

Jenniliisa Kontsas ja Miia Luoto-Ellä

**PUHETEHTÄVÄN VAIKUTUS  
VOKAALIARTIKULAATIOON JA ÄÄNEN  
VOIMAKKUUTEEN PARKINSONIN TAUDISSA**

Yhteiskuntatieteiden tiedekunta  
Logopedian pro gradu -tutkielma  
Joulukuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Jenniliisa Kontsas ja Miia Luoto-Ellä: Puhetehtävän vaikutus vokaaliartikulaatioon ja äänen voimakkuuteen Parkinsonin taudissa  
Pro gradu -tutkielma  
Tampereen yliopisto  
Logopedian tutkinto-ohjelma  
Joulukuu 2023

---

Parkinsonin tautiin liittyviä tyypillisiä muutoksia puheessa kutsutaan hypokineettiseksi dysartriaksi, jonka seurauksena puheen ymmärrettävyys heikkenee. Vokaaliartikulaation tarkkuus vaikuttaa osaltaan puheen ymmärrettävyyteen ja sitä voidaan tutkia akustisesti vokaalien ensimmäisen ja toisen formantin (F1, F2) taajuuksista. Vokaaliartikulaatioindeksi (VAI) on menetelmä, joka on erotellut Parkinsonin tautia sairastavat terveistä verrokeista, ja joissain tutkimuksissa muutoksia on ollut havaittavissa jo ennen sairauden diagnosointia. Aiemmissä tutkimuksissa on saatu viitteitä myös siitä, että puhetehtävä voi vaikuttaa niin Parkinsonin tautia sairastavien kuin neurologisesti terveiden henkilöiden puheen ymmärrettävyyteen. Myös puheäänen voimakkuus, jota voidaan tutkia akustisesti äänenpainetasoa (SPL) mittaamalla, vaikuttaa puheen ymmärrettävyyteen. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin puhetehtävien välisiä eroja Parkinsonin tautia sairastavilla ja neurologisesti terveillä sekä ryhmien välisiä eroja. Lisäksi tutkittiin VAI:n ja SPL:n yhteyttä.

Tutkimus toteutettiin kvantitatiivisena poikittaistutkimuksena, jossa käytettiin Tampereen yliopiston AAVISTUS-tutkimushankkeen alkumittauksissa vuosina 2022–2023 kerättyä aineistoa. Aineisto koostui 10 Parkinsonin tautia sairastavan ja 10 neurologisesti terveen ikääntyvän naisen luenta- ja spontaanipuhennytytteistä. Jokaisesta puhennytytteestä valittiin analysoitavaksi 10 kappaletta vokaaleja /a/, /i/ ja /u/, joista mitattiin formanttiarvot F1 ja F2 ja näiden keskiarvoista laskettiin VAI-arvot. Lisäksi puhennytytteistä mitattiin keskimääräiset äänenpainetasot. Puhetehtävien ja ryhmien välisiä eroja sekä VAI:n ja SPL:n yhteyttä tarkasteltiin tilastollisin menetelmin.

Tutkimuksessa sekä Parkinsonin tautia sairastavien että terveiden henkilöiden VAI-arvot olivat ryhmätasolla tilastollisesti merkitsevästi matalampia spontaani- kuin luentapuheessa ( $p = ,013$ ;  $p = ,047$ ). Ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja vokaaliartikulaation tarkkuudessa eikä äänenpainetasoissa. VAI:n ja SPL:n muutoksella puhetehtävien välillä havaittiin Parkinsonin tautia sairastavilla heikko positiivinen lineaarinen riippuvuus, joka ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $r_s = ,479$ ,  $p = ,162$ ). Neurologisesti terveillä havaittiin puolestaan tilastollisesti merkitsevä negatiivinen lineaarinen riippuvuus ( $r_s = - ,673$ ,  $p = ,033$ ). Tutkittavien vähäisen lukumäärän vuoksi tulokset eivät ole yleistettävissä. Tutkimus tuotti kuitenkin uutta tietoa suomenkielisten varhaisvaiheen Parkinsonin tautia sairastavien ja neurologisesti terveiden naisten vokaaliartikulaation tarkkuudesta sekä puhetehtävän vaikutuksesta siihen. Tutkimuksen perusteella puhetehtävä saattaa vaikuttaa sekä Parkinsonin tautia sairastavien että terveiden henkilöiden vokaaliartikulaatioon, mutta vokaaliartikulaatioon vaikuttavista tekijöistä tarvitaan lisää tutkimusta.

Avainsanat: Parkinsonin tauti, hypokineettinen dysartria, vokaaliartikulaatio, vokaaliartikulaatioindeksi, puhetehtävä, äänenpainetaso

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	1
2 KIRJALLISUUSKATSAUS .....	3
2.1 Idiopaattinen Parkinsonin tauti ja hypokineettinen dysartria .....	3
2.2 Ikääntymisen ja Parkinsonin taudin vaikutukset artikulaatioon.....	5
2.3 Puhetehtävän vaikutus artikulaatioon.....	8
2.4 Äänen voimakkuuden yhteys artikulaatioon .....	10
2.5 Vokaaliartikulaation akustinen mittaaminen.....	13
3 TUTKIMUKSEN TAVOITE JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	16
4 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	17
4.1 Tutkittavat .....	17
4.2 Aineiston muodostuminen.....	18
4.3 Aineiston analyysi .....	18
4.4 Tilastollinen analyysi .....	20
4.5 Tutkimuksen eettisyys.....	20
5 TULOKSET .....	21
5.1 Vokaaliartikulaation erot puhetehtävien ja ryhmien välillä .....	21
5.2. Äänenpainetasojen erot ja yhteys vokaaliartikulaatioindeksiin .....	25
6 POHDINTA .....	26
6.1 Tulosten tarkastelu .....	26
6.1.1 Vokaaliartikulaation erot puhetehtävien välillä.....	26
6.1.2 Vokaaliartikulaation erot ryhmien välillä.....	28

6.1.3 Äänenpainetasojen erot ja yhteys vokaaliartikulaatioindeksiin .....	29
6.2 Menetelmän pohdinta .....	31
6.3 Työn kliininen merkitys ja jatkotutkimusaiheita .....	33
7 LÄHDELUETTELO.....	36

Liite. Pohjantuuli ja aurinko -luentateksti

# 1 JOHDANTO

Parkinsonin tauti on maailmanlaajuisesti yksi yleisemmistä etenevistä neurologisista sairauksista (Abate ym., 2017), joka vaikuttaa sairastuneiden elämänlaatuun (Kurihara ym., 2020) sekä alentaa kommunikointikykyä ja -aktiivisuutta (Miller, 2017; Schalling ym., 2018). Parkinsonin tautiin liittyy tyypillisesti hypokineettiseksi dysartriaksi kutsuttuja puheoireita (Duffy, 2020, s. 159), joiden seurauksena puheen ymmärrettävyys heikkenee (Miller ym., 2007). Yksi puheen ymmärrettävyyteen vaikuttavista tekijöistä on vokaaliartikulaation tarkkuus, jota voidaan tutkia akustisesti vokaalien formanttiarvoja mittaamalla (Kent & Rountrey, 2020). Vokaaliartikulaatioindeksi (VAI) on vokaaliartikulaation tarkkuuden akustiseen mittaamiseen kehitetty menetelmä (Sapir ym., 2011), jolla on saatu eroteltua Parkinsonin tautia sairastavat neurologisesti terveistä henkilöistä (Penttilä ym., 2022; Rusz ym., 2013b; Sapir ym., 2011; Skodda ym., 2012; Skodda ym., 2011b; Skrabal ym., 2022). Myös puheäänen voimakkuus vaikuttaa puheen ymmärrettävyyteen ja artikulaatioon, ja äänen voimakkuuden on todettu laskevan Parkinsonin taudin seurauksena (Ho ym., 1998).

Parkinsonin tautiin liittyvät vokaaliartikulaation muutokset voivat olla akustisesti mitattavissa jo ennen kuin puheen ymmärrettävyys heikkenee kuulonvaraisesti arvioituna (Rusz ym., 2013b), ja jopa ennen taudin motoristen oireiden ilmenemistä (Skrabal ym., 2022). Akustista analyysia voitaisiinkin mahdollisesti hyödyntää taudin diagnostiikan tukena. Tällä hetkellä Parkinsonin tauti pystytään diagnosoimaan vasta kun sairauden aiheuttamat muutokset ovat edenneet jo pitkälle (Braak ym., 2003). Kuitenkin diagnosointi mahdollisimman varhain olisi tärkeää, jotta hoito päästäisiin aloittamaan ajoissa toimintakyvyn ylläpitämiseksi (Forsaa ym., 2010; Schenkman ym., 2018). Aiemmissa tutkimuksissa on saatu tietoa tsekinkielisten varhaisvaiheen Parkinsonin tautia sairastavien miesten vokaaliartikulaatiosta (Rusz ym., 2013b; Skrabal ym., 2022). VAI-arvoissa on kuitenkin havaittu sukupuoli- ja kielikohtaista vaihtelua (Penttilä ym., 2022; Skodda ym., 2011b), mutta varhaisvaiheen Parkinsonin tautia sairastavista naisista eikä suomenkielisistä henkilöistä ole tutkimusta. Kliinisessä työssä käytetään erilaisia puhetehtäviä, ja puhetehtävä voi osaltaan vaikuttaa Parkinsonin tautia sairastavien puheen ymmärrettävyyteen (Johansson ym., 2022; Kempler & Van Lancker, 2002; Sidtis ym., 2012). Puhetehtävän vaikutusta vokaaliartikulaatioindeksiin ei kuitenkaan ole tutkittu suomenkielisillä henkilöillä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa tietoa Parkinsonin tautia sairastavien ja neurologisesti terveiden henkilöiden vokaaliartikulaatioindeksin ja formanttien eroista luenta- ja spontaanipuheessa. Lisäksi tutkitaan vokaaliartikulaation ja puheäänen voimakkuuden mahdollista yhteyttä

puhetehtävittäin ja ryhmittäin. Puhetehtävien ja tutkimusryhmien välisiä eroja tarkastellaan tilastollisin menetelmin. Tutkimuksesta saadaan uutta tietoa suomenkielisten varhaisvaiheen Parkinsonin tautia sairastavien ja neurologisesti terveiden ikääntyvien naisten vokaaliartikulaation tarkkuudesta sekä puhetehtävän mahdollisesta vaikutuksesta siihen.

## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 Idiopaattinen Parkinsonin tauti ja hypokineettinen dysartria

Parkinsonin tauti on maailmanlaajuisesti toiseksi yleisin etenevä neurologinen sairaus (Abate ym., 2017), jota sairastavia henkilöitä on Suomessa noin 16 000 (Liikehäiriösairauksien liitto, n.d.a). Taudin ilmaantuvuus on suurimmillaan 70–79 vuoden iässä, vaikka alle 30-vuotiaanakin sairastuminen on mahdollista (Hirsch ym., 2016). Parkinsonin taudin etenemisnopeus ja sen myötä oirekuva vaihtelee (Armstrong & Okun, 2020), mutta elinaika motoristen oireiden alusta on keskimäärin 16 vuotta ja se voi vaihdella vuosista vuosikymmeniin (Forsaa ym., 2010). Sairauden etiologia ei ole selvä, mutta sen seurauksena erityisesti mustatumakkeen alueen dopamiinisolut tuhoutuvat vähitellen aiheuttaen Parkinsonin taudille tyypillisiä motorisia oireita (Armstrong & Okun, 2020). Näitä keskeisiä oireita ovat liikkeiden jäykkyys ja hitaus, liikeratojen kaventuminen, lepovapina sekä asennon ylläpitämisen ja vaihtamisen vaikeudet. Tautiin voi liittyä myös useita muita oireita, kuten puheoireita, nielemisvaikeuksia, mielenterveyshäiriöitä, autonomisen hermoston toiminnan häiriöitä, haju- ja hajuaistin heikkenemistä, unihäiriöitä ja kognitiivista heikentymistä (Armstrong & Okun, 2020). Lievä kognitiivinen heikentyminen (engl. mild cognitive impairment, MCI) onkin yleistä jo diagnosointivaiheessa (Yarnall ym., 2014), ja Parkinsonin tauti aiheuttaa edetessään suurelle osalle muistisairausten (Aarsland ym., 2003). Parkinsonin taudille tyypillisiä oireita voivat aiheuttaa myös muut aivojen syviä osia vaurioittavat sairaudet, kuten etenevä supranukleaarinen halvaus, monisysteemiatrofia ja kortikobasaalinen degeneraatio (Armstrong & Okun, 2020). Idiopaattisen Parkinsonin taudin erottaminen muista samankaltaisista oireista aiheuttavista sairauksista on haastavaa, koska diagnoosi tehdään haastattelun ja kliinisen arvion perusteella ilmenneistä oireista. Motoristen oireiden lisäksi muidenkin oireiden tunnistaminen olisi tärkeää diagnostiikan ja hoidon kannalta, mutta ne jäävät usein huomiotta (Ziemssen & Reichmann, 2006). Kuitenkin muut oireet vaikuttavat Parkinsonin tautia sairastavien henkilöiden elämänlaatuun motoristen oireiden ohella (Kurihara ym., 2020) ja aiheuttavat jopa enemmän haittaa toimintakyvylle (Hely ym., 2005).

Tyypillisiä Parkinsonin tautiin liittyviä puheoireita kutsutaan hypokineettiseksi dysartriaksi (Duffy, 2020, s. 159), jossa puheliikkeiden jäykkyys ja liikelaajuuksien kaventuminen johtaa epätarkkaan artikulaatioon (Duffy, 2020, s. 170–174). Lisäksi puherytmi ja nopeus saattavat vaihdella, ja ääni hiljenee ja puhe muuttuu monotoniseksi. Parkinsonin tautia sairastavat kokevat yleisesti puheen ja kommunikoinnin ongelmia jo taudin varhaisessa vaiheessa, ja negatiiviset käsitykset omasta kommunikointikyvystä voivat johtaa kommunikointiaktiivisuuden vähenemiseen (Schalling ym.,

2018; Watts & Zhang, 2022). Parkinsonin tautiin liittyvät muutokset puheessa ja äänessä johtavat myös puheen ymmärrettävyyden heikkenemiseen (Miller ym., 2007), mutta sairaus saattaa vaikuttaa negatiivisesti henkilön käsitykseen itsestään puhujana jo ennen tätä (Miller, 2017). Tutkimustieto mahdollisista sukupuolten välisistä eroista Parkinsonin tautiin liittyvissä puheoireissa on vähäistä, mutta naisten ja miesten välillä on havaittu joitain eroja (Rusz ym., 2022; Skodda ym., 2011a; Tavi & Penttilä, 2023). Varsinaisia sukupuolispesifejä oireita tutkimuksissa ei kuitenkaan havaittu. Puheoireita esiintyy noin 75 %:lla Parkinsonin tautiin sairastuneista ja pitkälle edenneessä taudissa 90 %:lla (Ho ym., 1998). Äänen hiljeneminen kuulonvaraisesti arvioituna on yleistä jo sairauden lievässä vaiheessa, ja taudin edetessä myös prosodian ja artikulaation muutokset yleistyvät. Kuitenkin artikulaation muutoksia voidaan mitata akustisesti jo taudin varhaisessa vaiheessa (Rusz ym., 2013b), ja mahdollisesti jopa ennen diagnoosiin johtavia oireita (Skrabal ym., 2022). Varhain ilmaantuvilla puheoireilla on havaittu yhteys nopeampaan kognitiiviseen heikentymään, autonomisen hermoston toiminnan häiriöihin ja unihäiriöihin, jotka ennustavat myös taudin nopeampaa etenemistä (Polychronis ym., 2019).

Parkinsonin taudin oireita voidaan hoitaa lääkityksellä ja kuntoutuksella (Armstrong & Okun, 2020). Lääkehoitona käytetään eri tavoin dopamiinijärjestelmään vaikuttavia lääkkeitä, ja lääkitys suunnitellaan yksilöllisesti (Armstrong & Okun, 2020). Mikäli lääkehoito on tehotonta tai sen vaikutus heikkenee, voidaan käyttää syväaivostimulaatiota, jossa aktivoidaan aivojen syviä osia sähkövirran avulla. Lääkityksen ja syväaivostimulaation vaikutukset puheeseen ovat epäselviä ja vaihtelevia: tutkimuksissa on havaittu sekä puheen kohenemistä että heikkenemistä, mutta on myös mahdollista, ettei niillä ole vaikutusta puheeseen (Armstrong & Okun, 2020; Brabenec ym., 2017; Rusz ym., 2013a; Tripoliti ym., 2014; Tykalova ym., 2015; Vandana ym., 2021). Lisäksi toimintakykyä voidaan ylläpitää fyysisellä harjoittelulla, fysioterapialla ja puheterapialla (Armstrong & Okun, 2020). Puheterapiassa tavoitteena on puheen selkiytyminen ja ymmärrettävyyden koheneminen, johon pyritään voimistamalla ääntä, hidastamalla puhenopeutta ja harjoittelemalla prosodiaa (Tjaden ym., 2013, Yorkston ym., 2007). Äänen voimistamiseen tähtäävä kuntoutus voi vaikuttaa myös artikulaatioon (Martel Sauvageau ym., 2015; Sapir ym., 2007). Puheterapian on todettu vaikuttavan suotuisasti Parkinsonin tautia sairastavien äänenpainetasoon ja puheen ymmärrettävyyteen (Muñoz-Vigueras ym., 2021).

Kuntoutus on tärkeä osa Parkinsonin taudin hoitoa (Armstrong & Okun, 2020) ja sillä voidaan ylläpitää ja palauttaa toimintakykyä tehokkaasti (Schenkman ym., 2018). Äänen voimistamiseen



tähtävällä puheterapiakuntoutuksella on saatu positiivisia tuloksia, ja vaikutukset voivat pysyä jopa kaksi vuotta kuntoutuksesta (Ramig ym., 2018; Ramig ym., 2001). Toimintakyvyn ylläpitämiseksi kuntoutus tulisi aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, ja myös elinaikaan vaikuttaviin tekijöihin pystyttäisiin vaikuttamaan varhaisella hoidon aloituksella (Forsaa ym., 2010). Kuntoutuksen varhaisen aloittamisen mahdollistaisi varhainen diagnosointi. Kuitenkin tällä hetkellä diagnoosi tehdään motoristen oireiden perusteella, jotka ilmaantuvat, kun taudin aiheuttamat solutuhot ovat edenneet jo pitkälle (Braak ym., 2003), ja premotorisia oireita on saattanut esiintyä useita vuosia (Armstrong & Okun, 2020). Viime aikoina on tutkittu Parkinsonin tautiin ennen motoristen oireiden ilmenemistä liittyviä puheen muutoksia, joita tunnistamalla voitaisiin mahdollisesti aikaistaa diagnoosia ja saada eroteltua idiopaattinen Parkinsonin tauti muista sairauksista (Daoudi ym., 2022; dos Santos ym., 2023; Kodali ym., 2024; Roland ym., 2023; Ruzs ym., 2023; Skrabal ym., 2022). Lisäksi tutkimuksissa on pyritty löytämään akustisia biomarkkereita dysartrian tunnistamiseen ja vaikeusasteen määrittelyyn, mikä olisi tärkeää kuntoutuksen suunnittelun ja vaikuttavuuden arvioinnin sekä Parkinsonin taudin etenemisen seurannan kannalta.

## **2.2 Ikääntymisen ja Parkinsonin taudin vaikutukset artikulaatioon**

Puheen ymmärrettävyys (engl. speech intelligibility) on keskeistä kommunikoinnin onnistumisen kannalta, ja tutkimustiedon mukaan sen arviointi ja kuntoutus on tärkeää Parkinsonin tautia sairastavilla (Miller ym., 2011). Tässä tutkimuksessa puheen ymmärrettävyydellä tarkoitetaan ilmaisun rekonstruktiota akustis-foneettisella tasolla (Pomme ym., 2022). Ymmärrettävyyteen liittyvä informaatio välittyy siis akustisen signaalin kautta. Vokaaliartikulaation tarkkuus vaikuttaa osaltaan puheen ymmärrettävyyteen (Kent & Rountrey, 2020), ja dysartriasta johtuvan vokaaliartikulaation epätarkkuuden onkin todettu heikentävän puheen ymmärrettävyyttä (Kim ym., 2011; Lansford & Liss, 2014).

Vokaalit tunnistetaan kuulonvaraisesti pääasiassa niiden ensimmäisen ja toisen formantin (F1, F2) taajuuksien perusteella (Iivonen, 2012). Formanteilla tarkoitetaan ääntöväylän resonansseista johtuvia yläsävellen taajuustihentymiä. Artikulaatioliikkeet vaikuttavat formanttien taajuuksiin siten, että F1 on käänteisesti verrannollinen kielen korkeuteen ja F2 on suoraan verrannollinen kielen etisyyteen (Kent & Rountrey, 2020). Huulten pyöristys laskee kaikkia formanttitaajuuksia. Kulmavokaaleiksi kutsutaan äänteitä, joissa kielen asento on äärimmillään suhteessa muihin

vokaaleihin (Hodge, 2012). Maailman kielissä yleisesti esiintyviä kulmavokaaleita ovat /a/, /i/ ja /u/ (Kent & Rountrey, 2020). Vokaaliartikulaation epätarkkuus ilmenee akustisesti formanttien sentralisaationa (Ciocca & Whitehill, 2012). Tällöin matalataajuisten formanttien arvot nousevat ja korkeataajuisten puolestaan laskevat, eli eri vokaaliäänteet muuttuvat enemmän toistensa kaltaisiksi. Tietyn vokaaliäänteen formanttiarvoissa esiintyy myös luonnollista vaihtelua johtuen kontekstuaalisista ja puhujasta riippuvista tekijöistä. Näitä ovat vokaalin painollisuus, ympäröivät konsonantit ja puhuttu kieli (Iivonen, 2012) sekä mahdollisesti myös puhujan käyttämä murre (Williams & Escudero, 2014). Lisäksi puhujan yksilölliset ominaisuudet, kuten sukupuoli ja ikä, vaikuttavat formanttiarvoihin: naisten formanttiarvot ovat keskimäärin korkeampia kuin miesten, ja formanttiarvoissa tapahtuu muutoksia iän myötä (Kent & Vorperian, 2018).

Ikääntymiseen liittyvät anatomiset ja fysiologiset muutokset vaikuttavat myös puheeseen (Zraick ym., 2006), ja ikääntymisen onkin havaittu aiheuttavan muutoksia ääneen, artikulaatioon ja puhemotoriikkaan (Bilodeau-Mercure & Tremblay, 2016; Rojas ym., 2020; Stathopoulos ym., 2011; Taylor ym., 2020; Tremblay ym., 2019). Myös puheen ymmärrettävyys voi heikentyä ikääntymiseen liittyvien muutosten seurauksena (Kuruvilla-Dugdale ym., 2020). Ikääntymisen vaikutuksia vokaaliartikulaatioon akustisesti mitattuna on kuitenkin tutkittu enimmäkseen pienillä aineistoilla ja tulokset ovat vaihtelevia.

Nuorten ja ikääntyvien aikuisten formanttiarvoissa on havaittu eroja, mutta tulokset eroavat muutosten suunnan ja sukupuolten välisten erojen osalta. Joissain tutkimuksissa iäkkäillä henkilöillä, erityisesti miehillä, on havaittu vokaalien sentralisaatiota (Rastatter & Jacques, 1990; Rastatter ym., 1997), mutta myöhemmistä tutkimuksista ainoastaan Albuquerqueen ja kollegoiden (2023) tulokset ovat samansuuntaisia miesten osalta. Heidän tutkimuksessaan ei kuitenkaan havaittu vastaavia eroja eri ikäisten naisten välillä, joilla formanttitaajuudet vaikuttivat yleisesti laskevan iän myötä. Myös muissa tutkimuksissa ikääntyneiden henkilöiden, erityisesti naisten, formanttiarvot ovat olleet matalampia kuin nuorilla aikuisilla (Eichhorn ym., 2018; Xue & Hao, 2003). Etenkin /u/-vokaalin F2-arvon on havaittu olevan sekä iäkkäillä naisilla että miehillä matalampi kuin nuorilla (Eichhorn ym., 2018; Tykalova ym., 2021). Iän myötä tulevat muutokset vaikuttaisivat tapahtuvan vähitellen keski-ikään mennessä, sillä yli 60-vuotiaiden välillä ei ole havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja formanttiarvoissa (Fletcher ym. 2015; Sebastian ym., 2012), kuten ei myöskään keski-ikäisten ja ikääntyneiden välillä (Eichhorn ym., 2018). On kuitenkin huomioitava, että tutkimusten menetelmälliset erot esimerkiksi vertailluissa ikäryhmissä, puhetehtävissä ja analysoiduissa

vokaaleissa heikentävät tulosten vertailtavuutta. Lisäksi aiheesta ei ole juurikaan pitkittäistutkimusta, jolla voitaisiin selvittää todellisia ikääntymisen myötä tapahtuvia muutoksia.

Vaikka ikääntymisellä on erilaisia vaikutuksia puheeseen ja ääneen, iän myötä tapahtuvat muutokset vokaalien formanttiarvoissa vaikuttaisivat olevan vähäisiä. Moreno-Torresin ja Navan (2020) tutkimus antoikin viitteitä siitä, että ikääntyminen vaikuttaa enemmän konsonantti- kuin vokaaliartikulaatioon. Toisaalta ikääntymisen aiheuttamia anatomisia ja fysiologisia muutoksia voidaan mahdollisesti kompensoida hidastamalla artikulaationopeutta, mikä voi auttaa säilyttämään artikulaatiotarkkuuden (Fletcher ym., 2015; Tykalova ym., 2021). Tutkimusten perusteella ikääntymisen liittyvät vähäiset muutokset vokaalien formanttiarvoissa eivät ainakaan naisilla ole sentralisaation suuntaisia (Albuquerque ym., 2023; Tykalova ym., 2021). Vokaalien sentralisaatiota kuvaavan mittarin voitaisiin siten olettaa erottelevan neurologisesti terveet ikääntyvät Parkinsonin tautia sairastavista, joilla sairauteen liittyvät muutokset puheessa aiheuttavat tyypillisesti vokaalien sentralisaatiota (Penttilä ym., 2022; Ruzs ym., 2013b; Sapir ym., 2011; Sapir ym., 2007; Skodda ym., 2012; Skodda ym., 2011b).

Parkinsonin tautia sairastavilla yleisen hypokineettisen dysartrian oireistoon kuuluu vokaaliartikulaation epätarkkuus, joka saattaa olla akustisesti mitattavissa jo ennen kuulonvaraisesti havaittavia muutoksia puheessa (Ruzs ym., 2013b). Etenkin F2/u/-arvo sekä F2/i/- ja F2/u/-formanttiarvojen suhde ovat aiemmissa tutkimuksissa erotelleet Parkinsonin tautia sairastavat neurologisesti terveistä (Ruzs ym., 2013b; Sapir ym., 2007), kun taas /a/:n formanttiarvoissa ei vaikuta tapahtuvan juuri muutoksia taudin myötä (Illner ym., 2023). Muutokset edellä mainituissa formanttiarvoissa kuvastavat kielen liikkeiden rajoittumista. Parkinsonin tautia sairastavien henkilöiden artikulaatioliikkeiden onkin todettu olevan laajuudeltaan kaventuneita sekä hidastuneita terveisiin verrattuna (Kearney ym., 2017; Walsh & Smith, 2012). Artikulaatioliikkeiden laajuuden ja nopeuden on puolestaan havaittu olevan yhteydessä Parkinsonin tautia sairastavien puheen ymmärrettävyyteen (Kearney ym., 2017; Weismer ym., 2012).

Puhetehtävä on yksi vokaaliartikulaatioon vaikuttava tekijä (Iivonen, 2012). Aiemmissa tutkimuksissa pitkä fonaatio ei erotellut Parkinsonin tautia sairastavia henkilöitä neurologisesti terveistä ikäverrokeista (Arias-Vergara ym., 2017; Ruzs ym., 2013b). Jatkovaa puhetta sisältävät tehtävät saattavatkin sopia paremmin sairauteen liittyvien vokaaliartikulaation muutosten tunnistamiseen, ja ero neurologisesti terveisiin voi tulla esiin etenkin spontaanipuheessa (Ruzs ym., 2013b).

### 2.3 Puhetehtävän vaikutus artikulaatioon

Puheen ymmärrettävyyden arvioinnissa käytetään erilaisia puhetehtäviä, kuten sana- ja lausettoista sekä luenta- ja spontaanipuhetehtäviä (Hodge & Whitehill, 2012). Spontaanipuhetehtävä on näistä lähimpänä arjen puhetilanteita, sillä siinä puhuja suunnittelee itse ilmaisun kielellisen sisällön. Tällaisessa puhetehtävässä ei kuitenkaan ole mahdollista vakioida puheen kielellistä ja foneettista sisältöä. Sana- ja lausettoistotehtävien sisältö voidaan puolestaan suunnitella tarkkaan, mutta ne eivät vastaa luonnollista puhetta. Luentapuhetehtävä mahdollistaa arvioinnin jatkuvasta puheesta ja sen sisältö voidaan vakioida, mutta se edellyttää tutkittavalta riittävää lukutaitoa.

Puhetehtävä voi vaikuttaa Parkinsonin tautia sairastavien henkilöiden puheen ymmärrettävyyteen kuulonvaraisesti arvioituna (Bunton & Keintz, 2008; Johansson ym., 2022; Kempler & Van Lancker, 2002; Sidtis ym., 2012), mutta puhetehtävän vaikutuksesta vokaaliartikulaatioon on niukasti tutkimustietoa niin Parkinsonin tautia sairastavien kuin neurologisesti terveiden osalta. Puhetehtävällä on havaittu vaikutuksia terveiden aikuisten artikulaatioliikkeisiin (Tasko & McClean, 2004) ja vokaalien formanttiarvoihin (Koenig & Fuchs, 2019). Koenigin ja Fuchsin (2019) tutkimuksessa nuorten aikuisten vokaalit olivat sentralisoituneempia uudelleenkertototehtävässä kuin luentapuheessa. Illnerin ja kollegoiden (2023) tutkimuksessa Parkinsonin tautia sairastavien vokaaliartikulaatio oli tarkempaa luennassa kuin spontaanimonologissa, kun taas terveillä verrokeilla tai muissa etenevissä neurologisissa sairauksissa ei havaittu eroa puhetehtävien välillä. Puhetehtäviin liittyy useita tekijöitä, jotka saattavat vaikuttaa puheasuoriutumiseen ja sen myötä artikulaatioon.

Tutkimuksissa ja puheterapeutin kliinisessä työssä käytettävät puhetehtävät eroavat arjen puhetilanteista, ja tällainen tehtävätyöskentely voikin vaikuttaa suoriutumiseen. Tehtävätyöskentelyssä tarkkaavuuden suuntaaminen yhteen tehtävään helpottaa puheasuoritusta toisin kuin arjessa, jossa tarkkaavuutta joudutaan hajauttamaan samanaikaisesti useaan eri kohteeseen (Johnson & Proctor, 2003, s. 163–190). Tehtävätyöskentely saattaa vaikuttaa positiivisesti erityisesti Parkinsonin tautia sairastavien puheeseen (Bunton & Keintz, 2008), sillä tehtävä itsessään voi toimia ulkoisena vihjeenä. Ulkoisten vihjeiden on todettu tukevan Parkinsonin tautia sairastavien puheasuoritusta (Ho ym., 1999a; Sapir, 2014) sekä muissa motorisissa toiminnoissa suoriutumista (Chuma ym., 2006; Freeman ym., 1993; Lehman ym., 2005; Oliveira ym., 1997; Rochester ym., 2007). Tällaisia vihjeitä voivat olla esimerkiksi toisen henkilön malli, ohjeistus sekä visuaaliset, kuulonvaraiset ja somatosensoriset apuvälineet ja -keinot.

Kognitiivinen kuormitus vaikuttaa niin neurologisesti terveiden kuin Parkinsonin tautia sairastavien puheeseen. Tutkimuksissa on havaittu kuormituksen aiheuttavan muutoksia eri ikäisten terveiden henkilöiden artikulaatioliikkeisiin (Dromey & Benson, 2003; MacPherson, 2019) ja formanttiarvoihin (Huttunen ym., 2011). Spontaanipuhe sisältää kaikki puheentuotto-prosessin vaiheet (Penttilä ym., 2019), joten se on kognitiivisesti kuormittavampaa kuin ääneen lukeminen. Parkinsonin tautia sairastavilla motoristen toimintojen säätelyn häiriintyminen lisää omalta osaltaan puheentuoton kognitiivista kuormitusta (Sapir, 2014). Puheentuoton automatisoituneita toimintoja kontrolloidaan tahdonalaisesti, jolloin niihin suunnataan tarkkaavuutta ja puheprosessin kuormittavuus kasvaa verrattuna neurologisesti terveisiin henkilöihin.

Kerronta on kielellisesti ja kognitiivisesti vaativa prosessi (Korpijaakko-Huuhka, 2007), mitä kuvastaa monipuolisesti eri aivoalueilla kerronnan aikana tapahtuva aktivaatio (Mar, 2004). Erityyppiset kerrontatehtävät, kuten uudelleenkerronta, kuvasta kerronta tai omista kokemuksista kertominen, eroavat toisistaan. Sarjakuvasta tuotettu kertomus voidaan luokitella semispontaaniksi puheeksi erotuksena spontaanimonologista tai keskustelupuheesta (Prins & Bastiaanse, 2004). Parkinsonin tautia sairastavien henkilöiden suoriutuminen saattaa olla parempaa tutkimustilanteen spontaanipuhetehtävässä verrattuna keskustelupuheeseen (Bunton & Keintz, 2008). Lisäksi kerrontatehtävä saattaa olla Parkinsonin tautia sairastaville kognitiivisesti kuormittavampi kuin neurologisesti terveille, sillä kerrontataitojen on todettu heikentyneen jo Parkinsonin taudin lievässä vaiheessa (D'Ascanio ym., 2023).

Tarkkaavuuden hajauttaminen kahteen samanaikaiseen tehtävään (engl. dual task) lisää kognitiivista kuormitusta ja voi vaikuttaa myös puheeseen. Baileyn ja Dromeyn (2015) tutkimuksessa tarkkaavuuden hajauttaminen suorittamalla samanaikaisesti puhetehtävää ja motorista, kielellistä tai kognitiivista tehtävää vaikutti puhemotoriikkaan niin nuorilla, keski-ikäisillä kuin ikääntyvillä terveillä aikuisilla. Kognitiivisen kuormituksen kasvaminen tarkkaavuuden hajauttamisen seurauksena saattaa vaikuttaa enemmän Parkinsonin tautia sairastavien kuin neurologisesti terveiden puheeseen. Bunton ja Keintz (2008) havaitsivat tutkimuksessaan kahden samanaikaisen tehtävän suorittamisen heikentävän puheen ymmärrettävyyttä kuulonvaraisesti arvioituna Parkinsonin tautia sairastavilla, mutta ei neurologisesti terveillä ikääntyvillä. Tutkimustulokset Parkinsonin tautia sairastavien suoriutumisesta samanaikaisesta motorisesta ja puhetehtävästä ovat kuitenkin vaihtelevia. Suoriutuminen saattaa heikentyä vain motorisessa, mutta ei puhetehtävässä (Whitfield ym., 2019), paitsi jommankumman tehtävän ollessa haastava (Fournet ym., 2022). Toisaalta joissain

tutkimuksissa jo yksinkertainen motorinen tehtävä vaikutti Parkinsonin tautia sairastavien puheeseen (Bunton & Keintz, 2008; Dromei ym., 2010). On kuitenkin huomioitava, että tutkimukset eroavat toisistaan niin puhe- ja lisätehtävien kuin käytettyjen mittareiden osalta. Myös muut menetelmälliset seikat, kuten pienet aineistokoot tai kontrolliryhmän puuttuminen vaikeuttavat johtopäätösten tekemistä. Tutkimustulokset antavat kuitenkin viitteitä siitä, että tällainen tehtävätyyppi vaikuttaa Parkinsonin tautia sairastavien suoriutumiseen.

Kognitiivinen kuormitus saattaa vaikuttaa myös puhenopeuteen (Ho ym., 2002), ja puhenopeus voi osaltaan vaikuttaa artikulaatioon (Fletcher ym., 2015; Skodda ym., 2011b). Hon ja kollegoiden (2002) tutkimuksessa Parkinsonin tautia sairastavien puhe hidastui suoritettaessa kahta samanaikaista tehtävää toisin kuin terveillä verrokeilla. Skoddan ja kollegoiden (2011b) tutkimuksessa Parkinsonin tautia sairastavilla naisilla havaittiin VAI:n ja puhenopeuden välinen negatiivinen yhteys, eli VAI-arvo aleni puhenopeuden kasvaessa. Toisaalta vokaalien sentralisaatio voi aiheutua nimenomaan kognitiivisesta kuormituksesta ilman yhteyttä artikulaationopeuteen (Huttunen ym., 2011). Lisäksi kognitiivinen kuormitus saattaa vaikuttaa äänen voimakkuuteen, joka on yksi puheen ymmärrettävyyteen vaikuttava tekijä ja voi olla yhteydessä myös artikulaatioon.

## **2.4 Äänen voimakkuuden yhteys artikulaatioon**

Yhtenä tekijänä puheen ymmärrettävyyteen vaikuttaa puheäänien voimakkuus (Hodge & Whitehill, 2012). Puheäänien voimakkuutta voidaan tarkastella akustisesti mittaamalla äänenpainetasoa, jonka yksikkö on desibeli (dB) (Vainio ym., 2009). Äänenpainetaso riippuu äänen aiheuttamasta ilmanpaineen vaihtelusta sekä etäisyydestä äänilähteeseen. Tavallisen puheäänien äänenpainetaso vaihtelee useita desibelejä yksilöiden välillä (Castellana ym., 2017; Leino ym., 2008). Sukupuolten välisistä eroista puheäänien voimakkuudessa on vaihtelevia tuloksia (Corthals, 2004; Leino ym., 2008; Olsen, 1998). Lisäksi ikääntymisellä saattaa olla vaikutuksia äänen voimakkuuteen (Corthals, 2004; Ramig ym., 2001). Yksilön puheäänien voimakkuudessa on myös tilannekohtaista vaihtelua, johon voivat vaikuttaa esimerkiksi puhetilanne, ajankohta ja ympäristö (Castellana ym., 2017; Cooke ym., 2014; Olsen, 1998).

Puheäänien voimakkuus voi kasvaa ympäristöstä johtuvista syistä, jolloin puhuja kompensoi esimerkiksi etäisyyttä tai taustamelua voimistamalla ääntään, kuten Lombardin efektissä (Cooke ym.,

2014). Puheääntä saatetaan voimistaa myös kuulijaan liittyvistä syistä, esimerkiksi kuulijan ollessa huonokuuloinen. Erilaiset puheohjeet vaikuttavat äänenvoimakkuuteen: äänen voimistamista tapahtuu esimerkiksi silloin, kun tutkimushenkilöä pyydetään puhumaan selkeästi, kuvittelemaan puhuvansa huonokuuloiselle henkilölle tai liioittelemaan artikulaatiotaan (Lam & Tjaden, 2016). Äänenpainetaso voi vaihdella mahdollisesti myös stressin (Van Lierde ym., 2009) ja kognitiivisen kuormituksen yhteydessä (Dromey & Bates, 2005; Dromey & Shim, 2008). Tilannekohtainen äänen voimakkuuden vaihtelu voi siis olla tarkoituksellista tai tahatonta.

Äänenpainetaso voi muuttua myös sairauden seurauksena kuten Parkinsonin taudissa (Fox & Ramig, 1997). Useissa tutkimuksissa Parkinsonin tautia sairastavien puheäänien äänenpainetason on todettu olevan matalampi kuin neurologisesti terveillä (Adams ym., 2010; Fox & Ramig, 1997; Ramig ym., 2018; Sapir ym., 2007; Walsh & Smith, 2012). Parkinsonin taudissa äänen vaimeneminen kuulonvaraisesti arvioituna onkin yleistä jo sairauden alkuvaiheessa lievässä dysartriassa (Ho, ym., 1998). Useimmissa tutkimuksissa, joissa on havaittu ero terveisiin, sairauden diagnosoinnista oli kuitenkin kulunut jo keskimäärin useita vuosia ja tutkittavilla oli dysartriaa (Adams ym., 2010; Fox & Ramig, 1997; Ramig ym., 2018; Sapir ym., 2007; Walsh & Smith, 2012). Toisaalta Parkinsonin tautia sairastavien on havaittu kykenevän tuottamaan myös voimistettua ääntä (Clark ym., 2014; Ramig ym., 2001, Ramig ym., 2018) sekä reagoimaan ympäristön melun ja puhujan etäisyyden kasvaessa voimistamalla ääntään samoin kuin terveet (Adams ym., 2010). Parkinsonin taudissa hiljaisen äänen taustalla ajatellaan olevan puheäänien säätelyn häiriintyminen, joka johtuu virheellisestä havainnoinnista (Clark ym., 2014; Fox & Ramig, 1997; Ho ym., 1999b). Ulkoiset vihjeet ja äänen voimistamiseen tähtäävä kuntoutus voivatkin tukea Parkinsonin tautia sairastavien riittävän voimakasta äänentuottoa (Ho ym., 1999b; Ramig ym., 2018; Sapir, 2014).

Puhetehtävä voi osaltaan vaikuttaa äänenpainetason tilannekohtaiseen vaihteluun. Buntonin ja Keintzin (2008) tutkimuksessa Parkinsonin tautia sairastavien äänenpainetaso oli matalampi keskustelupuheessa kuin spontaanipuhetehtävässä. Lisäksi interventiotutkimuksissa on havaittu, että kuntoutuksen jälkeen Parkinsonin tautia sairastavien äänen voimakkuus kasvoi luentapuheessa spontaanipuhetta enemmän (Bryans ym., 2021; Ramig ym., 2001). Toisaalta Koenigin ja Fuchsin (2019) tutkimuksessa neurologisesti terveiden henkilöiden tavanomaisella äänellä tuottamassa puheessa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa äänenpainetasoissa luentapuhe- ja kerrontatehtävän välillä, kuten ei myöskään Whitfieldin ja kollegoiden (2019) tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin sekä terveitä että Parkinsonin tautia sairastavia.

Puhetehtävien väliset erot äänenpainetasoissa voivat mahdollisesti johtua tehtävien erilaisesta kognitiivisesta kuormituksesta. Tutkimustulokset kognitiivisen kuormituksen vaikutuksista äänenpainetasoon ovat kuitenkin vaihtelevia ja osin ristiriitaisia. Neurologisesti terveillä henkilöillä on havaittu äänenpainetason nousevan, kun puhetehtävään on yhdistetty kielellinen, kognitiivinen tai visumotorinen tehtävä (Dromey & Bates, 2005; Dromey & Shim, 2008). Toisaalta joissain tutkimuksissa äänenpainetasossa ei ole tapahtunut muutoksia kognitiivisen kuormituksen kasvamisen myötä terveillä nuorilla aikuisilla (MacPherson ym., 2017) eikä ikääntyneillä (Abur ym., 2023). Myöskään Ho ja kollegat (2002) eivät havainneet äänenpainetason muutoksia kognitiivisen kuormituksen kasvamisen myötä voimistetussa puheäänessä neurologisesti terveillä, kun taas Parkinsonin tautia sairastavien äänenpainetaso laski. Adamsin ja kollegoiden (2010) tutkimuksessa äänenpainetaso puolestaan laski terveillä ja nousi Parkinsonin tautia sairastavilla kognitiivisen kuormituksen kasvaessa. Huomioitavaa kuitenkin on, että tutkimusten tehtävätyypit ja tehtävien vaativuustasot eroavat toisistaan. Lisäksi joissain tutkimuksissa on tarkasteltu kuormituksen vaikutuksia tavalliseen puheääneen ja toisissa puolestaan voimistettuun ääneen.

Puheäänen voimistamisen on havaittu parantavan Parkinsonin tautia sairastavien henkilöiden puheen ymmärrettävyyttä (Neel, 2009; Tjaden & Wilding, 2004; Yorkston ym., 2007). Tjaden ja kollegat (2013) havaitsivat äänen voimistamisen olevan yhteydessä myös artikulaation selkiytymiseen. Tähän voi olla useita syitä, esimerkiksi hermostollisen aktivaation lisääntyminen tai puhemotoristen toimintojen vakautuminen äänen voimistamisen seurauksena (Fox ym., 2002). Neurologisesti terveiden henkilöiden puheäänen voimistamisella ei puolestaan ole yksiselitteisiä vaikutuksia artikulaatioon (Koenig & Fuchs, 2019; Whitfield ym., 2018). Formanttien osalta on havaittu F1-arvon nousevan, mutta F2-arvon muutokset ovat yksilöllisiä ja puhetehtävästä riippuvaisia (Huber & Chandasekaran, 2006; Koenig & Fuchs, 2019). Kuitenkin terveillä henkilöillä on havaittu äänenvoimakkuuden kasvun ja artikulaatioliikkeiden selkiytymisen liittyvän tiettyihin ohjeisiin ja puhetilanteisiin, kuten puhuttaessa huonokuuloiselle henkilölle, kuulijan etäisyyden kasvaessa ja taustamelun yhteydessä (Cooke ym., 2014). Toisaalta joissain tutkimuksissa äänenpainetason nousuun kognitiivisen kuormituksen myötä on liittynyt artikulaatioliikkeiden muuttumista epätarkemmiksi (Dromey & Bates, 2005; Dromey & Shim, 2008).



## 2.5 Vokaaliartikulaation akustinen mittaaminen

Puheen ymmärrettävyyttä voidaan arvioida eri menetelmin kuulonvaraisesti tai akustisesti (Miller, 2013; Pommee ym., 2022). Sekä kuulonvarainen että akustinen analyysi ovat suhteellisen edullisia ja saavutettavia (Ciocca & Whitehill, 2012), mutta akustisella voidaan vähentää kuulijaan liittyvien seikkojen, kuten kontekstuaalisten vihjeiden, vaikutusta (Pommee ym., 2022). Akustisten mittausten perusteella voidaan tehdä päätelmiä puhujan artikulaatioliikkeistä ja niiden vaikutuksesta puheen havaitsemiseen (Ciocca & Whitehill, 2012). Akustisilla mittareilla voidaankin tutkia puhujaryhmien, kuten neurologisesti terveiden ja Parkinsonin tautia sairastavien, välisiä eroja sekä seurata sairauden etenemisen tai kuntoutuksen vaikutusta artikulaatioon. Vokaaliartikulaation akustista analyysia varten mitataan tyypillisesti formanttiarvot F1 ja F2 kulmavokaaleista /a/, /i/ ja /u/ (Kent & Rountrey, 2020; Kent & Vorperian, 2018). Useilla vokaalien formanttiarvoja F1 ja F2 hyödyntävillä mittareilla on havaittu yhteys kuulonvaraisiin arvioihin terveiden henkilöiden puheen ymmärrettävyydestä (Pommee ym., 2021).

Vokaaliartikulaatioindeksi (engl. vowel articulation index, VAI) on puheen ymmärrettävyyden akustiseen mittaamiseen kehitetty menetelmä, joka on suunniteltu tunnistamaan herkästi vokaalien sentralisaatiota (Sapir ym., 2011). VAI on suhdeluku (kts. luku 4.3), jossa osoittajan arvo pienenee ja nimittäjän arvo suurenee vokaalien sentralisoituessa. VAI-arvon aleneminen kuvastaa siis vokaaliartikulaation muuttumista epätarkemmaksi. VAI:a on käytetty esimerkiksi Parkinsonin tautiin (Penttilä ym., 2022) ja CP-vammaan (Mou ym., 2019) liittyvien artikulaation muutosten tutkimiseen. Kuitenkin VAI:n laskemiseen tarvittava kulmavokaalien annotointi ja formanttiarvojen mittaaminen manuaalisesti on hidasta, mikä rajoittaa VAI:n hyödyntämismahdollisuuksia erityisesti kliinisessä työssä. Lisäksi menetelmä on jossain määrin subjektiivinen, sillä analyysiin valittava kohta vokaalista rajataan manuaalisesti. Tämä voi vaikuttaa formanttiarvoon merkittävästi, sillä esimerkiksi F2/u/-arvo laskee usein vokaalin loppua kohti (Kent & Vorperian, 2018). VAI:n automatisoinnilla voitaisiin mahdollisesti ratkaista näitä menetelmään liittyviä haasteita. Liun ja kollegoiden (2021) tutkimuksessa automaattisesti lasketut VAI-arvot (aVAI) olivat yhteydessä manuaalisesti annotoiduista vokaaleista mitattuihin arvoihin sekä asiantuntijoiden kuulonvaraisiin puheen ymmärrettävyyden arvioihin. Conveyn ja kollegoiden (2023) tutkimuksessa Parkinsonin tautia sairastavien aVAI-arvot korreloivat kuulonvaraisten puheen ymmärrettävyyden arvioiden kanssa. Parkinsonin tautia sairastavien aVAI-arvot eivät kuitenkaan eronneet neurologisesti terveistä verrokeista.

VAI on herkkä hypokineettisessa dysartriassa ilmenevälle vokaalien sentralisaatiolle (Sapir ym., 2011; Skodda ym., 2011b), ja sillä voidaan mitata Parkinsonin taudin etenemisen myötä tapahtuvia vokaaliartikulaation muutoksia (Skodda ym., 2012). Toisaalta VAI:n ei pitäisi reagoida yksilötekijöistä, kuten sukupuolesta, johtuviin puhujien välisiin eroihin (Sapir ym., 2011). Kuitenkin tutkimuksissa on havaittu sekä Parkinsonin tautia sairastavien että neurologisesti terveiden naisten VAI-arvojen olevan korkeampia kuin miehillä (taulukko 1). Lisäksi tutkimusten välillä on kielikohtaisia eroja siten, että suomenkielisten puhujien VAI-arvot ovat matalampia kuin englanninkielisten, mutta korkeampia kuin saksankielisten.

**Taulukko 1.** Kirjallisuudessa raportoituja VAI-arvoja

Tutkijat	n	kieli	VAI-arvo	
Penttilä ym., 2022	PT 35	suomi	PT naiset 0,933	PT miehet 0,822
	NT 35		NT naiset 0,972	NT miehet 0,888
Sapir ym., 2011	PT 38	englanti	PT 0,96	
	NT 14		NT 1,05	
Skodda ym., 2011b	PT 68	saksa	PT naiset 0,820	PT miehet 0,734
	NT 32		NT naiset 0,888	NT miehet 0,797

PT = Parkinsonin tautia sairastavat, NT = neurologisesti terveet

Aiemmissä tutkimuksissa Parkinsonin tautia sairastavien VAI-arvot ovat olleet matalampia kuin neurologisesti terveillä henkilöillä (Penttilä ym., 2022; Rusz ym., 2013b; Sapir ym., 2011; Skodda ym., 2012; Skodda ym., 2011b; Skrabal ym., 2022). VAI-arvoja on mitattu eri puhetehtävistä, kuten lausettoistosta (Sapir ym. 2011), luentapuheesta (Penttilä ym., 2022; Skodda ym., 2012; Skodda ym., 2011b) ja spontaanipuheesta (Strinzel ym., 2017), mutta puhetehtävien välistä vertailua ei ole juuri tehty. Ruszin ja kollegoiden (2013b) tutkimuksessa Parkinsonin tautia sairastavien VAI-arvoja verrattiin neurologisesti terveiden henkilöiden arvoihin useassa puhetehtävässä (pitkä fonaatio, lausettoisto, luenta- ja spontaanipuhe), mutta ei tarkasteltu puhetehtävien välisiä eroja ryhmien sisällä. Tutkimusryhmien välinen ero oli kuitenkin suurin spontaanipuheessa. Yleisesti tutkimusten menetelmälliset erot, kuten tutkittavien puhuma kieli, heterogeenisyys iän ja Parkinsonin taudin vaikeusasteen suhteen sekä pienet aineistokoot vaikeuttavat tutkimusten keskinäistä vertailua sekä johtopäätösten tekemistä puhetehtävän vaikutuksesta VAI-arvoon. Puhetehtävän vaikutusta

vokaaliartikulaatioindeksiin olisikin tärkeää tutkia lisää niin Parkinsonin taudin kuin muidenkin dysarthriaa aiheuttavien tilojen osalta. Lisäksi tarvittaisiin viitearvoja neurologisesti terveiltä henkilöiltä, jotta VAI:n hyödyntäminen kliinisessä työssä olisi mahdollista.

### 3 TUTKIMUKSEN TAVOITE JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Puheen akustista analyysia voitaisiin mahdollisesti hyödyntää Parkinsonin taudin diagnostiikan tukena, mutta siihen vaikuttavista tekijöistä tarvitaan lisää tutkimustietoa. Parkinsonin taudin varhaisessa vaiheessa ilmenevistä vokaaliartikulaation muutoksista (Rusz ym., 2013b; Skrabal ym., 2022) ei ole tutkimusta naisilla tai suomenkielisillä. Myöskään puhetehtävän vaikutusta vokaaliartikulaatioon ei ole tutkittu suomenkielisillä henkilöillä, vaikka puhetehtävä voi vaikuttaa Parkinsonin tautia sairastavien puheen ymmärrettävyyteen (Johansson ym., 2022; Kempler & Van Lancker, 2002; Sidtis ym., 2012) ja artikulaatioon (Illner ym., 2023). Myös puheäänien voimakkuus voi osaltaan vaikuttaa Parkinsonin tautia sairastavien henkilöiden artikulaatioon (Tjaden ym., 2013).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, onko Parkinsonin tautia sairastavien henkilöiden vokaaliartikulaation tarkkuudessa eroa luenta- ja spontaanipuheen välillä vokaaliartikulaatioindeksillä (VAI) mitattuna. Lisäksi haluttiin selvittää, eroaako Parkinsonin tautia sairastavien vokaaliartikulaatio neurologisesti terveistä ikä- ja sukupuoliverrokeista sairauden alkuvaiheessa. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös äänenpainetasoa (SPL) vaihtelua puhetehtävien ja ryhmien välillä sekä sen yhteyttä VAI:iin. Lisäksi tarkoituksena oli tuottaa tietoa suomenkielisten Parkinsonin tautia sairastavien ja neurologisesti terveiden ikääntyvien formanttiarvoista.

Tutkimuskysymykset olivat:

1. Onko vokaaliartikulaation tarkkuudessa eroja puhetehtävien ja tutkimusryhmien välillä?
2. Onko äänenpainetasossa eroja puhetehtävien ja tutkimusryhmien välillä?
3. Onko äänenpainetasolla yhteyttä vokaaliartikulaatioindeksiin puhetehtävittäin ja tutkimusryhmittäin tarkasteltuna?

## 4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä tutkimus oli kvantitatiivinen poikittaistutkimus, jossa tarkasteltiin Parkinsonin tautia sairastavien sekä neurologisesti terveiden henkilöiden puhenäytteitä. Tutkittavat valittiin AAVISTUS-tutkimushankkeen aineistosta. AAVISTUS-hanke (Akustisen puhesignaalin käyttö ihmisen terveydentilan analyysissa ja automaattisessa luokittamisessa) on Tampereen yliopiston monitieteellinen tutkimus, jonka keskeisenä tavoitteena on ymmärtää Parkinsonin tautiin ja Alzheimerin tautiin liittyviä varhaisia puheen, kielen ja nielemisen muutoksia. AAVISTUS-hanke on pitkittäistutkimus, jossa seurataan edellä mainittuja muutoksia viiden vuoden ajan. Tutkimuksen suunniteltu kesto on 15.11.2021–15.11.2036.

### 4.1 Tutkittavat

Tähän tutkimukseen otettiin mukaan AAVISTUS-tutkimushankkeesta kaikki valintahetkellä (tammikuussa 2023) aineistoon sisältyneet naiset, joilla oli Parkinsonin tauti -diagnoosi tai epäily taudista (n = 10, jatkossa PT-ryhmä). Osallistujat oli rekrytoitu tutkimukseen Tampereen kaupungin terveysasemien, Tampereen yliopistollisen sairaalan neurologian poliklinikan ja Liikehäiriösairauksien liitto ry:n kautta sekä julkisilla ilmoituksilla. Tutkimuksen sisäänottokriteereinä Parkinsonin taudin osalta oli 1) alle kaksi vuotta sitten diagnosoitu Parkinsonin tauti tai epäily siitä sekä 2) suomi äidinkielenä. PT-ryhmän iän mediaani oli 73 vuotta (vaihtelu 44–84). Kahden PT-ryhmän tutkittavan sairaustietoja ei ollut saatavilla. Muista tutkittavista seitsemällä oli Parkinsonin tauti -diagnoosi ja yhdellä epäselvyyttä diagnosoissa. Näiden kahdeksan tutkittavan Parkinsonin taudin vaikeusasteen mediaani Hoehn & Yahr -luokituksen (Liikehäiriösairauksien liitto, n.d.b) mukaan oli 2 (vaihtelu 1–2,5) ja UPRDS-III-pisteiden (Liikehäiriösairauksien liitto, n.d.c) mediaani 8 (vaihtelu 5–17). Kaikilla kahdeksalla tutkittavalla, joiden tiedot saatiin tähän tutkimukseen, oli käytössä lääkitys Parkinsonin taudin oireisiin.

Neurologisesti terveet tutkimushenkilöt (n = 10, jatkossa NT-ryhmä) valittiin AAVISTUS-hankkeen aineistosta sukupuolen ja iän perusteella. Heidät oli rekrytoitu julkisilla ilmoituksilla sekä tiedottamalla tutkimuksesta eri yhdistyksille. Sisäänottokriteerit olivat 1) yli 65 vuoden ikä ja 2) neurologisesti terve oman ilmoituksen mukaan. Kaikkien tutkittavien äidinkieli on suomi. NT-ryhmän iän mediaani oli 71 vuotta (vaihtelu 65–80). Tutkittavat yhtenäistettiin sukupuolen osalta,

koska naisten ja miesten formantti- ja VAI-arvot eroavat toisistaan (Kent & Vorperian, 2018; Skodda ym., 2011b). Tutkittaviksi valittiin naisia, sillä valintahetkellä heitä oli AAVISTUS-hankkeen aineistossa enemmän kuin miehiä. Ryhmät pyrittiin yhtenäistämään iän perusteella, sillä iän on todettu vaikuttavan formanttiarvoihin (Albuquerque ym., 2023). Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa iässä ( $U = 43,50$ ,  $p = ,631$ ).

## 4.2 Aineiston muodostuminen

Tutkimuksen puheaineistoksi valittiin luentapuhenäyte (Pohjantuuli ja aurinko -teksti; liite) sekä spontaanipuhenäyte, jossa tutkimushenkilöä pyydettiin kertomaan tarina sarjakuvasta (Penttilä, 2019, s. 109). Tähän tutkimukseen valitut puhenäytteet kerättiin AAVISTUS-hankkeen alkumittauksissa aikavälillä helmikuu 2022–tammikuu 2023.

Puhenäytteet tallennettiin kaiuttomassa tilassa Praat-ohjelmistolla (Boersma & Weenink, 2022) Focusrite iTrack Solo -äänikortin kautta. Äänityksessä käytettiin pääpantamikrofonia (tutkittavilla PT1–PT5 AKG C544L, muilla DPA 4066 Core headset), ja mikrofoni oli asetettu 45 asteen kulmaan 4 cm:n etäisyydelle huuliokulmasta. Tallennuksessa käytettiin 44 100 Hz näytteenottotaajuutta. Puhetehtävien aikana tutkittavat istuivat pöydän ääressä, ja luentateksti tai sarjakuva oli nuottitelineessä tutkittavan edessä. Luentapuhetehtävissä tutkittavaa ohjeistettiin lukemaan teksti ensin hiljaa mielessään ja sen jälkeen ääneen hänelle tyypilliseen tapaan. Spontaanipuhetehtävissä tutkittavalle näytettiin sarjakuvan kuvien järjestys, jonka jälkeen häntä pyydettiin ensin katsomaan sarjakuvaa rauhassa ja kertomaan sitten sarjakuvan tarina mahdollisimman tarkkaan siten, että kuulija ymmärtää sen katsomatta kuvia.

## 4.3 Aineiston analyysi

Puhenäytteet annotoitiin ja analysoitiin Praat-ohjelmiston versiolla 6.3.02 (Boersma & Weenink, 2022). Suosituksen (Rusz ym., 2021) ja useiden aiempien tutkimusten käytännön (Penttilä ym., 2022; Rusz ym., 2013b; Skodda ym., 2012; Skodda ym., 2011b) mukaisesti puhenäytteistä valittiin analysoitaviksi 10 kappaletta kulmavokaaleja /a/, /i/ ja /u/. Analyysiin otettiin lyhyitä ja pitkiä vokaaleja, mutta ei diftongeja. Vertailtavuuden takia luentapuhenäytteistä valittiin samat sanat ja

vokaalit kuin Penttilän ja kollegoiden (2022) tutkimuksessa (taulukko 2). Mikäli vokaalia ei saatu halutusta sanasta virheellisen tuotoksen takia, korvaava vokaali pyrittiin valitsemaan mahdollisimman samankaltaisesta äänneympäristöstä huomioiden sanapaino. Spontaanipuhennytyteistä vokaalit valittiin esiintymisjärjestyksessä, sillä Ruszin ja kollegoiden (2013b) tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa puhennytyteen alku- ja loppupuolelta mitattujen formanttiarvojen välillä. Kuitenkin analyysiin valitut vokaalit jakautuivat koko puhennytyteen pituudelle. Mikäli vokaalista ei saatu vähintään 0,03 sekunnin mittaista näytettä (Rusz ym., 2021), analysoitavaksi valittiin seuraava mahdollinen vokaali. Kummassakin ryhmässä oli kolme tutkittavaa, joiden spontaanipuhennytyteistä ei saatu kymmentä /u/-vokaalia analysoitavaksi. PT-ryhmän tutkittavilta vokaaleja puuttui 1–4 kappaletta, ja NT-ryhmän tutkittavilta 5–7.

**Taulukko 2.** Pohjantuuli ja aurinko -luentapuhennytyteestä valitut sanat ja vokaalit (Penttilä ym., 2022)

---

a	pohj <u>an</u> tuuli, k <u>um</u> malla, voim <u>a</u> , s <u>a</u> malla, kulki <u>jan</u> , t <u>ak</u> ki, voimakka <u>a</u> mpi, riisuma <u>an</u> , puhalt <u>a</u> , kovemp <u>a</u>
i	aur <u>in</u> ko, väittel <u>i</u> vät, ol <u>si</u> , näk <u>i</u> vät, riisuma <u>an</u> , takk <u>i</u> nsa, n <u>ii</u> n, vii <u>me</u> in, riisui, n <u>ii</u> n
u	pohjant <u>u</u> uli, k <u>u</u> malla, k <u>un</u> , kulki <u>jan</u> , riis <u>u</u> maan, pohjant <u>u</u> uli, pu <u>h</u> altaa, pu <u>h</u> alsi, t <u>u</u> uli, t <u>u</u> ulen

---

Analyysiin valituista vokaaleista rajattiin kuulonvaraisesti sekä spektrogrammien visuaalista informaatiota hyödyntäen 0,03–0,09 sekunnin mittaiset, mahdollisimman puhtaat näytteet, joista mitattiin formanttiarvot F1 ja F2. Jokaisen puhennytyteen vokaalien /a/, /i/ ja /u/ F1- ja F2-arvoista laskettiin keskiarvot, joita käytettiin VAI-arvojen laskemiseen kaavalla (Sapir ym., 2011):

$$VAI = (F2/i/ + F1/a/) / (F1/i/ + F1/u/ + F2/u/ + F2/a/)$$

Puhennytyteistä mitattiin myös keskimääräiset äänenpainetasot (SPL), jotka kalibroitiin vastaamaan äänitystilannetta äänigeneraattorilla (Korg TM-60) ja äänenpainetasomittarilla (SINUS Tango v. 1.44). Analyysissä käytettiin kalibroituja äänenpainetasoja. Äänenpainetason ja vokaaliartikulaatioindeksin yhteyden tarkastelua varten jokaisen tutkittavan äänenpainetasoista ja VAI-arvoista laskettiin puhetehtävien välinen ero. Näitä erotuksia käytettiin riippuvuustarkasteluissa.

#### 4.4 Tilastollinen analyysi

Aineiston tilastollinen analyysi suoritettiin IBM SPSS -ohjelman versiolla 29. Tilastolliseen testaukseen valittiin epäparametriset testit, sillä parametrisen testin edellytys vähintään 20 havainnosta tarkasteltavissa ryhmissä ei täyty tässä tutkimuksessa (Nummenmaa, 2009, s. 183). Puhetehtävien välisten erojen tarkasteluun käytettiin kahden toisistaan riippuvan näytteen vertailuun soveltuvaa Wilcoxonin merkittyjen järjestyslukujen testiä (Corder & Foreman, 2014, s. 39). Ryhmien välisiä eroja tutkittiin Mann-Whitneyn testillä, joka soveltuu riippumattomien otosten vertailuun (Corder & Foreman, 2014, s. 98). VAI:n ja SPL:n välistä yhteyttä tutkittiin Spearmanin korrelaatiokertoimen avulla, jota voidaan käyttää kahden kvantitatiivisen muuttujan välisen riippuvuuden tarkasteluun, kun normaalijakaumaoletus ei ole voimassa (Tähtinen ym., 2020, s. 189–190). Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi kaikissa testeissä valittiin  $p < ,05$ .

#### 4.5 Tutkimuksen eettisyys

Tässä tutkimuksessa noudatettiin Tutkimuseettisen neuvottelukunnan (2023) hyvää tutkimuskäytäntöä koskevia periaatteita. Tampereen yliopistollisen sairaalan erityisvastuualueen alueellinen tutkimuseettinen toimikunta antoi AAVISTUS-hankkeelle (ETL-koodi R21122) puoltavan lausunnon, ja Pirkanmaan sairaanhoitopiiri myönsi hankkeelle tutkimusluvan 2021. Tutkittaviin liittyviä tietoja käsiteltiin kaikissa vaiheissa luottamuksellisesti ja yksityisyyden suojaa noudattaen. Tutkittavat pseudonymisoitiin kirjain-numeroyhdistelmin aineiston analysointia varten, eikä tässä tutkimuksessa raportoitu yksilöiviä tunnistetietoja. AAVISTUS-hankkeen johtaja, FT Nelly Penttilä vastaa aineiston säilytyksestä, käytöstä, tietosuojasta ja tietoturvasta.



## 5 TULOKSET

### 5.1 Vokaaliartikulaation erot puhetehtävien ja ryhmien välillä

Sekä PT-ryhmän että NT-ryhmän VAI-arvot olivat spontaanipuheessa tilastollisesti merkitsevästi matalammat kuin luentapuheessa (PT-ryhmä  $Z = 3,00$ ,  $p = ,013$ ; NT-ryhmä  $Z = 8,00$ ,  $p = ,047$ ) (taulukko 3). Ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa VAI-arvoissa kummassakaan puhetehtävässä (luentapuhe  $U = 52,00$ ,  $p = ,912$ ; spontaanipuhe  $U = 53,00$ ,  $p = ,853$ ).

**Taulukko 3.** VAI-arvot ryhmittäin ja puhetehtävittäin

Ryhmä ja puhetehtävä	md	min	max	ka	kh
PT luentapuhe	1,018	0,917	1,080	1,007	0,059
NT luentapuhe	1,010	0,916	1,106	1,010	0,064
PT spontaanipuhe	0,948	0,840	1,038	0,942	0,068
NT spontaanipuhe	0,961	0,849	1,037	0,956	0,063

PT = Parkinsonin tautia sairastavat (n = 10), NT = neurologisesti terveet (n = 10)

Vokaaliartikulaatioindeksin laskemiseen käytetyissä formanttiarvoissa havaittiin PT-ryhmällä tilastollisesti merkitsevä ero luenta- ja spontaanipuhenäytteiden välillä formanteissa F2/i/ ja F2/u/ (taulukko 4). Luentapuheeseen verrattuna formanttiarvo F2/i/ oli matalampi spontaanipuheessa, F2/u/ puolestaan korkeampi.

**Taulukko 4.** PT-ryhmän formanttiarvot (Hz) puhetehtävittäin

Formantti	Luentapuhe		Spontaanipuhe		<i>p</i> -arvo (Z-arvo)
	md (min–max)	ka (kh)	md (min–max)	ka (kh)	
F1/a/	752 (597–840)	725 (88)	765 (528–840)	740 (95)	,721 (31,00)
F2/a/	1431 (1271–1631)	1432 (95)	1442 (1303–1663)	1444 (105)	,445 (35,00)
F1/i/	382 (353–411)	380 (18)	381 (339–414)	377 (26)	,721 (31,00)
F2/i/	2357 (2223–2518)	2367 (104)	2312 (2087–2436)	2291 (114)	<b>,037</b> (7,00)
F1/u/	383 (327–457)	390 (39)	393 (329–458)	394 (36)	,575 (33,00)
F2/u/	856 (803–1009)	872 (68)	987 (848–1202)	1005 (109)	<b>,009</b> (53,00)

F1 = 1. formantti, F2 = 2. formantti

Lihavointi tarkoittaa tilastollista merkitsevyyttä ( $p < ,05$ )

NT-ryhmän formanttiarvoissa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero luenta- ja spontaanipuhenäytteiden välillä formantissa F2/u/, jonka arvo oli korkeampi spontaanipuheessa (taulukko 5).

**Taulukko 5.** NT-ryhmän formanttiarvot (Hz) puhetehtävittäin

Formantti	Luentapuhe		Spontaanipuhe		<i>p</i> -arvo ( <i>Z</i> -arvo)
	md (min–max)	ka (kh)	md (min–max)	ka (kh)	
F1/a/	710 (506–849)	704 (109)	735 (651–847)	734 (65)	,139 (42,00)
F2/a/	1389 (1278–1641)	1402 (101)	1415 (1306–1655)	1430 (106)	,169 (41,00)
F1/i/	392 (308–440)	387 (37)	403 (337–433)	401 (27)	,139 (42,00)
F2/i/	2351 (2149–2626)	2355 (129)	2371 (2102–2490)	2355 (109)	,878 (26,00)
F1/u/	382 (355–414)	383 (22)	392 (363–466)	401 (35)	,508 (34,00)
F2/u/	865 (761–954)	857 (59)	1041 (813–1103)	1006 (97)	<b>,009</b> (53,00)

F1 = 1. formantti, F2 = 2. formantti

Lihavointi tarkoittaa tilastollista merkitsevyyttä ( $p < ,05$ )

Formanttiarvoissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä kummassakaan puhetehtävässä (taulukko 6).

**Taulukko 6.** PT- ja NT-ryhmien väliset erot formanttiarvoissa puhetehtävittäin

Formantti	Luentapuhe		Spontaanipuhe	
	<i>p</i> -arvo		<i>p</i> -arvo	
	(U-arvo)		(U-arvo)	
F1/a/	,631 (43,00)	,631 (43,00)		
F2/a/	,315 (36,00)	,739 (45,00)		
F1/i/	,481 (60,00)	,089 (73,00)		
F2/i/	,796 (46,00)	,247 (66,00)		
F1/u/	,684 (44,00)	,853 (53,00)		
F2/u/	,684 (44,00)	1,000 (51,00)		

F1 = 1. formantti, F2 = 2. formantti

## 5.2. Äänenpainetasojen erot ja yhteys vokaaliartikulaatioindeksiin

Kummankaan tutkimusryhmän äänenpainetasoissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa puhetehtävien välillä (PT-ryhmä  $Z = 12,00$ ,  $p = ,114$ ; NT-ryhmä  $Z = 27,00$ ,  $p = ,959$ ) (taulukko 7). Myöskään ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja äänenpainetasoissa kummassakaan puhetehtävässä (luentapuhe  $U = 53,00$ ,  $p = ,853$ ; spontaanipuhe  $U = 56,00$ ,  $p = ,684$ ).

**Taulukko 7.** Kalibroidut äänenpainetasot (dB) ryhmittäin ja puhetehtävittäin

Ryhmä ja puhetehtävä	md	min	max	ka	kh
PT luentapuhe	79,42	76,72	89,83	80,97	4,05
NT luentapuhe	80,68	70,08	89,85	80,47	5,48
PT spontaanipuhe	78,90	71,74	86,75	79,96	4,70
NT spontaanipuhe	80,34	70,57	87,69	80,22	4,87

PT = Parkinsonin tautia sairastavat ( $n = 10$ ), NT = neurologisesti terveet ( $n = 10$ )

PT-ryhmällä havaittiin SPL:n ja VAI:n välillä heikko positiivinen lineaarinen riippuvuus, joka ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ( $r_s = ,479$ ,  $p = ,162$ ). Tällä ryhmällä äänenpainetaso siis laski VAI-arvon laskiessa. NT-ryhmällä havaittiin puolestaan tilastollisesti merkitsevä negatiivinen lineaarinen riippuvuus äänenpainetason ja VAI:n välillä ( $r_s = - ,673$ ,  $p = ,033$ ) eli äänenpainetaso nousi VAI-arvon laskiessa.

## 6 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää luenta- ja spontaanipuheen välisiä eroja vokaaliartikulaatiossa Parkinsonin tautia sairastavilla sekä neurologisesti terveillä ikääntyvillä. Tutkittavista muodostettiin PT-ryhmä (n = 10) sekä NT-ryhmä (n = 10). Tutkittavien luenta- ja spontaanipuhenaänteistä mitattiin vokaalien /a/, /i/ ja /u/ formanttiarvot F1 ja F2, joiden keskiarvoista laskettiin vokaaliartikulaatioindeksi (VAI) arvot. Puhetehtävien sekä ryhmien välisiä eroja formantti- ja VAI-arvoissa tarkasteltiin tilastollisin menetelmin. PT-ryhmällä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero luenta- ja spontaanipuheen välillä VAI-arvoissa sekä formanttiarvoissa F2/i/ ja F2/u/. NT-ryhmällä puhetehtävien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä VAI-arvoissa ja formanttiarvoissa F2/u/. Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin äänenpainetason yhteyttä vokaaliartikulaatioon tarkastelemalla äänenpainetasoja molemmilla ryhmillä sekä luenta- että spontaanipuheessa. Äänenpainetasoista laskettiin puhetehtävien välinen ero ja tutkittiin sen yhteyttä puhetehtävien väliseen VAI:n muutokseen. Äänenpainetasoissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa puhetehtävien eikä ryhmien välillä. Kuitenkin äänenpainetason ja VAI:n muutoksella puhetehtävien välillä havaittiin PT-ryhmällä heikko positiivinen lineaarinen riippuvuus ja NT-ryhmällä negatiivinen lineaarinen riippuvuus.

### 6.1 Tulosten tarkastelu

#### 6.1.1 Vokaaliartikulaation erot puhetehtävien välillä

Tässä tutkimuksessa sekä PT-ryhmän että NT-ryhmän VAI-arvo oli spontaanipuheessa tilastollisesti merkitsevästi matalampi verrattuna luentapuheeseen. VAI-arvoissa havaittuja eroja vastaavasti molempien ryhmien F2/u/-arvo oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi spontaanipuheessa. Lisäksi PT-ryhmän F2/i/-arvo oli spontaanipuheessa tilastollisesti merkitsevästi matalampi kuin luentapuheessa. Tutkimustieto puhetehtävän vaikutuksesta artikulaatioon on niukkaa niin neurologisesti terveiden kuin Parkinsonin tautia sairastavien osalta. Puhetehtävän on havaittu vaikuttavan artikulaatioliikkeisiin terveillä nuorilla aikuisilla (Tasko & McClean, 2004), ja myös terveiden aikuisten formanttiarvoissa on todettu eroja puhetehtävittäin (Koenig & Fuchs, 2019). Puhetehtävän vaikutuksesta formantteihin tai vokaaliartikulaatioindeksiin Parkinsonin tautia sairastavilla ei ole löydettävissä tutkimusta lukuun ottamatta kandidaatintutkielmaamme (Kontsas &

Luoto-Ellä, 2022), jossa Parkinsonin tautia sairastavien naisten VAI-arvo oli spontaanipuheessa matalampi kuin luentapuheessa. Lisäksi puhetehtävän on havaittu vaikuttavan Parkinsonin tautia sairastavien puheen ymmärrettävyyteen kuulonvaraisesti arvioituna (Bunton & Keintz, 2008; Johansson ym., 2022; Kempler & Van Lancker, 2002; Sidtis ym., 2012), joten sillä voidaan olettaa olevan vaikutusta myös vokaaliartikulaatioon.

Spontaanipuheessa tarvitaan puheentuotto-prosessin kaikkia vaiheita (Penttilä ym., 2019), mikä lisää kognitiivista kuormitusta ääneen lukemiseen verrattuna. Spontaanipuhetehtävän voidaan siis ajatella olevan luentapuhetehtävää kuormittavampi. Lisäksi kerronta on itsessään kognitiivisesti kuormittavaa (Mar, 2004), ja Parkinsonin tautia sairastavien henkilöiden kerrontataidot saattavat heikentyä jo sairauden alkuvaiheessa (D'Ascanio ym., 2023). Sarjakuvakerronnan kuormittavuus luentapuheeseen verrattuna voikin selittää tässä tutkimuksessa havaittuja vokaaliartikulaation eroja puhetehtävien välillä. Kognitiivisen kuormituksen on todettu vaikuttavan terveiden henkilöiden artikulaatioliikkeisiin (Dromey & Benson, 2003), ja vaikutukset puhemotoriikkaan saattavat korostua ikääntymisen myötä (Bailey & Dromey, 2015; MacPherson, 2019). Myös formanttiarvoissa on havaittu muutoksia kognitiivisen kuormituksen myötä. Huttusen ja kollegoiden (2011) tutkimuksessa kognitiivinen kuormitus aiheutti vokaalien sentralisaatiota ja erityisesti takavokaalien, kuten /u:/n, F2-arvon nousun terveillä suomenkielisillä aikuisilla. Kognitiivisen kuormituksen kasvamisen on havaittu vaikuttavan myös Parkinsonin tautia sairastavien puheen ymmärrettävyyteen ja artikulaatioon (Bunton & Keintz, 2008; Dromey ym., 2010).

Vokaalien sentralisaatio kognitiivisen kuormituksen myötä viittaa artikulaatiotarkkuuden alenemiseen, jolloin liikelaaajuudet kapenevat (Ciocca & Whitehill, 2012). Muutosten esiintuleminen erityisesti F2/u/-arvossa, ja toisaalta niiden vähäisyys /a:/n formanttiarvoissa, voi liittyä artikulaatioelinten asentoihin tuottaessa eri vokaaleja. Muihin kulmavokaaleihin, erityisesti /a:/han verrattuna /u/ on työläämpi tuottaa, koska siinä kielen asento on korkea ja takainen ja lisäksi tarvitaan myös huulten pyöristämistä (Aulanko & Iivonen, 2009; Hasegawa-Johnson ym., 2003). Yksi artikulaatiotarkkuuteen liittyvä tekijä on artikulaationopeus. Vokaalin keston lyheneminen ja painottomuus sentralisoivat formantteja (Iivonen, 2012), kun taas vokaalin keston pidentyminen artikulaationopeuden hidastumisen myötä helpottaa artikulaatiotarkkuuden säilyttämistä (Fletcher ym., 2015; Tykalova ym., 2021). Samoin Skoddan ja kollegoiden (2011b) tutkimuksessa Parkinsonin tautia sairastavien naisten VAI-arvo korreloi negatiivisesti artikulaationopeuden kanssa.

Artikulaationopeuden mahdolliset erot luenta- ja spontaanipuheessa voisivat siis osaltaan selittää tässä tutkimuksessa havaittuja puhetehtävien välisiä eroja vokaaliartikulaation tarkkuudessa.

### **6.1.2 Vokaaliartikulaation erot ryhmien välillä**

Tässä tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja VAI- eikä formanttiarvoissa Parkinsonin tautia sairastavien ja neurologisesti terveiden henkilöiden välillä. Kuitenkin useissa aiemmissa tutkimuksissa Parkinsonin tautia sairastavien VAI-arvojen on todettu olevan matalampia kuin neurologisesti terveillä henkilöillä (Penttilä ym., 2022; Rusz ym., 2013b; Sapir ym., 2011; Skodda ym., 2012; Skodda ym., 2011b; Skrabal ym., 2022). Toisaalta Penttilän ja kollegoiden (2022) tutkimuksessa ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa VAI-arvoissa, kun miehiä ja naisia tarkasteltiin erikseen.

Ruszin ja kollegoiden (2013b) tutkimuksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero sekä luenta- että spontaanipuheen VAI-arvoissa varhaisvaiheen Parkinsonin tautia sairastavien miesten sekä terveiden ikä- ja sukupuoliverrokkien välillä. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan todettu vastaavaa eroa naisilla. Useimmilla PT-ryhmän tutkittavilla oli käytössä Parkinsonin taudin oireiden hoitoon tarkoitettu lääkitys, kun taas Ruszin ja kollegoiden (2013b) tutkittavilla ei vielä ollut lääkitystä. Tämä voisi osaltaan selittää eroavia tuloksia, sillä lääkitys voi vaikuttaa Parkinsonin tautia sairastavien puheentuottoon (Rusz ym., 2013a). Toinen tulosten eroja mahdollisesti selittävä tekijä on tutkittavien sukupuoli, sillä miesten ja naisten välillä saattaa olla eroja Parkinsonin tautiin liittyvissä puheoireissa (Rusz ym., 2022; Skodda ym., 2011a; Tavi & Penttilä, 2023). Lisäksi puheoireiden varhaisessa ilmaantumisessa on henkilökohtaisia eroja (Polychronis ym., 2019), mikä on voinut vaikuttaa tuloksiin erityisesti pienessä aineistossa.

Tässä tutkimuksessa sekä Parkinsonin tautia sairastavien että neurologisesti terveiden naisten luentapuheen VAI-arvot olivat korkeampia aiempiin tutkimuksiin verrattuna (Penttilä ym., 2022; Skodda ym., 2011b). Parkinsonin tautia sairastavien osalta ero saattaisi johtua siitä, että sekä Penttilän ja kollegoiden (2022) että Skoddan ja kollegoiden (2011b) tutkittavien diagnosoinnista oli kulunut pidempi aika, jolloin myös puheoireiden voidaan olettaa edenneen pidemmälle. Parkinsonin tautia sairastavien VAI-arvon onkin todettu laskevan ajan myötä (Skodda ym., 2012). Spontaanipuhetehtävän osalta tämän tutkimuksen molempien ryhmien VAI-arvot ovat lähellä Strinzelin ja kollegoiden (2017) tutkimuksen Parkinsonin tautia sairastavien naisten arvoja. NT-ryhmän VAI-arvo oli siis matalampi kuin Strinzelin ja kollegoiden (2017) terveillä tutkittavilla.



Molemmissa tutkimuksessa oli kuitenkin pieni aineistokoko, jolloin tutkittavien valikoituneisuus ja yksilölliset erot voivat vaikuttaa tuloksiin herkemmin. Lisäksi tutkimusten spontaanipuhetehtävät olivat keskenään erilaisia, mikä voi osaltaan vaikuttaa eroihin tuloksissa. Vertailtaessa tämän tutkimuksen VAI-tuloksia aiempiin tutkimuksiin on myös huomioitava, että ainoastaan Penttilän ja kollegoiden (2022) aineisto oli suomenkielisiltä puhujilta kuten tässä tutkimuksessa. Kulmavokaalien formanteissa on kielikohtaisia eroja (Iivonen, 2012), joten kieli voi osaltaan vaikuttaa VAI-arvoon. Tutkimuksiin liittyy siis useita tulosten vertailtavuutta heikentäviä tekijöitä.

Eräs mahdollinen selittävä tekijä sille, ettei tässä tutkimuksessa havaittu vokaaliartikulaation eroja ryhmien välillä, on tehtävetyöskentelyn vaikutus. Parkinsonin tautia sairastaville tehtävetyöskentely saattaa itsessään toimia ulkoisena vihjeenä, joka kohentaa puhe-suoritusta (Ho ym., 1999a; Sapir, 2014). Myös Buntonin ja Keintzin (2008) tutkimuksessa Parkinsonin tautia sairastavien puheen ymmärrettävyys oli heikompaa ja äänenpainetaso matalampi keskustelupuheessa verrattuna puhetehtäviin.

Vaikka tässä tutkimuksessa ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa vokaaliartikulaation tarkkuudessa, puhetehtävien väliset erot tulivat selkeämmin esiin PT-ryhmässä. PT-ryhmän puhetehtäväkohtaisissa VAI-arvoissa oli suurempi ero kuin NT-ryhmällä (kts. luku 5.1), ja formanttiarvoissa oli F2/u/-arvon lisäksi tilastollisesti merkitsevä ero puhetehtävien välillä myös F2/i/-arvossa. Pieni aineistokoko voi osaltaan vaikuttaa siihen, etteivät ryhmien väliset erot nousseet tilastollisesti merkitseviksi. Myös tutkimukseen valitulla analyysimenetelmällä voi olla vaikutusta, sillä formanttitaajuuksien keskiarvojen käyttäminen VAI-arvon laskemisessa saattaa pienentää puhujaryhmien välisiä eroja (Kent & Vorperian, 2018). Onkin mahdollista, että VAI:n herkkyys heikentyy, kun vokaaliartikulaation muutokset aiheutuvat pääosin F2/u/-arvosta, jolloin muiden formanttiarvojen muuttumattomuus vähentää kokonaisvaikutusta VAI-arvoon.

### **6.1.3 Äänenpainetasojen erot ja yhteys vokaaliartikulaatioindeksiin**

Tässä tutkimuksessa kummankaan ryhmän äänenpainetasoissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa puhetehtävien välillä. Myöskään Koenigin ja Fuchsin (2019) sekä Whitfieldin ja kollegoiden (2019) tutkimuksissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa äänenpainetasoissa luenta- ja kerrontatehtävän välillä. Tähän saattaa vaikuttaa vaativampien puhetehtävien aiheuttama erilainen yksilöllinen kuormittavuus sekä äänen voimakkuuden yksilöllinen vaihtelu (Castellana ym., 2017; Leino ym., 2008), jolloin mahdolliset ryhmätason erot eivät tule esiin pienessä aineistossa.

Tässä tutkimuksessa tutkimusryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa äänenpainetasoissa, kuten ei myöskään Whitfieldin ja kollegoiden (2019) tutkimuksessa. Samoin Lam ja Tjaden (2016) eivät havainneet erilaisilla ohjeilla aikaansaaduissa äänenpainetason muutoksissa eroja Parkinsonin tautia sairastavien ja terveiden välillä. Kuitenkin osa Lamin ja Tjadenin (2016) tutkittavista oli osallistunut ääntä voimistavaan kuntoutukseen, mikä saattoi osaltaan vaikuttaa tuloksiin. Tutkijoiden mukaan on myös mahdollista, ettei heillä ollut dysartriaa, mikä voi vaikuttaa siihen, ettei ryhmien välillä ollut eroa äänen voimakkuudessa.

Tämän tutkimuksen tulos eroaa useista aiemmista tutkimuksista, joissa Parkinsonin tautia sairastavien äänenpainetaso on ollut matalampi kuin terveillä henkilöillä (Fox & Ramig, 1997; Ramig ym., 2018; Sapir ym., 2007; Walsh & Smith, 2012), ja puheäänen vaimenemisen on todettu olevan yleisin puheoire Parkinsonin taudin varhaisessa vaiheessa (Ho ym., 1998). On kuitenkin havaittu, että Parkinsonin tautia sairastavat kykenevät voimistamaan ääntään (Adams ym., 2010; Ramig ym., 2018). Äänen vaimenemisen taustalla ajatellaankin olevan enemmän virheellinen havainnointi ja äänenpainetason säätelyn ongelmat kuin varsinainen kyvyttömyys tuottaa voimakasta ääntä (Adams ym., 2010; Ho ym., 1999b). Ulkoiset vihjeet voivat auttaa Parkinsonin tautia sairastavia tuottamaan voimakkaampaa ääntä (Ho ym., 1999a; Sapir, 2014). Onkin mahdollista, että tässä tutkimuksessa tehtävätyöskentely kohensi PT-ryhmän puhe-suoritusta (kts. luku 6.1.2). Myös äänenpainetasojen suuri yksilöllinen ja tilannekohtainen vaihtelu (Castellana ym., 2017; Leino ym., 2008) voi vaikuttaa siihen, etteivät ryhmien väliset erot mahdollisesti tule esiin näin pienessä aineistossa.

Tutkimuksessa PT-ryhmällä havaittiin SPL:n ja VAI:n välillä heikko positiivinen korrelaatio, joka ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kuitenkin Parkinsonin tautia sairastavien äänenpainetason lasku saattoi olla yhteydessä vokaalien sentralisaatioon, eli vokaaliartikulaatio oli mahdollisesti selkeämpää voimakkaammalla äänellä tuotetussa puheessa. Äänen voimistamisen onkin havaittu olevan yhteydessä Parkinsonin tautia sairastavien artikulaation selkiytymiseen (Tjaden ym., 2013). Tässä tutkimuksessa SPL:n ja VAI:n muutokset johtuivat mahdollisesti tehtävien erilaisesta kognitiivisesta kuormituksesta, sillä VAI-arvo laski ryhmätasolla tarkasteltuna mahdollisesti haastavamman tehtävän aiheuttaman kognitiivisen kuormituksen seurauksena (kts. luku 6.1.1). Kognitiivisesti kuormittavampi puhetehtävä saattaa siis olla yhteydessä vokaalien sentralisaatioon ja äänenpainetason laskuun.

NT-ryhmällä havaittiin puolestaan tilastollisesti merkitsevä negatiivinen korrelaatio SPL:n ja VAI:n välillä. Neurologisesti terveillä ikääntyvillä äänenpainetason nousu oli siis yhteydessä vokaalien

sentralisaatioon. Hiljaisemmalla äänellä tuotettu puhe oli yhteydessä selkeämpään artikulaatioon päinvastoin kuin Parkinsonin tautia sairastavilla. Aiemmissä tutkimuksissa terveiden henkilöiden äänen voimistamisella ei ole havaittu selvää yhteyttä artikulaation selkiytymiseen toisin kuin Parkinsonin tautia sairastavilla (Koenig & Fuchs, 2019; Whitfield ym., 2018). Tämän tutkimuksen tulos on samansuuntainen kuin Dromeyn ja Batesin (2005) sekä Dromeyn ja Shimin (2008) tutkimuksissa, joissa terveiden henkilöiden artikulaatioliikkeet muuttuivat epätarkemmiksi kognitiivisen kuormituksen ja tarkkaavuuden hajauttamisen myötä, minkä lisäksi heidän äänenpainetasonsa kasvoi.

On mahdollista, että tässä tutkimuksessa kognitiivinen kuormitus aiheutti Parkinsonin tautia sairastavilla äänenpainetason laskun ja neurologisesti terveillä puolestaan äänenpainetason nousun. Molemmilla ryhmillä artikulaatio muuttui kuormituksen kasvaessa epätarkemmaksi, jolloin äänenpainetasolla oli negatiivinen yhteys terveiden artikulaatioon ja positiivinen yhteys Parkinsonin tautia sairastavien artikulaatioon. Tulokset vahvistavatkin käsitystä siitä, että äänen voimakkuuden vaihtelun taustalla olevat tekijät vaikuttavat mahdollisiin muutoksiin puheessa eri tavoin, ja vaikutukset voivat olla erilaisia Parkinsonin tautia sairastavilla ja neurologisesti terveillä henkilöillä. Äänenpainetasojen suuresta yksilöllisestä vaihtelusta (Castellana ym., 2017; Leino ym., 2008) johtuen mahdolliset erot eivät välttämättä nouse esiin pienessä aineistossa ryhmiä vertailtaessa. Korrelaatiota tutkimalla voidaankin saada mahdolliset erot paremmin esiin, sillä tarkastellaan muuttujapareja, jolloin huomioidaan yksilökohtainen muutoksen suunta ja suuruus.

## **6.2 Menetelmän pohdinta**

Tämän tutkimuksen tuloksia ei voida yleistää tutkittavien vähäisen lukumäärän sekä valikoituneisuuden vuoksi. Tutkimuksen vahvuuksina voidaan kuitenkin pitää ryhmien yhtenäistämistä sukupuolen ja iän perusteella. Sukupuoli vaikuttaa formantti- ja VAI-arvoihin (Skodda ym., 2012). Myös iän on todettu vaikuttavan formanttiarvoihin, ja ikääntymisen myötä tapahtuvissa muutoksissa saattaa olla sukupuolten välisiä eroja (Albuquerque ym., 2023; Eichhorn ym., 2018). Ryhmien yhtenäistäminen näiltä osin parantaa siis ryhmien välistä tulosten vertailtavuutta.

Tutkimuksen sisäänottokriteereihin liittyy kuitenkin molempien ryhmien osalta huomioitavia seikkoja. PT-ryhmässä epäily Parkinsonin taudista riitti tutkimuksen sisäänottoon. Kahdelta ryhmän tutkittavalta ei ollut saatavilla sairaustietoja, ja lisäksi yhden tutkittavan diagnoosi oli epäselvä. On siis mahdollista, että osalla PT-ryhmän tutkittavista ei ole Parkinsonin tautia. Puolestaan NT-ryhmässä tutkittavat olivat oman ilmoituksen perusteella neurologisesti terveitä. Etenevät neurologiset sairaudet yleistyvät ikääntymisen myötä (Abate ym., 2017), ja onkin mahdollista, että osalla tämän tutkimuksen terveistä osallistujista on jokin diagnosoimaton neurologinen sairaus, joka voi vaikuttaa puhetehtävistä suoriutumiseen. Lisäksi Parkinsonin tautiin jo varhaisessa vaiheessa yleisesti liittyvä lievä kognitiivinen heikentyminen (Yarnall ym., 2014) voi vaikuttaa puheeseen (Strinzel ym., 2017), mutta sen mahdollisuutta ei pystytty huomioimaan tässä tutkimuksessa.

Asento voi vaikuttaa puheentuottoon, ja erityisesti liikehäiriösairauksiin voi liittyä asennon ylläpitämisen vaikeuksia (Rusz ym., 2021). Tämä oli huomioitu aineiston tallennustilanteessa vakioimalla puheasento eri puhetehtävissä, mikä parantaa niiden välistä vertailtavuutta. Lisäksi tutkittavat istuivat tukevassa tuolissa ja luentateksti sekä sarjakuva oli asetettu nuottitelineeseen, millä pyrittiin varmistamaan hyvä puheasento. Myös Parkinsonin taudin hoidossa käytettävät lääkkeet voivat vaikuttaa puheeseen (Rusz ym., 2013a; Tykalova ym., 2015; Vandana ym., 2021). Tieto tutkittavien lääkityksestä sekä lääkkeenoton ajankohdasta suhteessa tutkimushetkeen olisikin tärkeää kerätä ja raportoida. Tässä tutkimuksessa PT-ryhmän tutkittavilla oli käytössä erityyppisiä lääkkeitä Parkinsonin taudin hoitoon, mutta lääkkeenoton ajankohta suhteessa tutkimushetkeen ei ole tiedossa, joten lääkityksen mahdollisia vaikutuksia tutkimustilanteessa suoriutumiseen ei voitu arvioida.

Tässä tutkimuksessa analyysiin valittujen vokaalien lukumäärä päätettiin aiempien tutkimusten (Penttilä ym., 2022; Rusz ym., 2013b; Skodda ym., 2012; Skodda ym., 2011b) sekä Ruszin ja kollegoiden (2021) suosituksen perusteella. Vokaalien määrän vaikutuksesta VAI-arvoon ei kuitenkaan ole löydettävissä tutkimusta. Tässä tutkimuksessa kuuden tutkittavan spontaanipuhenäytteistä ei saatu analysoitavaksi kymmentä /u/-vokaalia (kts. luku 4.3), mikä saattaa osaltaan vaikuttaa yksittäisten tutkittavien VAI-arvoihin. Jatkossa olisikin tärkeää tutkia vokaaliartikulaatioindeksin reliabiliteettia eri vokaalimäärillä sekä pyrkiä varmistamaan, että puhenäytteistä saadaan haluttu määrä analysoitavia vokaaleja.

Formanttiarvoissa esiintyy luonnollista vaihtelua, johon vaikuttavat esimerkiksi vokaalin painollisuus sekä sitä ympäröivät konsonantit (Iivonen, 2012). Myös vokaalin kesto voi vaikuttaa formanttiarvoihin. Tässä tutkimuksessa vaihtelu pyrittiin ottamaan huomioon valitsemalla analyysiin

10 esiintymää kustakin kulmavokaalista. Lisäksi luentapuhetehtävästä valittiin analyysiin sekä pitkiä että lyhyitä vokaaleja, mutta spontaanipuhetehtävässä vokaalin kestoa ei ollut mahdollista huomioida. Myös analyysiin valittu ajallinen kohta vokaalista voi vaikuttaa formanttiarvoon, esimerkiksi F2/u/-arvossa voi olla huomattavaa vaihtelua riippuen mittauspisteestä (Kent & Vorperian, 2018). Useat menetelmälliset valinnat voivat siis vaikuttaa VAI-arvoon.

### **6.3 Työn kliininen merkitys ja jatkotutkimusaiheita**

Parkinsonin taudin diagnostiikka on haastavaa (Armstrong & Okun, 2020) ja tällä hetkellä diagnosointi tehdään vaiheessa, jossa sairauden aiheuttamat solutason muutokset ovat edenneet pitkälle (Braak ym., 2003). Akustisesti mitattavissa olevia puheen muutoksia voi kuitenkin esiintyä jo Parkinsonin taudin diagnosointivaiheessa ja jopa ennen motoristen oireiden ilmaantumista (Rusz ym., 2013b; Skrabal ym., 2022). Puheen akustista analyysia voitaisiin mahdollisesti hyödyntää osana Parkinsonin taudin diagnosointia ja etenemisen seurantaa, sillä se on kajoamaton ja edullinen menetelmä. VAI on herkkä tunnistamaan vokaalien sentralisaatiota (Sapir ym., 2011), ja sillä onkin saatu eroteltua Parkinsonin tautia sairastavat henkilöt terveistä (Penttilä ym., 2022; Rusz ym., 2013b; Sapir ym., 2011; Skodda ym., 2012; Skodda ym., 2011b; Skrabal ym., 2022). Aiemmistä tutkimuksista poiketen luenta- tai spontaanipuhetehtävä ei tässä tutkimuksessa erotellut Parkinsonin tautia sairastavia neurologisesti terveistä ikä- ja sukupuoliverrokeista, vaan molemmilla ryhmillä ilmeni samankaltaisia muutoksia puhetehtävän kognitiivisen kuormituksen kasvaessa. Jotta vokaaliartikulaation akustista mittaamista voitaisiin hyödyntää Parkinsonin taudin diagnostiikan tukena, tarvittaisiin lisää tietoa siitä, millainen puhetehtävä varmimmin erottelisi Parkinsonin tautia sairastavat neurologisesti terveistä jo taudin varhaisessa vaiheessa.

Sairauden diagnostiikassa tai etenemisen seurannassa käytettävän tehtävän tulisi olla helposti toteutettava ja samanlaisena toistettava. Toistettavuus tekisi esimerkiksi taudin etenemiseen liittyvien muutosten seurannasta luotettavampaa. Vakioidussa tehtävässä tulokset olisivat vertailukelpoisempia, kun tehtävä toistuisi mahdollisimman samanlaisena ja analysoitavat vokaalit ovat samanlaisesta äänneympäristöstä. Tällöin puhetehtävän sisältö voitaisiin suunnitella siten, että esimerkiksi sanapainon, koartikulaation ja vokaalin keston vaikutukset artikulaatioon olisi huomioitu. Sisällöltään vakioidussa puhetehtävässä voitaisiin myös varmistaa, että analyysiin saadaan haluttu

määrä analysoitavia vokaaleja, mikä voi olla haasteena esimerkiksi spontaanipuhetehtävässä (kts. luku 4.3).

Kognitiivisen kuormituksen kasvaminen voi aiheuttaa vokaalien sentralisaatiota myös terveillä henkilöillä (Huttunen ym., 2011; Koenig & Fuchs, 2019) joten yleisesti kuormittava tehtävä ei välttämättä erottele varhaisvaiheen Parkinsonin tautia sairastavia neurologisesti terveistä. Tehtävän vaativuustaso tulisi huomioida myös taudin etenemisen seurannan kannalta, jotta suoriutuminen olisi mahdollista myös henkilöiltä, joilla on pidemmälle edennyt dysartria tai mahdollista kognitiivista heikentymää. Toisaalta hyvin yksinkertainen tehtävä, kuten pitkä fonaatio, ei välttämättä erottele sairaita terveistä taudin varhaisessa vaiheessa, ja jatkuvaa puhetta sisältävä tehtävä voikin tuoda Parkinsonin tautiin liittyvät artikulaation muutokset paremmin esiin (Rusz ym., 2013b). Tehtävä, jossa tarkkaavuutta joudutaan hajauttamaan suorittamalla samanaikaisesti motorista ja puhetehtävää, kasvattaa kognitiivista kuormitusta, ja saattaa vaikuttaa Parkinsonin tautia sairastavien suoriutumiseen neurologisesti terveitä enemmän (Bunton & Keintz, 2008; Dromey ym., 2010; Ho ym., 2002). Tällaisen tehtävän soveltuvuutta Parkinsonin taudin diagnostiikan ja etenemisen seurannan tueksi kannattaisikin tutkia jatkossa.

Jotta VAI:a voitaisiin hyödyntää Parkinsonin taudin etenemisen seurannan tukena, tarvittaisiin lisää pitkittäistutkimusta sekä tutkimuksia, jossa tutkittavien dysartrian vaikeusaste olisi kontrolloitu. Tällöin voitaisiin saada tietoa tyypillisistä VAI-arvoista taudin eri vaiheissa sekä siitä, mikä on kliinisesti merkittävä muutos arvossa, eikä satunnaista vaihtelua. AAVISTUS-hankkeesta tullaankin saamaan tietoa Parkinsonin taudin etenemiseen liittyvistä vokaaliartikulaation muutoksista. Myös kielen ja murteen mahdollista vaikutusta VAI-arvoon kannattaisi tutkia. Aiemmissä tutkimuksissa on saatu erilaisia tuloksia eri kielten puhujien VAI-arvoista (Penttilä ym., 2022; Sapir ym., 2011; Skodda ym., 2011b), mutta tutkimusten väliset erot tutkittavissa ja menetelmissä voivat osaltaan vaikuttaa eroihin tuloksissa. Vokaaliformanteissa tiedetään kuitenkin olevan kielikohtaisia eroja (Iivonen, 2012), joten on mahdollista, että puhujan kieli tai jopa murre (Williams & Escudero, 2014) vaikuttaa myös VAI-arvoon. Erityisesti kliinisen työn kannalta olisi myös tärkeää jatkaa VAI:n automatisoinnin (Convey ym. 2023; Liu ym., 2021) kehittämistä.

Tässä tutkimuksessa puhetehtävien väliset erot VAI-arvossa johtuivat F2/u/-arvosta ja PT-ryhmällä myös F2/i/-arvosta. Vaikka ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa VAI- eikä formanttiarvoissa, puhetehtävien väliset erot tulivat hieman selkeämmin esiin Parkinsonin tautia sairastavilla. Aiemmissä tutkimuksissa F2/i/- ja F2/u/-formanttiarvojen suhde ja pelkkä F2/u/-arvo

ovat erotelleet Parkinsonin tautia sairastavat terveistä jopa paremmin kuin VAI (Rusz ym., 2013b; Sapir ym., 2007). Jatkossa voitaisiinkin tutkia laajemmilla aineistoilla ja erilaisilla puhetehtävillä, erottelisiko F2/i/- ja F2/u/-formanttiarvojen suhde tai F2/u/-arvo VAI:a paremmin Parkinsonin tautia sairastavat henkilöt neurologisesti terveistä ikäverrokeista jo taudin varhaisessa vaiheessa sukupuolesta riippumatta. F2/i/- ja F2/u/-formanttiarvojen suhteen tai F2u-arvon mittaaminen olisi VAI:a nopeampi toteuttaa, ja ne voisivatkin olla potentiaalisia työkaluja Parkinsonin taudin diagnostiikan tueksi.

Tämä tutkimus tuotti uutta tietoa vokaaliartikulaatioindeksin vaihtelusta luenta- ja spontaanipuheen tehtävissä suomenkielisillä varhaisvaiheen Parkinsonin tautia sairastavilla ja neurologisesti terveillä ikääntyvillä naisilla. Tutkimuksessa havaittiin, että niin Parkinsonin tautia sairastavien kuin terveiden vokaaliartikulaation tarkkuudessa oli eroja puhetehtävien välillä. Puhetehtävän mahdolliset vaikutukset artikulaatioon ja puheen ymmärrettävyyteen tulisikin ottaa huomioon kliinisessä työssä myös muilla puhujaryhmillä ja muita puheen arviointimenetelmiä käytettäessä. Lisäksi tarvitaan enemmän tietoa neurologisesti terveiden henkilöiden formanttiarvoista ja tyypilliseen ikääntymiseen liittyvistä muutoksista, jotta VAI:a ja muita akustisia menetelmiä voidaan hyödyntää erottamaan sairastaneet terveistä.

## 7 LÄHDELUETTELO

- Aarsland, D., Andersen, K., Larsen, J. P. & Lolk, A. (2003). Prevalence and characteristics of dementia in Parkinson disease: An 8-year prospective study. *Archives of Neurology (Chicago)*, 60(3), 387–392. <https://doi.org/10.1001/archneur.60.3.387>
- Abate, K. H., Abyu, G. Y., Ahmed, M. B., Alvis-Guzman, N., Ansari, H., Anwari, P., Asayesh, H., Atey, T. M., Frinel, E., Barac, A., Barboza, M., Bärnighausen, T., Bedi, N., Bensenor, I. M., Betsu, B. D., Biryukov, S., Boneya, D. J., Bulto, L. N. B., Carabin, H., ... Vos, T. (2017). Global, regional, and national burden of neurological disorders during 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet Neurology*, 16(11), 877–897. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(17\)30299-5](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(17)30299-5)
- Abur, D., MacPherson, M. K., Shembel, A. C. & Stepp, C. E. (2023). Acoustic measures of voice and physiologic measures of autonomic arousal during speech as a function of cognitive load in older adults. *Journal of Voice*, 37(2), 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.12.027>
- Adams, S. G., Winnell, J. & Jog, M. (2010). Effects of interlocutor distance, multi-talker background noise, and a concurrent manual task on speech intensity in Parkinson’s disease. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 18(4), 1–.
- Albuquerque, L., Oliveira, C., Teixeira, A., Sa-Couto, P. & Figueiredo, D. (2023). A comprehensive analysis of age and gender effects in European Portuguese oral vowels. *Journal of Voice*, 37(1), 143.e13–143.e29. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.10.021>
- Arias-Vergara, T., Vasquez-Correa, J. C. & Orozco-Arroyave, J. R. (2017). Parkinson’s disease and aging: Analysis of their effect in phonation and articulation of speech. *Cognitive Computation*, 9(6), 731–748. <https://doi.org/10.1007/s12559-017-9497-x>
- Armstrong, M. J. & Okun, M. S. (2020). Diagnosis and treatment of Parkinson disease: A review. *JAMA: the Journal of the American Medical Association*, 323(6), 548–560. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.22360>
- Aulanko, R. & Iivonen, A. (2009). Puheen kuvaustapoja. Teoksessa: O. Aaltonen (toim.), *Puhuva ihminen: puhetieteiden perusteet* (s. 149–160). Otava.
- Bailey, D. J. & Dromey, C. (2015). Bidirectional interference between speech and nonspeech tasks in younger, middle-aged, and older adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58(6), 1637–1653. [https://doi.org/10.1044/2015\\_JSLHR-S-14-0083](https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-S-14-0083)
- Bilodeau-Mercure, M. & Tremblay, P. (2016). Age differences in sequential speech production: Articulatory and physiological factors. *Journal of the American Geriatrics Society (JAGS)*, 64(11), e177–e182. <https://doi.org/10.1111/jgs.14491>
- Boersma, P. & Weenink, D. (2022). *Praat: doing phonetics by computer* [tietokoneohjelmisto]. Versio 6.2.10. <http://www.praat.org>
- Braak, H., Tredici, K. D., Rüb, U., de Vos, R. A. I., Jansen Steur, E. N. H. & Braak, E. (2003). Staging of brain pathology related to sporadic Parkinson’s disease. *Neurobiology of Aging*, 24(2), 197–211. [https://doi.org/10.1016/S0197-4580\(02\)00065-9](https://doi.org/10.1016/S0197-4580(02)00065-9)



- Brabenec, L., Mekyska, J., Galaz, Z. & Rektorova, I. (2017). Speech disorders in Parkinson's disease: Early diagnostics and effects of medication and brain stimulation. *Journal of Neural Transmission*, 124(3), 303–334. <https://doi.org/10.1007/s00702-017-1676-0>
- Bryans, L., Palmer, A. D., Anderson, S., Schindler, J. & Graville, D. J. (2021). The impact of Lee Silverman Voice Treatment (LSVT LOUD®) on voice, communication, and participation: Findings from a prospective, longitudinal study. *Journal of Communication Disorders*, 89, 106031–106031. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2020.106031>
- Bunton, K. & Keintz, C. K. (2008). The use of a dual-task paradigm for assessing speech intelligibility in clients with Parkinson disease. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 16(3), 141–155.
- Castellana, A., Carullo, A., Astolfi, A., Puglisi, G. E. & Fugiglando, U. (2017). Intra-speaker and inter-speaker variability in speech sound pressure level across repeated readings. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(4), 2353–2363. <https://doi.org/10.1121/1.4979115>
- Chuma, T., Faruque Reza, M., Ikoma, K. & Mano, Y. (2006). Motor learning of hands with auditory cue in patients with Parkinson's disease. *Journal of Neural Transmission*, 113(2), 175–185. <https://doi.org/10.1007/s00702-005-0314-4>
- Ciocca, V. & Whitehill, T. L. (2012). The Acoustic Measurement of Vowels. Teoksessa K. Pollock & F. E. Gibbon (toim.), *Handbook of vowels and vowel disorders* (s. 220–261). Taylor & Francis Group.
- Clark, J. P., Adams, S. G., Dykstra, A. D., Moodie, S. & Jog, M. (2014). Loudness perception and speech intensity control in Parkinson's disease. *Journal of Communication Disorders*, 51, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2014.08.001>
- Convey, R. B., Ihalainen, T., Liu, Y., Räsänen, O., Ylinen, S. & Penttilä, N. (2023). A comparative study of automatic vowel articulation index and auditory-perceptual assessments of speech intelligibility in Parkinson's disease. *International Journal of Speech Language Pathology*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/17549507.2023.2251725>
- Cooke, M., King, S., Garnier, M. & Aubanel, V. (2014). The listening talker: A review of human and algorithmic context-induced modifications of speech. *Computer Speech & Language*, 28(2), 543–571. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2013.08.003>
- Corder, G. W. & Foreman, D. I. (2014). *Nonparametric statistics: a step-by-step approach* (2. painos). Wiley.
- Corthals, P. (2004). Sound pressure level of running speech: Percentile level statistics and equivalent continuous sound level. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 56(3), 170–181. <https://doi.org/10.1159/000076939>
- Daoudi, K., Das, B., Tykalova, T., Klempir, J. & Rusz, J. (2022). Speech acoustic indices for differential diagnosis between Parkinson's disease, multiple system atrophy and progressive supranuclear palsy. *NPJ Parkinson's Disease*, 8(1), 142–142. <https://doi.org/10.1038/s41531-022-00389-6>

- D'Ascanio, S., Piras, F., Banaj, N., Assogna, F., Pellicano, C., Bassi, A., Spalletta, G. & Piras, F. (2023). Narrative discourse production in Parkinson's disease: Decoupling the role of cognitive-linguistic and motor speech changes. *Heliyon*, 9(8), e18633–. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18633>
- dos Santos, V. B., Ayres, A., Kieling, M. L. M., Miglorini, E. C., Jardim, L. B., Schumacher-Schuh, A. F., Rieder, C. R. de M., Castilhos, R. M. de, Spencer, K., Rothe-Neves, R. & Olchik, M. R. (2023). Differences in spontaneous speech fluency between Parkinson's disease and spinocerebellar ataxia type 3. *Frontiers in Neurology*, 14, 1179287–1179287. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1179287>
- Dromey, C. & Bates, E. (2005). Speech interactions with linguistic, cognitive, and visuomotor tasks. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 48(2), 295–305. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2005/020\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2005/020))
- Dromey, C. & Benson, A. (2003). Effects of concurrent motor, linguistic, or cognitive tasks on speech motor performance. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46(5), 1234–1246. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2003/096\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2003/096))
- Dromey, C., Jarvis, E., Sondrup, S., Nissen, S., Foreman, K. B. & Dibble, L. E. (2010). Bidirectional interference between speech and postural stability in individuals with Parkinson's disease. *International Journal of Speech Language Pathology*, 12(5), 446–454. <https://doi.org/10.3109/17549507.2010.485649>
- Dromey, C. & Shim, E. (2008). The effects of divided attention on speech motor, verbal fluency, and manual task performance. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(5), 1171–1182. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/06-0221\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/06-0221))
- Duffy, J. R. (2020). *Motor speech disorders: Substrates, differential diagnosis, and management* (4. painos). Elsevier.
- Eichhorn, J. T., Kent, R. D., Austin, D. & Vorperian, H. K. (2018). Effects of aging on vocal fundamental frequency and vowel formants in men and women. *Journal of Voice*, 32(5), 644.e1–644.e9. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2017.08.003>
- Fletcher, A. R., McAuliffe, M. J., Lansford, K. L. & Liss, J. M. (2015). The relationship between speech segment duration and vowel centralization in a group of older speakers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(4), 2132–2139. <https://doi.org/10.1121/1.4930563><https://doi.org/10.1121/1.4930563><https://doi.org/10.1121/1.4930563>
- Forsaa, E. B., Larsen, J. P., Wentzel-Larsen, T. & Alves, G. (2010). What predicts mortality in Parkinson disease? : A prospective population-based long-term study. *Neurology*, 75(14), 1270–1276. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181f61311>
- Fournet, M., Chiuve, S. C. & Laganaro, M. (2022). Attentional demand of motor speech encoding: Evidence from Parkinson's disease. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 65(10), 3758–3775. [https://doi.org/10.1044/2022\\_JSLHR-22-00096](https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-22-00096)

- Fox, C. M., Morrison, C. E., Ramig, L. O., & Sapir, S. (2002). Current perspectives on the Lee Silverman Voice Treatment (LSVT) for individuals with idiopathic Parkinson disease. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 11(2), 111–123. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2002/012\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2002/012))
- Fox, C. M. & Ramig, L. O. (1997). Vocal sound pressure level and self-perception of speech and voice in men and women with idiopathic Parkinson disease. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 6(2), 85–94. <https://doi.org/10.1044/1058-0360.0602.85>
- Freeman, J. S., Cody, F. W. & Schady, W. (1993). The influence of external timing cues upon the rhythm of voluntary movements in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 56(10), 1078–1084. <https://doi.org/10.1136/jnnp.56.10.1078>
- Hasegawa-Johnson, M., Pizza, S., Alwan, A., Alwan, J. S. & Haker, K. (2003). Vowel category dependence of the relationship between palate height, tongue height, and oral area. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46(3), 738–753. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2003/059\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2003/059))
- Hely, M. A., Morris, J. G. L., Reid, W. G. J. & Trafficante, R. (2005). Sydney multicenter study of Parkinson's disease: Non-L-dopa-responsive problems dominate at 15 years. *Movement Disorders*, 20(2), 190–199. <https://doi.org/10.1002/mds.20324>
- Hirsch, L., Jette, N., Frolkis, A., Steeves, T. & Pringsheim, T. (2016). The Incidence of Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis. *Neuroepidemiology*, 46(4), 292–300. <https://doi.org/10.1159/000445751>
- Ho, A. K., Bradshaw, J. L., Iannsek, R. & Alfredson, R. (1999a). Speech volume regulation in Parkinson's disease: Effects of implicit cues and explicit instructions. *Neuropsychologia*, 37(13), 1453–1460. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00067-6)
- Ho, A. K., Iannsek, R. & Bradshaw, J. L. (1999b). Regulation of parkinsonian speech volume: The effect of interlocuter distance. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 67(2), 199–202. <https://doi.org/10.1136/jnnp.67.2.199>
- Ho, A. K., Iannsek, R. & Bradshaw, J. L. (2002). The effect of a concurrent task on parkinsonian speech. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(1), 36–47. <https://doi.org/10.1076/jcen.24.1.36.972>
- Ho, A. K., Iannsek, R., Marigliani, C., Bradshaw, J. L. & Gates, S. (1998). Speech impairment in a large sample of patients with Parkinson's disease. *Behavioural Neurology*, 11(3), 131–137. <https://doi.org/10.1155/1999/327643>
- Hodge, M. (2012). Development of the vowel space in children: Anatomical and acoustic aspects. Teoksessa K. Pollock & F. E. Gibbon (toim.), *Handbook of vowels and vowel disorders* (s. 26–62). Taylor & Francis Group
- Hodge, M. & Whitehill, T. (2012). Intelligibility Impairments. Teoksessa J. S. Damico, N. Muller & M. J. Ball (toim.), *The Handbook of Language and Speech Disorders* (s. 99–114). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444318975.ch4>

- Huber, J. E. & Chandrasekaran, B. (2006). Effects of increasing sound pressure level on lip and jaw movement parameters and consistency in young adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 49(6), 1368–1379. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2006/098\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2006/098))
- Huttunen, K. H., Keränen, H. I., Pääkkönen, R. J., Eskelinen-Rönkä, R. P. & Leino, T. K. (2011). Effect of cognitive load on articulation rate and formant frequencies during simulator flights. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(3), 1580–1593. <https://doi.org/10.1121/1.3543948>
- Iivonen, A. (2012). Kielten vokaalit kuuloanalogisessa vokaalikartassa. *Puhe ja kieli*, 32(1), 17–43. <https://journal.fi/pk/article/view/6332>
- Illner, V., Tykalova, T., Skrabal, D., Klempir, J. & Ruz, J. (2023). Automated vowel articulation analysis in connected speech among progressive neurological diseases, dysarthria types, and dysarthria severities. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 66(8), 2600–2621. [https://doi.org/10.1044/2023\\_JSLHR-22-00526](https://doi.org/10.1044/2023_JSLHR-22-00526)
- Johansson, I-L., Samuelsson, C. & Müller, N. (2022). Picture description in the assessment of connected speech intelligibility in Parkinson’s disease: A pilot study. *Folia Phoniatica et Logopaedica*. <https://doi.org/10.1159/000521906>
- Johnson, A. & Proctor, R. W. (2003). *Attention: Theory and practice* (1. painos). SAGE Publications, Incorporated. <https://doi.org/10.4135/9781483328768>
- Kearney, E., Giles, R., Haworth, B., Faloutsos, P., Baljko, M. & Yunusova, Y. (2017). Sentence-level movements in Parkinson’s disease: Loud, clear, and slow speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 60(12), 3426–3440. [https://doi.org/10.1044/2017\\_JSLHR-S-17-0075](https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-S-17-0075)
- Kempler, D. & Van Lancker, D. (2002). Effect of speech task on intelligibility in dysarthria: A case study of Parkinson’s disease. *Brain and Language*, 80(3), 449–464. <https://doi.org/10.1006/brln.2001.2602>
- Kent, R. D. & Rountrey, C. (2020). What acoustic studies tell us about vowels in developing and disordered speech. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 29(3), 1749–1778. [https://doi.org/10.1044/2020\\_AJSLP-19-00178](https://doi.org/10.1044/2020_AJSLP-19-00178)
- Kent, R. D. & Vorperian, H. K. (2018). Static measurements of vowel formant frequencies and bandwidths: A review. *Journal of Communication Disorders*, 74, 74–97. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2018.05.004>
- Kim, H., Hasegawa-Johnson, M. & Perlman, A. (2011). Vowel contrast and speech intelligibility in dysarthria. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 63(4), 187–194. <https://doi.org/10.1159/000318881>
- Kodali, M., Kadiri, S. R. & Alku, P. (2024). Automatic classification of the severity level of Parkinson’s disease: A comparison of speaking tasks, features, and classifiers. *Computer Speech & Language*, 83, 101548-. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2023.101548>

- Koenig, L.L. & Fuchs, S. (2019). Vowel formants in normal and loud speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(5), 1278–1295. [https://doi.org/10.1044/2018\\_JSLHR-S-18-0043](https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-18-0043)
- Kontsas, J. & Luoto-Ellä, M. (2022). *Vokaaliartikulaation erot puhetehtävittäin Parkinsonin tautia sairastavilla* [kandidaatintutkielma, Tampereen yliopisto]. Trepo Tampereen yliopiston julkaisuarkisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202211098284>
- Kurihara, K., Nakagawa, R., Ishido, M., Yoshinaga, Y., Watanabe, J., Hayashi, Y., Mishima, T., Fujioka, S. & Tsuboi, Y. (2020). Impact of motor and nonmotor symptoms in Parkinson disease for the quality of life: The Japanese Quality-of-Life Survey of Parkinson Disease (JAQPAD) study. *Journal of the Neurological Sciences*, 419, 117172–117172. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2020.117172>
- Kuruville-Dugdale, M., Dietrich, M., McKinley, J. D. & Deroche, C. (2020). An exploratory model of speech intelligibility for healthy aging based on phonatory and articulatory measures. *Journal of Communication Disorders*, 87, 105995–105995. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2020.105995>
- Lam, J. & Tjaden, K. (2016). Clear speech variants: An acoustic study in Parkinson's disease. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 59(4), 631–646. [https://doi.org/10.1044/2015\\_JSLHR-S-15-0216](https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-S-15-0216)
- Lansford, K. L. & Liss, J. M. (2014). Vowel acoustics in dysarthria: Mapping to perception. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57(1), 68–80. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2013/12-0263\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2013/12-0263))
- Lehman, D. A., Toole, T., Lofald, D. & Hirsch, M. A. (2005). Training with verbal instructional cues results in near-term improvement of gait in people with Parkinson disease. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 29(1), 2–8. <https://doi.org/10.1097/01.NPT.0000282256.36208.cf>
- Leino, T., Laukkanen, A.-M., Ilomäki, I. & Mäki, E. (2008). Assessment of vocal capacity of Finnish university students. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 60(4), 199–209. <https://doi.org/10.1159/000133651>
- Liikehäiriösairauksien liitto ry. (julkaisuaika tuntematon a). *Parkinsonin tauti*. Haettu 16.11.2023 osoitteesta <https://www.liikehairio.fi/liikehairiosairaudet/parkinsonin-tauti/>
- Liikehäiriösairauksien liitto ry. (julkaisuaika tuntematon b). *Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS-Fin, V). Modifioitu Hoehn & Yahr -luokitus*. Haettu 16.11.2023 osoitteesta [https://www.liikehairio.fi/content/uploads/2021/03/updrs-fin\\_v.pdf](https://www.liikehairio.fi/content/uploads/2021/03/updrs-fin_v.pdf)
- Liikehäiriösairauksien liitto ry. (julkaisuaika tuntematon c). *Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS-Fin, III). Parkinson-potilaan motorinen tutkimus*. Haettu 16.11.2023 osoitteesta [https://www.liikehairio.fi/content/uploads/2021/03/updrs-fin\\_iii.pdf](https://www.liikehairio.fi/content/uploads/2021/03/updrs-fin_iii.pdf)

- Liu, Y., Penttilä, N., Ihalainen, T., Lintula, J., Convey, R. & Räsänen, O. (2021). Language-independent approach for automatic computation of vowel articulation features in dysarthric speech assessment. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 29, 2228–2243. <https://doi.org/10.1109/TASLP.2021.3090973>
- MacPherson, M. K. (2019). Cognitive load affects speech motor performance differently in older and younger adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(5), 1258–1277. [https://doi.org/10.1044/2018\\_JSLHR-S-17-0222](https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-17-0222)
- MacPherson, M. K., Abur, D. & Stepp, C. E. (2017). Acoustic measures of voice and physiologic measures of autonomic arousal during speech as a function of cognitive load. *Journal of Voice*, 31(4), 504.e1–504.e9. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.10.021>
- Mar, R. A. (2004). The neuropsychology of narrative: Story comprehension, story production and their interrelation. *Neuropsychologia*, 42(10), 1414–1434. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.016>
- Martel Sauvageau, V., Roy, J.-P., Langlois, M. & Macoir, J. (2015). Impact of the LSVT on vowel articulation and coarticulation in Parkinson's disease. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 29(6), 424–440. <https://doi.org/10.3109/02699206.2015.1012301>
- Miller, N. (2017). Communication changes in Parkinson's disease. *Practical Neurology*, 17(4), 266–274. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2017-001635>
- Miller, N. (2013). Measuring up to speech intelligibility. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 48(6), 601–612. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12061>
- Miller, N., Allcock, L., Jones, D., Noble, E., Hildreth, A. J. & Burn, D. J. (2007). Prevalence and pattern of perceived intelligibility changes in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 78(11), 1188–1190. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2006.110171>
- Miller, N., Deane, K. H. O., Jones, D., Noble, E. & Gibb, C. (2011). National survey of speech and language therapy provision for people with Parkinson's disease in the United Kingdom: therapists' practices. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 46(2), 189–201. <https://doi.org/10.3109/13682822.2010.484849>
- Moreno-Torres, I. & Nava, E. (2020). Consonant and vowel articulation accuracy in younger and middle-aged Spanish healthy adults. *PloS One*, 15(11), e0242018–e0242018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242018>
- Mou, Z., Teng, W., Ouyang, H., Chen, Y., Liu, Y., Jiang, C., Zhang, J. & Chen, Z. (2019). Quantitative analysis of vowel production in cerebral palsy children with dysarthria. *Journal of Clinical Neuroscience*, 66, 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2019.05.020>
- Muñoz-Vigueras, N., Prados-Roman, E., Valenza, M. C., Granados-Santiago, M., Cabrera-Martos, I., Rodríguez-Torres, J. & Torres-Sanchez, I. (2021). Speech and language therapy treatment on hypokinetic dysarthria in Parkinson disease: Systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*, 35(5), 639–655. <https://doi.org/10.1177/0269215520976267>

- Neel, A. T. (2009). Effects of loud and amplified speech on sentence and word intelligibility in Parkinson disease. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52(4), 1021–1033. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/08-0119\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/08-0119))
- Nummenmaa, L. (2009). *Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät* (1. painos, uudistettu laitos). Tammi.
- Oliveira, R. M., Gurd, J. M., Nixon, P., Marshall, J. C. & Passingham, R. E. (1997). Micrographia in Parkinson's disease: The effect of providing external cues. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 63(4), 429–433. <https://doi.org/10.1136/jnnp.63.4.429>
- Olsen, W. O. (1998). Average speech levels and spectra in various speaking/listening conditions: A summary of the Pearson, Bennett, & Fidell (1977) report. *American Journal of Audiology*, 7(2), 21–25. [https://doi.org/10.1044/1059-0889\(1998/012\)](https://doi.org/10.1044/1059-0889(1998/012))
- Penttilä, N. (2019). *Miten puhe sujuu? : Tyypillisen ja poikkeavan puheen sujuvuuden piirteitä* [väitöskirja, Tampereen yliopisto]. Trepo Tampereen yliopiston julkaisuarkisto. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1132-2>
- Penttilä, N., Ihalainen, T., Lintula, J., Niinisaari, S. & Rantala, L. (2022). Vokaaliartikulaation muutokset Parkinsonin taudissa. Pilottitutkimus. *Puhe Ja Kieli*, 42(3), 223–238. <https://doi.org/10.23997/pk.126148>
- Penttilä, N., Korpijaakko-Huuhka, A.-M. & Kent, R. D. (2019). Disfluency clusters in speakers with and without neurogenic stuttering following traumatic brain injury. *Journal of Fluency Disorders*, 59, 33–51. <https://doi.org/10.1016/j.jfludis.2019.01.001>
- Polychronis, S., Niccolini, F., Pagano, G., Yousaf, T. & Politis, M. (2019). Speech difficulties in early de novo patients with Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 64, 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2019.04.026>
- Pomree, T., Balaguer, M., Mauclair, J., Pinquier, J. & Woisard, V. (2022). Intelligibility and comprehensibility: A Delphi consensus study. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 57(1), 21–41. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12672>
- Pomree, T., Balaguer, M., Pinquier, J., Mauclair, J., Woisard, V. & Speyer, R. (2021). Relationship between phoneme-level spectral acoustics and speech intelligibility in healthy speech: A systematic review. *Speech, Language and Hearing*, 24(2), 105–132. <https://doi.org/10.1080/2050571X.2021.1913300>
- Prins, R. & Bastiaanse, R. (2004). Analysing the spontaneous speech of aphasic speakers. *Aphasiology*, 18(12), 1075–1091. <https://doi.org/10.1080/02687030444000534>
- Ramig, L., Halpern, A., Spielman, J., Fox, C. & Freeman, K. (2018). Speech treatment in Parkinson's disease: Randomized controlled trial (RCT). *Movement Disorders*, 33(11), 1777–1791. <https://doi.org/10.1002/mds.27460>

- Ramig, L. O., Sapir, S., Countryman, S., Pawlas, A. A., O'Brien, C., Hoehn, M. & Thompson, L. L. (2001). Intensive voice treatment (LSVT®) for patients with Parkinson's disease: A 2 year follow up. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 71(4), 493–498. <https://doi.org/10.1136/jnnp.71.4.493>
- Rastatter, M. P. & Jacques, R. D. (1990). Formant frequency structure of the aging male and female vocal tract. *Folia Phoniatrica*, 42(6), 312–319. <https://doi.org/10.1159/000266088>
- Rastatter, M. P., McGuire, R. A., Kalinowski, J. & Stuart, A. (1997). Formant frequency characteristics of elderly speakers in contextual speech. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 49, 1–8.
- Rochester, L., Nieuwboer, A., Baker, K., Hetherington, V., Willems, A.-M., Chavret, F., Kwakkel, G., Van Wegen, E., Lim, I. & Jones, D. (2007). The attentional cost of external rhythmical cues and their impact on gait in Parkinson's disease: Effect of cue modality and task complexity. *Journal of Neural Transmission*, 114(10), 1243–1248. <https://doi.org/10.1007/s00702-007-0756-y>
- Rojas, S., Kefalianos, E. & Vogel, A. (2020). How does our voice change as we age? A systematic review and meta-analysis of acoustic and perceptual voice data from healthy adults over 50 years of age. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 63(2), 533–551. [https://doi.org/10.1044/2019\\_JSLHR-19-00099](https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00099)
- Roland, V., Huet, K., Harmegnies, B., Piccaluga, M., Verhaegen, C. & Delvaux, V. (2023). Vowel production: A potential speech biomarker for early detection of dysarthria in Parkinson's disease. *Frontiers in Psychology*, 14, 1129830–1129830. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1129830>
- Rusz, J., Cmejla, R., Ruzickova, H., Klempir, J., Majerova, V., Picmausova, J., Roth, J. & Ruzicka, E. (2013a). Evaluation of speech impairment in early stages of Parkinson's disease: A prospective study with the role of pharmacotherapy. *Journal of Neural Transmission*, 120(2), 319–329. <https://doi.org/10.1007/s00702-012-0853-4>
- Rusz, J., Cmejla, R., Tykalov, T., Ruzickova, H., Klempir, J., Majerova, V., Picmausova, J., Roth, J. & Ruzicka, E. (2013b). Imprecise vowel articulation as a potential early marker of Parkinson's disease: Effect of speaking task. *Journal of the Acoustical Society of America*, 134(3), 2171–2181. <https://doi.org/10.1121/1.4816541>
- Rusz, J., Krupicka, R., Viteckova, S., Tykalova, T., Novotny, M., Novak, J., Dusek, P. & Ruzicka, E. (2023). Speech and gait abnormalities in motor subtypes of de-novo Parkinson's disease. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, 29(8), 2101–2110. <https://doi.org/10.1111/cns.14158>
- Rusz, J., Tykalova, T., Novotny, M., Zogala, D., Ruzicka, E. & Dusek, P. (2022). Automated speech analysis in early untreated Parkinson's disease: Relation to gender and dopaminergic transporter imaging. *European Journal of Neurology*, 29(1), 81–90. <https://doi.org/10.1111/ene.15099>
- Rusz, J., Tykalova, T., Ramig, L. O. & Tripoliti, E. (2021). Guidelines for speech recording and acoustic analyses in dysarthrias of movement disorders. *Movement Disorders*, 36(4), 803–814. <https://doi.org/10.1002/mds.28465>



- Sapir, S. (2014). Multiple factors are involved in the dysarthria associated with Parkinson's disease: A review with implications for clinical practice and research. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57(4), 1330–1343. [https://doi.org/10.1044/2014\\_JSLHR-S-13-0039](https://doi.org/10.1044/2014_JSLHR-S-13-0039)
- Sapir, S., Ramig, L., Spielman, J. & Fox, C. (2011). Acoustic metrics of vowel articulation in Parkinson's disease: Vowel space area (VSA) vs. Vowel articulation index (VAI). Teoksessa C. Manfredi (toim.), *Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Applications: 7th International Workshop*. (s. 173–175). Firenze University Press. [https://web.archive.org/web/20200810163710id\\_/https://media.fupress.com/files/pdf/24/222/0/4775#page=185](https://web.archive.org/web/20200810163710id_/https://media.fupress.com/files/pdf/24/222/0/4775#page=185)
- Sapir, S., Spielman, J. L., Ramig, L. O., Story, B. H. & Fox, C. (2007). Effects of intensive voice treatment (the Lee Silverman Voice Treatment [LSVT]) on vowel articulation in dysarthric individuals with idiopathic Parkinson disease: Acoustic and perceptual findings. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50(4), 899–912. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/064\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/064))
- Schalling, E., Johansson, K. & Hartelius, L. (2018). Speech and communication changes reported by people with Parkinson's disease. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 69(3), 131–141. <https://doi.org/10.1159/000479927>
- Schenkman, M., Moore, C. G., Kohrt, W. M., Hall, D. A., Delitto, A., Comella, C. L., Josbeno, D. A., Christiansen, C. L., Berman, B. D., Kluger, B. M., Melanson, E. L., Jain, S., Robichaud, J. A., Poon, C. & Corcos, D. M. (2018). Effect of high-intensity treadmill exercise on motor symptoms in patients with de novo Parkinson disease: A phase 2 randomized clinical trial. *JAMA Neurology*, 75(2), 219–226. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2017.3517>
- Sebastian, S., Babu, S., Oommen, N. & Ballraj, A. (2012). Acoustic measurements of geriatric voice. *Journal of Laryngology and Voice*, 2(2), 81–84. <https://doi.org/10.4103/2230-9748.106984>
- Sidtis, D., Cameron, K., Bonura, L. & Sidtis, J. J. (2012). Speech intelligibility by listening in Parkinson speech with and without deep brain stimulation: Task effects. *Journal of Neurolinguistics*, 25(2), 121–132. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2011.08.004>
- Skodda, S., Grönheit, W. & Schlegel, U. (2012). Impairment of vowel articulation as a possible marker of disease progression in Parkinson's disease. *PloS One*, 7(2), e32132–e32132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032132>
- Skodda, S., Visser, W. & Schlegel, U. (2011a). Gender-related patterns of dysprosody in Parkinson disease and correlation between speech variables and motor symptoms. *Journal of Voice*, 25(1), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.07.005>
- Skodda, S., Visser, W. & Schlegel, U. (2011b). Vowel articulation in Parkinson's disease. *Journal of Voice*, 25(4), 467–472. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2010.01.009>
- Skrabal, D., Ruz, J., Novotny, M., Sonka, K., Ruzicka, E., Dusek, P. & Tykalova, T. (2022). Articulatory undershoot of vowels in isolated REM sleep behavior disorder and early Parkinson's disease. *NPJ Parkinson's Disease*, 8(1), 137–137. <https://doi.org/10.1038/s41531-022-00407-7>

- Stathopoulos, E. T., Huber, J. E. & Sussman, J. E. (2011). Changes in acoustic characteristics of the voice across the life span: Measures from individuals 4-93 years of age. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54(4), 1011–1021. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010/10-0036\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2010/10-0036))
- Strinzel, M., Verkhodanova, V., Jalvingh, F., Jonkers, R., Coler, M., Karpov, A., Potapova, R. & Mporas, I. (2017). Acoustic and perceptual correlates of vowel articulation in Parkinson's disease with and without mild cognitive impairment: A pilot study. *Teoksessa Lecture Notes in Computer Science* (s. 56–64). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66429-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66429-3_5)
- Tasko, S. M. & McClean, M. D. (2004). Variations in articulatory movement with changes in speech task. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47(1), 85–100. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2004/008\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2004/008))
- Tavi, L. & Penttilä, N. (2023). Functional data analysis of prosodic prominence in Parkinson's disease: A pilot study. *Clinical Linguistics & Phonetics*. <https://doi.org/10.1080/02699206.2022.2158372>
- Taylor, S., Dromey, C., Nissen, S. L., Tanner, K., Eggett, D. & Corbin-Lewis, K. (2020). Age-related changes in speech and voice: Spectral and cepstral measures. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 63(3), 647–660. [https://doi.org/10.1044/2019\\_JSLHR-19-00028](https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00028)
- Tjaden, K., Lam, J. & Wilding, G. (2013). Vowel acoustics in Parkinson's disease and multiple sclerosis: Comparison of clear, loud, and slow speaking conditions. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 56(5), 1485–1502. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2013/12-0259\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2013/12-0259))
- Tjaden, K. & Wilding, G. E. (2004). Rate and loudness manipulations in dysarthria: Acoustic and perceptual findings. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47(4), 766–783. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2004/058\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2004/058))
- Tremblay, P., Poulin, J., Martel-Sauvageau, V. & Denis, C. (2019). Age-related deficits in speech production: From phonological planning to motor implementation. *Experimental Gerontology*, 126, 110695–110695. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2019.110695>
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta (2023). *Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa*. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan HTK-ohje 2023. Tutkimuseettinen neuvottelukunta. [https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje\\_2023.pdf](https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje_2023.pdf)
- Tykalova, T., Rusz, J., Cmejla, R., Klempir, J., Ruzickova, H., Roth, J. & Ruzicka, E. (2015). Effect of dopaminergic medication on speech dysfluency in Parkinson's disease: A longitudinal study. *Journal of Neural Transmission*, 122(8), 1135–1142. <https://doi.org/10.1007/s00702-015-1363-y>
- Tykalova, T., Skrabal, D., Boril, T., Cmejla, R., Volin, J. & Rusz, J. (2021). Effect of ageing on acoustic characteristics of voice pitch and formants in Czech vowels. *Journal of Voice*, 35(6), 931.e21–931.e33. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.02.022>

- Tähtinen, J., Laakkonen, E. & Broberg, M. (2020). *Tilastollisen aineiston käsittelyn ja tulkinnan perusteita*. Turun yliopiston kasvatustieteiden tiedekunnan julkaisuja C:22. 2. painos. [https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/149687/Tilastollisen\\_aineiston\\_k%C3%A4sitely\\_n\\_ja\\_tulkinnan\\_perusteita\\_2020.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/149687/Tilastollisen_aineiston_k%C3%A4sitely_n_ja_tulkinnan_perusteita_2020.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Vainio, M., Palo, P., Aalto, D. & Laine, U. K. (2009). Lähde ja suodin - puheentuoton akustiikasta ja sen mallintamisesta. Teoksessa: O. Aaltonen (toim.), *Puhuva ihminen: puhetieteiden perusteet* (s. 161–173). Otava.
- Vandana, V. P., Darshini, J. K., Vikram, V. H., Nitish, K., Pal, P. K. & Ravi, Y. (2021). Speech characteristics of patients with Parkinson’s disease — Does dopaminergic medications have a role? *Journal of Neurosciences in Rural Practice*, 12(4), 673–679. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735249>
- Van Lierde, K., Van Heule, S., De Ley, S., Mertens, E. & Claeys, S. (2009). Effect of psychological stress on female vocal quality. A multiparameter approach. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 61(2), 105–111. <https://doi.org/10.1159/000209273>
- Walsh, B. & Smith, A. (2012). Basic parameters of articulatory movements and acoustics in individuals with Parkinson’s disease. *Movement Disorders*, 27(7), 843–850. <https://doi.org/10.1002/mds.24888>
- Watts, C. R. & Zhang, Y. (2022). Progression of self-perceived speech and swallowing impairment in early stage Parkinson’s disease: Longitudinal analysis of the Unified Parkinson’s Disease Rating Scale. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 65(1), 146–158. [https://doi.org/10.1044/2021\\_JSLHR-21-00216](https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-21-00216)
- Weismer, G., Yunusova, Y. & Bunton, K. (2012). Measures to evaluate the effects of DBS on speech production. *Journal of Neurolinguistics*, 25(2), 74–94. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2011.08.006>
- Whitfield, J. A., Dromey, C. & Palmer, P. (2018). Examining acoustic and kinematic measures of articulatory working space: Effects of speech intensity. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 61(5), 1104–1117. [https://doi.org/10.1044/2018\\_JSLHR-S-17-0388](https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-17-0388)
- Whitfield, J. A., Kriegel, Z., Fullenkamp, A. M. & Mehta, D. D. (2019). Effects of concurrent manual task performance on connected speech acoustics in individuals with Parkinson disease. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(7), 2099–2117. [https://doi.org/10.1044/2019\\_JSLHR-S-MS-18-0190](https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-S-MS-18-0190)
- Williams, D. & Escudero, P. (2014). A cross-dialectal acoustic comparison of vowels in Northern and Southern British English. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(5), 2751–2761. <https://doi.org/10.1121/1.4896471>
- Xue, S. A. & Hao, G. J. (2003). Changes in the human vocal tract due to aging and the acoustic correlates of speech production: A pilot study. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46(3), 689–701. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2003\)054](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2003)054)

- Yarnall, A. J., Breen, D. P., Duncan, G. W., Khoo, T. K., Coleman, S. Y., Firbank, M. J., Nombela, C., Winder-Rhodes, S., Evans, J. R., Rowe, J. B., Mollenhauer, B., Kruse, N., Hudson, G., Chinnery, P. F., O'Brien, J. T., Robbins, T. W., Wesnes, K., Brooks, D. J., Barker, R. A. & Burn, D. J. (2014). Characterizing mild cognitive impairment in incident Parkinson disease: The ICICLE-PD study. *Neurology*, 82(4), 308–316. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000000066>
- Yorkston, K. M., Hakel, M., Beukelman, D. R. & Fager, S. (2007). Evidence for effectiveness of treatment of loudness, rate, or prosody in dysarthria: A systematic review. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 15(2), xi–xxxvi.
- Ziemssen, T. & Reichmann, H. (2007). Non-motor dysfunction in Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 13(6), 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2006.12.014>
- Zraick, R. I., Gregg, B. A. & Whitehouse, E. L. (2006). Speech and voice characteristics of geriatric speakers: A review of the literature and a call for research and training. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 14(3), 133–142.

Liite. Pohjantuuli ja aurinko -luentateksti, analyysiin valitut vokaalit lihavoituna

Pohjantuuli ja aurinko väittelivät kummalla olisi enemmän voimaa, kun he samalla näkivät kulkijan, jolla oli yllään lämmin takki. Silloin he sopivat, että se on voimakkaampi, joka nopeammin saa kulkijan riisumaan takkinsa. Pohjantuuli alkoi puhaltaa niin että viuhui, mutta mitä kovempaa se puhalsi, sitä tarkemmin kääri mies takin ympärilleen, ja viimein tuuli luopui koko hommasta. Silloin alkoi aurinko loistaa lämpimästi, eikä aikaakaan, niin kulkija riisui manttelinsa. Niin oli tuulen pakko myöntää, että aurinko oli kuin olikin heistä vahvempi.