelmia oli vain vähän. Remacle ym. (2018) tutkittavista suurimmalla osalla (56 % tutkituista opettajista) shimmer ei muuttunut merkittävästi työpäivän aikana vaan ainoastaan perustaajuus kasvoi. Niillä (9 %), joilla HNR kasvoi (siis äänen hälyisyys väheni), shimmer (ja jit-

ter) tyypillisesti pieneni. Tällöin muutokset tulkittiin hyperfunktionaalisuuden lisääntymiseksi. Niillä (35 %), joilla perustaajuus ja HNR pienenevät, shimmer (ja jitter) lisääntyi. Tutkijat arvioivat, että tällöin vaikutukset johduvat äänihuulikudokseen muodostuneesta akuutista tulehduksesta ja turvotuksesta sekä mahdollisesti lihasten väsymisestä.

AVQIN:n parametreista tilt oli ainoa, jolla havaittiin olevan yhteyttä tutkittavan kokeman äänen väsymisen tunteen kanssa. Energian suhteellinen määrä spektrin korkeilla taajuuksilla väheni kuormitustehtävän aikana erityisesti niillä, jotka kokivat äänensä kuormituksen jälkeen huomattavan väsymiseksi. Niillä, jotka kokivat vain lievää äänen väsymistä, spektrin kaltevuus tyypillisesti loiveni. Rantala ja Vilkmän (1999) havaitsivat jokseenkin samansuuntaisen yhteyden naispuolisilla opettajilla työpäivän aikana tapahtuvan spektrin kaltevuuden muuttumisen ja tutkittavien kokemien ääniongelmien määrän välillä. Heidän tulostensa mukaan niillä, jotka eivät kokeneet merkittäviä ääniongelmia, spektrin kaltevuus loiveni, kun taas niillä, jotka kokivat runsaasti ääniongelmia, spektrissä ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Kokoaineistolla tarkasteltuna spektri muuttui Rantalan ja Vilkmänin tutkittavilla keskimäärin vähemmän kaltevaksi, mikä on linjassa myös Laukkasen ym. (2008) sekä Leppäsen ym. (2009) tulosten kanssa. Tämän tutkimuksen aineistossa spektrin kaltevuuden ei havaittu muuttuvan merkittävästi koko aineiston tasolla, minkä selittäisi se, että subjektiivinen äänen väsymisen määrä vaihteli tutkittavien välillä. Osa tutkittavista koki huomattavaa ja osa vain lievää äänen väsymistä.

Tässä tutkimuksessa havaittu kuormitusta seurannut SPL:n nousu on linjassa Laukkasen ym. (2008) ja Leppäsen ym. (2009) tulosten kanssa. Päinvastoin, kuin näiden tutkimusten ja tämänkertaisen tutkimuksen tulokset osoittivat, kuormituksen voisi ajatella perustellusti

joissain tapauksissa madaltavan SPL:ää. Äänen kuormittuessa äänihuulikudos menettää elastisuuttaan ja kimmoisuuttaan (Titze, 2000), ja hengitysilihakset väsyvät. Tutkittavan on hankala väsyneillä hengitysilhaksillaan ylläpitää kontrolloidusti sellaista subglottaalista painetta, jota hän käyttää normaalisti puheessaan. Samanaikaisesti äänihuulivärähtelyn käynnistäminen vaatii aiempaa suurempaa subglottaalista painetta, koska äänihuulikudoksen värähtelyä edesauttavat ominaisuudet ovat heikentyneet kuormituksen vaikutuksesta. Aiemmissa tutkimuksissa (Laukkanen ym., 2008; Leppänen ym., 2009) SPL:n nousua on perusteltu sillä, että lihastonus olisi lisääntynyt tutkittavilla ääntöelimistön sopeutuessa kuormitukseen. SPL:n nousua tässä tutkimuksessa voisi selittää myös se, että kuormituksena käytetty voimakas luenta sekä siihen liittynyt runsas subglottaalisen paineen käyttö saattoivat jäädä tutkittavilla päälle, mikä vaikuttaisi todennäköisesti heti luennan perään tehtyihin tutkimusäänityksiin. Silloin, kun kuormitustehtävä ei ylitä tutkittavan yksilöllistä äänen kuormittumisen kynnystä, se voi luultavasti toimia myös tiettyyn pisteeseen asti äänen lämmittelynä ja sitä kautta lisätä SPL:ää (Vinturi, 2001). Tässä tutkimuksessa kuormituskokeen yhteydessä havaittua SPL:n nousua ei voida yksiselitteisesti liittää äänen väsymiseen vaan, se voi olla kytköksissä joihinkin muihin edellä mainittuihin tekijöihin. Äänen kuormittamista tutkittaessa voikin olla tarpeen arvioida erityisesti sitä, tulisiko tutkimusäänitys tehdä välittömästi ääntä kuormittavan toiminnan perään vai vasta pienellä viiveellä, kun äänen lämpenemisen ja muiden SPL:ää lisänneiden äänen kuormittumiseen liittymättömien tekijöiden vaikutukset ovat vähentyneet riittävästi.

HNR, slope, tilt, shimmer ja SPL näyttivät reagoivan palautumiseen (aktiivinen palautuminen ja lepo) tutkituista muuttujista selvim-

min. Koska tilt, shimmer ja SPL muuttuivat sekä kuormituksen että palautumisen vaikutuksesta, ne kuvastavat arviolta parhaiten äänen kuormittuneisuutta ja palautuneisuutta. HNR:n kasvu ja shimmerin aleneminen viittaavat äänen hälypitoisuuden ja epävakaisuuden vähenemiseen ja siinä mielessä positiiviseen muutokseen äänenlaadussa.

SPL oli ainoa parametri, joka muuttui loppulevon aikana eri palautumisryhmissä merkittävästi eri tavoin. Vesivastusryhmällä SPL ei poikennut merkittävästi kuormituksen jälkeisten mittausten ja palautumisen tai loppulevon jälkeisten mittausten välillä, kun taas kahdella muulla ryhmällä SPL:ssä havaittiin palautumisvaiheiden aikana merkittävää laskua. Näihin ryhmien välisiin eroihin voi olla useita syitä. Vesivastusharjoittelun jälkeen osallistujat saattoivat jatkaa esimerkiksi tavallista suuremman subglottaalisen paineen käyttöä, sillä veteen sijoitettu putki vesivastusharjoittelussa vastustaa ilmavirtaa enemmän kuin ääntöväylä ja äänirako nasaa-likonsonantti- tai vokaaliäännessä. Vesivastusharjoite saattoi myös madaltaa äännön kynnyspainetta, kuten semiokluusioiden on havaittu aiemmissa tutkimuksissa tekävän (Laukkanen, Titze, Hoffman & Finnegan, 2008; Titze, 2008). Äännön kynnyspaine ilmaisee, kuinka paljon subglottaalista painetta äänihuulivärähtelyn käynnistämiseksi tarvitaan, mikä ilmentää yleisellä tasolla varsin hyvin sitä, kuinka tehokkaasti energiaa siirtyy ilmavirrasta äänihuulivärähtelyyn. Vesivastusharjoitteen mahdolliset edut palauttavana harjoitteena voivat liittyä myös veden kuplimisen aiheuttamaan hierovaan vaikutukseen (Granqvist ym., 2015), jonka voidaan ajatella lisäävän verenkiertoa kudoksissa. Äänen väsymiseen liittyviä oireita on selitetty nimenomaan äänentuottoon osallistuvien lihasten ja pehmytkudosten huonontuneella verenkierrolla ja sitä seuraavalla lihasten toimintakyvyn heikkenemisellä. SPL:n

aleneminen aktiivisen palautumisenvaiheen ja levon aikana lepo- ja nasaaliryhmällä voi johtua puolestaan äänentuottoelimistön lihasten rentoutumisesta tai väsymisestä sekä kuormituksen aiheuttamista muutoksista kudosten verenkierrassa. Aineenvaihdunnalliset muutokset lihaksissa ja pehmytkudoksissa säilyvät arviolta vielä jonkin aikaa kuormituksen päättymisen jälkeenkin ja saattavat aiheuttavat siksi muutoksia äänentuotossa myös viiveellä. Näin ollen heti kuormitustehtävän perään nousseen SPL:n voisi olettaa käyttäytyvän niin, että se palautuu ensin hiljalleen lähelle lähtötasoaan ja sen jälkeen vielä tätä matalammaksi, kuten tässä tutkimuksessa lepo- ja nasaaliryhmällä havaittiin. Näillä ryhmillä SPL laski ensin aktiivisen palautumisvaiheen aikana lähelle alkuäänityksen lukemaa ja levon aikana vielä tämän alapuolelle. Kuormitustehtävän perään kaikilla ryhmillä kohonnut SPL selittyisi edelleen hetkellisesti päälle jääneellä hengityslihakstiivisuudella ja tutkittavan totuttamisella voimistettuun äänentuottoon.

Aineisto oli pieni, minkä takia ei voida sulkea pois, etteikö SPL:n lisäksi jonkin muun tutkitun parametrin muuttuminen palautumisen tai levon aikana olisi ollut palautumismenetelmästä riippuvaista. AVQI sekä shimmer dB kasvoivat ja HNR pieneni joko aktiivisen palautumisen tai levon aikana nasaali- ja leporyhmissä, mutta eivät vesivastusterapiaryhmässä. Muutokset nasaali- ja leporyhmissä voisivat liittyä lihasaktiiviteetin vähenemiseen rentoutumisen tai väsymisen johdosta. Suuremmalla aineistolla ryhmien väliset erot näiden parametrien palautumis-  
muutoksissa saattaisivat saada tilastollisen merkitsevyyden.

AVQI sellaisenaan, osaparametriensa yhdistelmänä, ei välttämättä tarjoa merkittävää tietoa äänen kuormittuneisuudesta tai palautuneisuudesta terveäänisillä puhujilla. Tässä tutkimuksessa se ei tuottanut merkitsevää

eroa kuormitusvaiheen ja alkutilanteen eikä kuormitusvaiheen ja palautumisvaiheiden välille. Tämä havainto on linjassa aiempien tutkimusten kanssa, joiden mukaan AVQI ei yksinään riitä terveäänisten tutkittavien erottamiseen lievästi dysfonisista (Batthyany ym., 2019; Faham ym., 2019). AVQI-indeksi pieneni joillain tutkittavilla kuormitusta edeltävää ja sen jälkeistä äänitystä verrattaessa. Tämän voisi nähdä vahvistavan edelleen sitä olettamusta, että AVQI ei välttämättä kuvaa terveäänisillä äänen laatua yhtä yksiselitteisesti kuin dysfonisilla henkilöillä, joilla madaltunut AVQI-luku kuvastaa parempaa äänenlaatua. Tuloksista ei ollut nähtävissä, että AVQI pienenisi erityisesti niillä, jotka kokivat vähiten äänen väsymistä, vaan sen muuttuminen näytti olevan jokseenkin riippumatonta tutkittavien raportoimista väsymistunteuksista. Yksi syy kuormituksessa havaittuun AVQI:n pienenemiseen voi liittyä Brockmann-Bauserin ym. (2018) havaintoon siitä, että äänen voimakkuuden ja adduktion lisääntyminen vähentävät äänen perturbatiota ja hälyn määrää.

AVQI:n parametreista slope ja tilt molemmat kuvastavat spektrin kaltevuutta. Tutkimuksessa näiden havaittiin muuttuvan erisuuntaisesti kuormituksen ja palautumisvaiheiden vaikutuksesta, mikä on jokseenkin yllättävää. Poikkeavuus on kuitenkin selitettävissä slopen ja tiltin laskentatapojen eroilla. Slope lasketaan spektriin piirretyn regressiosuoran perusteella. Tilt puolestaan kertoo suoraan spektrin energiamäärän eron 0–1000 Hz ja 1000–10000 Hz kaistojen välillä. Jos äänenlaadulliset muutokset näkyvät keskiarvospektrissä esimerkiksi tietylle kapealle taajuusalueelle muodostuneena energiakorostuma, saattaa slope ja tilt reagoida muutokseen eri lailla. Tiltin kasvu saattaa merkitä esimerkiksi korkeataajuuksisen (5–10 kHz alueelle sijoittuvan) hälyn lisääntymistä äänessä (ks. Laukkanen ym., 2020).

Loppuhaastattelussa tutkittavilta kysyttiin heidän tuntemuksiaan palauttavasta harjoituksesta. Nasaaliryhmäläiset raportoivat, että harjoitus oli heidän mielestään vaikea. Tämä saattaa johtua siitä, että nasaaliharjoituksessa ääntöväylän ilmapirrille antama vastus on pienempi kuin putkeen ääntämisessä, ja nasaaliharjoitus vaatii siten tekijältä harjaantuneisuutta onnistuakseen ja tuottaakseen toivottuja tuloksia (Gaskill & Erickson, 2010; Laukkanen ym., 2007; Titze, 2006). Vesivastusterapian yhtenä etuna nasaaliharjoitteeseen verrattuna saattaa olla juuri se, että mekaaninen putki ja veden tuoma vastus tarjoavat harjoittelijalle vähemmän vapausasteita ja ikään kuin ohjaavat äänentuottoa haluttuun suuntaan. Palauttavan harjoitteen tulee Hoorenin ja Peaken (2018) mukaan olla valittu niin, että se kohdistuu samoihin lihasryhmiin, joita varsinainen suoritus on raskittanut. Semiokluusioharjoitukset aktivoivat erityisesti äänirakoa sulkevia lihaksia ja hengitysilhaksia, joten ne voisivat toimia palauttavina harjoitteina erityisen hyvin silloin, kun näitä lihasryhmiä on kuormitettu. Hooren ja Peaken esittävät myös, että palauttava harjoitus tulisi valita henkilön omat mieltymykset huomioiden, koska palautumisen tehokkuus saattaa perustua suurelta osin yksilön uskomuksiin harjoituksen toimivuudesta. Suurin osa tutkimushenkilöistä koki aktiivisen palautumisen passiivista palautumista hyödyllisempänä, vaikka aktiivisen ja passiivisen palautumisen hyötyeroista ei ole olemassa vielä selkeää tutkimusnäyttöä (Hooren & Peaken, 2018).

Yksi tämän tutkimuksen ilmeinen puute oli pieni otantakoko. Suurempi otanta olisi saattanut tuoda esiin lisää tilastollisesti merkitseviä tuloksia kuormituksen ja palautumisen akustisista vaikutuksista sekä palautumisharjoitteiden mahdollisista tehokkuuseroista. Tutkimuksen haasteena voidaan pitää myös äänen kuormittuneisuuden arviointia. Tut-

kimuksessa käytettiin tutkittavan omaa subjektiivista arviota tähän tarkoitukseen. Objektiviisen äänen väsymismittauksen toteuttaminen voi olla kuitenkin hankalaa nykyisin käytössä olevilla menetelmillä. Aiemmissä äänen kuormittumista käsitellessä tutkimuksissa on tullut esille, etteivät laryngoskopiatiulokset, akustiset tulokset ja subjektiiviset kokemukset välttämättä korreloi keskenään (esim. Ilomäki, Kankare, Tyrmi, Kleemola & Geneid, 2017; Kankare, Geneid, Laukkanen & Vilkmán, 2012). On mahdollista, että kehitteillä olevat optiset menetelmät, joilla voidaan tutkia äänihuulikudoksen kimmoisuutta, voisivat tuoda esiin äänen kuormittumisen merkkejä jo ennen kuin äänihuulissa näkyy selkeitä muutoksia, kuten punoitusta ja turvotusta (Hertegård & Larsson, 2014). Tällainen menetelmä parantaisi akustisten analyysitulosten tulkintaa, koska nykyään tiedetään, että esimerkiksi äänen perturbaatio- ja hälymäärä muuttuvat myös äänen voimakkuuden myötä (Brockmann-Bauser, Bohlender & Mehta, 2018). Tämänhetkistä äänen kuormittuneisuuden arviointimenetelmistä subjektiivisen arvion etu on siinä, että se on nopeasti kerättävissä monivaiheisen pitkäkestoisen tutkimustilanteen aikana. Se voi myös antaa tietoa äänen väsymisestä ja käheytymisestä ennen, kuin muut menetelmät kykenevät siihen (Vintturi, Laukkanen, Siikki, Lukkarila & Vilkmán, 2001). Tutkittavan oma subjektiivinen arvio ei myöskään rajoitu ainoastaan äänihuulikudoksessa tapahtuvan muutoksen havainnointiin, vaan se ottaa todennäköisesti laajemmin huomioon myös kurkunpään lihasten väsymisestä ja muusta psyykkisestä sekä kehollisesta kuormittuneisuudesta syntyvät tuntemukset.

Tutkimusta arvioitaessa on myös syytä pohtia, ehtiikö kuormittunut ääntöelimistö todellisuudessa palautua 10 minuutin palautumisharjoitteen ja 10 minuutin levon aikana. Kuormituksessa syntyneiden kudosvau-

rioiden korjaantuminen ja lihasten aineenvaihdunnan palautuminen ennalleen saattaa joissakin tapauksissa kestää huomattavasti kauemmin. Tutkimustilanteen pidentäminen tai sen jakaminen kahteen osaan olisi kuitenkin ollut hankala toteuttaa. Se olisi myös voinut vaikeuttaa tutkittavien rekrytointia tutkimukseen. Tutkimuksen pääasiallinen tarkoitus ei ollut palautumisprosessin tutkiminen, vaan tarkoitus oli arvioida AVQI:n kykyä reagoida sekä kuormitukseen että palautumiseen. Liikunta- ja urheilulääketieteen tutkimuksia aktiivisen ja passiivisen palautumisen hyödyistä voidaan pitää suuntaa-antavina myös kurkunpään lihasten osalta, koska kurkunpään lihaksissa on todettu olevan sekä nopeasti (nopea solu, hyvin nopea solu ja erikoistunut nopea solu) että hitaasti supistuvia (MyHC-1) lihassoluja, kuten muissakin poikijuoovaisissa lihaskudoksissa (Hoh, 2005; Rima, DeFatta, Sataloff, 2012; Smerdu & Cvetko, 2013). Esimerkiksi vocalis-lihaksessa on nopeasti supistuvia lihassoluja, ja se on kurkunpään lihaksista nopeimmin supistuva. Kurkunpään lihakset kuitenkin eroavat muista luurankolihaksista histokemiallisen erikoistumisensa vuoksi, joka mahdollistaa sen nopeuden ja kestävyuden, mitä monipuolisessa äänenkäytössä tarvitaan (Rima, DeFatta & Sataloff, 2012).

AVQI sellaisenaan, osaparametriensa yhdistelmänä, ei erotellut merkitsevästi tutkimusvaiheita eikä eri palautumisharjoitteiden vaikutuksia. Näin ollen se ei välttämättä toimi hyvin äänen kuormittumisen ja kuormitusta seuraavan palautumisen mittarina. SPL ja AVQI:n osaparametrit shimmer ja tilt näyttäisivät tulosten perusteella sopivan tähän tarkoitukseen parhaiten. AVQI:n ja sen parametrien kykyä havaita muutoksia terveäänisten puhujien äänessä on hyödyllistä tutkia myös jatkossa. Tutkimus auttaa ymmärtämään AVQI:n vahvuuksia ja heikkouksia sekä mahdollisesti kehittämään AVQI:a siihen suuntaan, että se tarjoaa enemmän tietoa myös terveistä äänistä. Lisäksi tutkimustieto voi auttaa kehittämään terveäänisille puhujille uusia automaattisia äänen analyysimenetelmiä.

## LÄHTEET

- Andrade, A., Wood, G., Ratcliffe, P., Epstein, R., Pijpert, A. & Svec, J. G. (2014). Electroglottographic study of seven semi-occluded exercises: LaxVox, straw, lip-trill, tongue-trill, humming, hand-over-mouth, and tongue-trill combined with hand-over-mouth. *Journal of Voice*, 28, 589–595.
- Amir, O., Amir, N. & Michaeli, O. (2005). Evaluating the influence of warm-up on singing voice quality using acoustic measures. *Journal of Voice*, 19, 252–260.
- Brockmann-Bauser, M., Bohlender, J. & Mehta, D. (2018). Acoustic perturbation measures improve with increasing vocal intensity in individuals with and without voice disorders. *Journal of Voice*, 32, 162–168.
- Dargin, C.T. & Searl, J. (2015). Semi-occluded vocal tract exercises: Aerodynamic and electroglottographic measurements in singers. *Journal of Voice*, 29, 155–164.
- Elliot, N., Sundberg, J. & Gramming, P. (1995). What happens during vocal warm-up? *Journal of Voice*, 9, 37–44.
- Faham, M., Laukkanen, A.-M., Ikävalko, T., Rantala, L., Geneid, A., Holmqvist-Jämsen, S., Ruusuvirta, K. & Pirilä, S. (2019). Acoustic voice quality index as a potential tool for voice screening. *Journal of Voice*. doi: 10.1016/j.jvoice.2019.08.017.
- Gaskill, C. & Erickson, M. (2010). The effect of an artificially lengthened vocal tract on estimated glottal contact quotient in untrained male voices. *Journal of Voice*, 24, 57–71.
- Guzmán, M., Castro, C., Testart, A., Munoz, D. & Gerhard, J. (2013). Laryngeal and pharyngeal activity during semioccluded vocal tract postures in subjects diagnosed with hyperfunctional dysphonia. *Journal of Voice*, 27, 709–716.
- Guzmán, M., Laukkanen, A.-M., Krupa, P., Horaček, J., Švec, J. G. & Geneid, A. (2013). Vocal tract and glottal function during and after vocal exercising with resonance tube and straw. *Journal of Voice*, 27, 523.e19–523.e34.
- Guzmán, M., Castro, C., Madrid, S., Olavarria, C., Leiva, M., Muñoz, D., Jaramillo, E. & Laukkanen, A.-M. (2016). Air pressure and contact quotient measures during different semioccluded postures in subjects with different voice conditions. *Journal of Voice*, 30, 759.e1–759.e10.
- Granqvist, S., Simberg, S., Hertegård, S., Holmqvist, S., Larsson, H., Lindstad P-Å., Södersten, M. & Hammarberg B. (2015). Resonance tube phonation in water: High-speed imaging, electroglottographic and oral pressure observations of vocal fold vibrations - a pilot study. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 40, 113–121.
- Hertegård, S. & Larsson, H. (2014). A portable high-speed camera system for vocal fold examinations. *Journal of Voice*, 28, 681–687.
- Hooren, Van, B. & Peake, J.M. (2018). Do we need a cool-down after exercise? A narrative review of the psychophysiological effects and the effects on performance, injuries and the long-term adaptive response. *Sport Medicine*, 48, 1575–1595.
- Hoh, J. F. Y. (2005). Laryngeal muscle fiber types. *Acta Physiologica Scandinavica*, 183, 133–149.
- Ilomäki, I., Kankare, E., Tyrmi, J., Kleemola, L. & Geneid, A. (2017). Vocal fatigue symptoms and laryngeal status in relation to vocal activity limitation and participation restriction. *Journal of Voice*, 31, 248. e7–248. e10.
- Kankare, E., Geneid, A., Laukkanen, A.-M. & Vilkmann, E. (2012). Subjective evaluation of voice and working conditions and phoniatic examination in kindergarten teachers. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 64, 12–19.
- Kankare, E., Barsties, B., Latoszek, V., Maryn, Y., Asikainen, M., Rorarius, E., Vilpas, S., Ilomäki, I., Tyrmi, J., Rantala, L. & Laukkanen, A.-M. (2019). The acoustic voice quality index version 02.02 in the Finnish-speaking population. *Logopedics Phoniatrics Vocology*. doi: 10.1080/14015439.2018.1556332.
- Kapsner-Smith, MR., Hunter, EJ., Kirkham, K., Cox, K. & Titze, I.R. A randomized controlled trial of two semi-occluded vocal tract voice therapy protocols. (2015). *Journal of Speech, Language, Hearing Research*, 58, 535–549.

- Laukkanen, A-M. (1995). *On speaking voice exercises*. Väitöskirja. Tampereen yliopisto. Acta Universitatis Tamperensis A445.
- Laukkanen, A-M., Järvinen, K., Artkoski, M., Waaramaa-Mäki-Kulmala, T., Kankare, E., Sippola, S., Syrjä, T. & Salo, A. (2004). Changes in voice and subjective sensations during a 45-min vocal loading test in female subjects with vocal training. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 56, 335–46.
- Laukkanen, A-M. & Kankare E. (2006). Vocal loading-related changes in male teachers' voice investigated before and after a working day. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 58, 229–239.
- Laukkanen, A-M., Pulakka, H., Vilkmán, E., Hertegård, S., Lindestad, P-Å., Larsson, H. & Granqvist, S. (2007). High-speed registration of phonation-related glottal area variation during artificial lengthening of the vocal tract. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 32, 157–164.
- Laukkanen, A-M., Ilomäki, I., Leppänen, K. & Vilkmán, E. (2008). Acoustic measures and self-reports of vocal fatigue by female teachers. *Journal of Voice*, 22, 283–289.
- Laukkanen, A-M., Titze, I.R., Hoffman, H. & Finnegan, E.M. (2008). Effects of a semi-occluded vocal tract on laryngeal muscle activity and glottal adduction in a single female subject. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 60, 29–311.
- Laukkanen, A-M., Horaček, J., Krupa, P. & Švec, J.G. (2012). The effect of phonation into a straw on the vocal tract adjustments and formant frequencies. A preliminary MRI study on a single subject completed with acoustic results. *Journal of Biomedical Signal Processing and Control*, 7, 50–57.
- Laukkanen, A-M., Horaček, J. & Havlík, R. (2012). Case-study magnetic resonance imaging and acoustic investigation of the effects of vocal warm-up on two voice professionals. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 37, 75–82.
- Laukkanen, A-M. (2015). Katsaus putkiin ja pilleihin ääntämisen vaikutusperusteisiin äänen harjoittamisessa ja terapiassa. *Puhe ja kieli*, 35, 105–114.
- Leppänen, K., Laukkanen, A-M., Ilomäki, I. & Vilkmán, E. (2009). A Comparison of the effects of Voice Massage™ and voice hygiene lecture on self-reported vocal well-being and acoustic and perceptual speech parameters in female teachers. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 61, 227–238.
- Lierde Van, K.M., D'haeseleer, E., Baudonck, N., Claeys, S., De Bodt M. & Behlau, M. (2011). The impact of vocal warm-up exercises on the objective vocal quality in female students training to be speech language pathologists. *Journal of Voice*, 25, 115–21.
- Maryn, Y., De Bodt, M. & Roy N. (2010). The acoustic voice quality index: Toward improved treatment outcomes assessment in voice disorders. *Journal of Communication Disorders*, 43, 161–174.
- Maryn, Y., Corthals, P., Van Cauwenberge, P., Roy, N. & Bodt, M. (2010). Toward improved ecological validity in the acoustic measurement of overall voice quality: Combining continuous speech and sustained vowels. *Journal of Voice*, 24, 540–555.
- Maryn, Y. & Weenink, D. (2015). Objective dysphonia measures in the program Praat: Smoothed cepstral peak prominence and Acoustic Voice Quality Index. *Journal of Voice*, 29, 35–43.
- Milbrath, R. L. & Solomon N.P. (2003). Do vocal warm-up exercises alleviate vocal fatigue? *Journal of Speech, language, and Hearing Research*, 46, 422–436. doi:10.1044/1092-4388(2003/035).
- Maxfield, L. Titze, I., Hunter, E. & Kapsner-Smith, M. R. (2015). Intraoral pressures produced by thirteen semi-occluded vocal tract gestures. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 40, 86–92.
- Motel, T., Fisher, K.V. & Leydon, C. (2003). Vocal warm-up increases phonation threshold pressure in soprano singers at high pitch. *Journal of Voice*, 17, 160–167.
- Niebudek-Boguesz, E., Fiszler, M., Kotylo, P. & Sliwiska-Kowalska, M. (2006). Diagnostic value of voice acoustic analysis in assessment of occupational voice pathologies in teachers. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 31, 100–106.
- Paes, S.M., Zambon, F., Yamasaki, R., Simberg, S. & Behlau, M. (2013). Immediate effects of the Finnish resonance tube method on behavioral dysphonia. *Journal of Voice*, 27, 717–722.
- Priss, I., Hosemann, W., Barsties v. Latoszek, B. & Lehnert, B. (2018). Correlation between dysphonia and voice self-concept. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 97, 304–305.

- Ragan, K. (2016). The impact of vocal cool-down exercises: a subjective study of singers' and listeners' perceptions. *Journal of Voice*, 30, 764. e1-764.e9.
- Rantala, L. & Vilkmán, E. (1999). Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in teachers' voices. *Journal of Voice*, 13, 484–495.
- Rantala, L., Vilkmán, E. & Bloigu, R. (2002). Voice changes during working: Subjective complaints and objective measurements for female primary and secondary schoolteachers. *Journal of Voice*, 16, 344–355.
- Remacle, A., Garnier, M., Gerber, S., David, C. & Petillion, C. (2018). Vocal change patterns during a teaching day: inter- and intra-subject variability. *Journal of Voice*, 32, 57–63.
- Rima, A., DeFatta, R.A. & Sataloff, R.T. (2012). The value of vocal warm-up and cool-down exercises: Questions and controversies. *Journal of Singing*, 1, 173–175.
- Simberg, S., Sala, E., Tuomainen, J., Sellman, J. & Rinnemaa, A-M. (2006). The effectiveness of group therapy for students with mild voice disorders: A controlled clinical trial. *Journal of Voice*, 20, 97–109.
- Smerdu, V. & Cvetko, E. (2013). Myosin heavy chain-2b transcripts and isoform are expressed in human laryngeal muscles. *Cells, Tissues, Organs*, 198, 75–86.
- Södersten, M., Granqvist, S., Hammerberg, B. & Szabo, A. (2002). Vocal behavior and vocal loading factors for preschool teachers at work studied with binaural DAT recordings. *Journal of Voice*, 16, 356–371.
- Titze, I.R. (2000). *Principles of Voice Production* (2. painos). Iowa: National Center for Voice and Speech.
- Titze, I.R. (2001). The five best vocal warm-up exercises. *Journal of Singing*, 57, 51–52.
- Titze, I.R. (2006). Voice training and therapy with a semi-occluded vocal tract: Rationale and scientific underpinnings. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 49, 448–459.
- Titze, I.R. (2008). Nonlinear source-filter coupling in phonation: Theory. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123, 2733–2749.
- Titze, I.R., Riede, T. & Popolo, P. (2008). Nonlinear source-filter coupling in phonation: Vocal exercises. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123, 1902–1915.
- Tyrmi, J., Horáček, J., Krupa, P., Havlík, R. & Laukkanen, A-M. (2015). Alanielun ja kurkunpään ääntöväylän pinta-alojen suhde ääniharjoituksissa ja vokaaleissa. Tapaustutkimus magneettiresonanssikuvauksen avulla. *Puhe ja kieli*, 35, 115–125.
- Verdolini-Marston, K., Sandage, M., Titze, I. R. (1994). Effect of hydration treatments on laryngeal nodules and polyps and related voice measures. *Journal of Voice*, 8, 30–47.
- Vintturi, J. (2001) *Studies on voice production*. Väitöskirja. Helsingin yliopisto. Ordo Medicorum Universitatis Helsingiensis.
- Vintturi, J., Alku, P., Lauri, E-R., Sala, E., Sihvo, M. & Vilkmán, E. (2001). Objective analysis of vocal warm-up with special reference to ergonomic factors. *Journal of Voice*, 15, 36–53.
- Vintturi, J., Laukkanen, A-M., Siikki, I., Lukkarila, P. & Vilkmán E. (2001). Perceptual changes in speaking voice after 45 minute vocal loading. *Proceedings of the Vth International Conference Advances in Quantitative Laryngology*.
- Yiu, E. M. & Chan, R. M. (2003). Effect of hydration and vocal rest on the vocal fatigue in amateur karaoke singers. *Journal of Voice*, 17, 216–27.



LIITE 1. AVQI:n ja sen osaparametrien ja SPL:n keskiarvot ja hajonnat KA(KH) ennen kuormitusta (I), kuormituksen jälkeen (II), palautumisharjoituksen jälkeen (III) ja loppulevon jälkeen (IV), (vesivastusryhmä n = 10, nasaaliryhmä n = 10 ja leporyhmä n = 10).

AVQI	I	II	III	IV
Vesivastusryhmä	1,91(0,79)	1,92(0,47)	1,62(0,61)	1,64(0,52)
Nasaaliryhmä	1,88(0,59)	1,76(0,70)	1,9(0,64)	2,07(0,64)
Leporyhmä	1,66(0,56)	2,08(0,34)	1,69(0,58)	1,9(0,58)
<b>Kaikki tutkittavat</b>	<b>1,82(0,64)</b>	<b>1,91(0,53)</b>	<b>1,74(0,60)</b>	<b>1,88(0,48)</b>
<b>CPPS (dB)</b>				
Vesivastusryhmä	15,10(1,39)	14,76(1,65)	15,27(1,54)	14,91(1,40)
Nasaaliryhmä	15,35(1,24)	15,21(1,23)	16,23(3,44)	14,69(0,67)
Leporyhmä	15,17(0,95)	14,82(0,87)	15,01(1,40)	14,92(1,29)
<b>Kaikki tutkittavat</b>	<b>15,18(1,16)</b>	<b>14,91(1,27)</b>	<b>15,50(2,31)</b>	<b>14,84(1,12)</b>
<b>HNR (dB)</b>				
Vesivastusryhmä	21,61(3,14)	21,54(2,57)	23,04(2,06)	23,36(2,08)
Nasaaliryhmä	21,36(1,24)	21,55(1,85)	22,11(1,95)	21,06(1,69)
Leporyhmä	22,76(1,60)	20,83(3,39)	22,48(1,76)	22,50(2,17)
<b>Kaikki tutkittavat</b>	<b>21,91(2,17)</b>	<b>21,32(2,58)</b>	<b>22,54(1,90)</b>	<b>22,27(2,14)</b>
<b>Shimmer (%)</b>				
Vesivastusryhmä	4,11(1,79)	4,20(1,20)	3,52(0,93)	3,68(1,36)
Nasaaliryhmä	3,80(0,57)	4,58(0,67)	4,19(0,81)	4,28(0,61)
Leporyhmä	3,15(0,57)	4,30(1,28)	3,32(0,70)	3,33(0,88)
<b>Kaikki tutkittavat</b>	<b>3,69(1,15)</b>	<b>4,36(1,05)</b>	<b>3,67(0,88)</b>	<b>3,77(1,03)</b>
<b>Shimmer (dB)</b>	-21			
Vesivastusryhmä	0,44(0,15)	0,43(0,10)	0,37(0,13)	0,38(0,11)
Nasaaliryhmä	0,40(0,05)	0,45(0,07)	0,44(0,08)	0,42(0,07)
Leporyhmä	0,36(0,04)	0,46(0,10)	0,36(0,05)	0,38(0,08)
<b>Kaikki tutkittavat</b>	<b>0,40(0,10)</b>	<b>0,44(0,09)</b>	<b>0,39(0,08)</b>	<b>0,39(0,08)</b>
<b>Slope (dB)</b>				
Vesivastusryhmä	-20,39(3,62)	-20,48(4,31)	-21,93(3,46)	-21,78(2,93)
Nasaaliryhmä	-21,19(2,26)	-20,93(2,94)	-2158(3,38)	-21,441(2,78)
Leporyhmä	-20,20(3,07)	-19,52(3,47)	-20,37(4,64)	-20,86(4,42)
<b>Kaikki tutkittavat</b>	<b>-20(2,96)</b>	<b>-20,34(3,54)</b>	<b>-21,30(3,80)</b>	<b>-21,33(3,37)</b>
<b>Tilt (dB)</b>				
Vesivastusryhmä	-12,71(0,56)	-12,71(0,60)	-12,66(0,62)	-12,59(0,62)
Nasaaliryhmä	-12,71(0,70)	-12,80(0,74)	-12,42(0,72)	-12,45(0,72)
Leporyhmä	-12,90(0,43)	-13,09(0,50)	-12,84(0,42)	-12,69(0,51)
<b>Kaikki tutkittavat</b>	<b>-12,77(0,56)</b>	<b>-12,86(0,63)</b>	<b>-12,64(0,61)</b>	<b>-12,58(0,61)</b>
<b>SPL luenta (dB)</b>				
Vesivastusryhmä	66,39(2,76)	66,79(2,51)	66,73(2,51)	66,99(2,59)
Nasaaliryhmä	65,00(3,98)	65,66(3,76)	64,84(3,39)	64,64(3,99)
Leporyhmä	66,30(2,83)	67,67(2,35)	66,06(2,95)	66,04(2,97)
<b>Kaikki tutkittavat</b>	<b>65,86(3,15)</b>	<b>66,64(2,93)</b>	<b>65,87(2,95)</b>	<b>65,82(3,24)</b>

**ACOUSTIC VOICE QUALITY INDEX TO MEASURE STRAINING AND RECOVERY.****Semioclusions and voice rest as recovery exercises**

*Jaana Tyrmi, Speech and Voice Research Laboratory, Tampere University,*

*Faculty of Social Studies/Health Sciences*

*Tero Ikävalko, Speech and Voice Research Laboratory, Tampere University,*

*Faculty of Social Studies/Health Sciences*

This study examined how AVQI responds to vocal loading and following recovery. The effects of recovery were also compared between two active recovery exercise groups (water resistance therapy and nasal exercise) and one control group (silent rest). Each of the 30 participants first read a random passage of text loudly (15 min.) as a vocal loading task. Thereafter the participants were divided into three groups according to the three recovery methods. The final phase of the study consisted of 10 minutes of passive rest for each group. Recordings were made before and after loading, active recovery, and passive recovery. AVQI and Sound Pressure Level (SPL) were analyzed from the recordings. Vocal straining significantly increased perturbation (shimmer) and SPL. After the straining, the change in spectral Tilt correlated negatively with subjective straining sensations. After recovery, shimmer decreased and harmonics-to-noise ratio and Tilt increased. The three recovery groups differed significantly from each other in regard to how SPL changed during the recovery periods (RM-ANOVA,  $F(2, 25)$ ,  $p = 0,038$ ). SPL increased in water resistance group and decreased in the other groups. The increase in water resistance group may reflect higher subglottic pressure or lowered phonation threshold. Water bubbling in water resistance therapy may have massage like effects on vocal fold tissue and increase blood flow, thus speeding up recovery.

**Keywords:** active recovery, AVQI, passive recovery, vocal straining