

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURAJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

MEDICINSKI FAKULTET U OSIJEKU

Željka Laksar Klarić

ANALIZA FONATORNOG GIBANJA SLUZNICE
LARINGEKTOMIRANIH OSOBA ULTRABRZOM
VIDEOENDOSKOPIJOM I PRIMJENOM BIOMEHANIČKOG
MODELA

Doktorska disertacija

Osijek, 2025.

Mentor rada: izv. prof. dr. sc. Ana Danić Hadžibegović, dr. med.

Komentor rada: prof. prim. dr. sc. Andrijana Včeva, dr. med.

Rad ima 139 listova, 55 tablica i 20 slika.

Predgovor radu

Zahvaljujem svojoj mentorici, izv. prof. dr. sc. Ani Đanić Hadžibegović, na dragocjenim savjetima, uloženom trudu i razumijevanju, potpori i poticaju. Savjeti koje sam dobila potaknuli su me da razmišljam izvan svojih okvira sigurnosti i bit će mi korisni u mom daljnjem znanstvenom radu. Zahvaljujem i na prijateljstvu.

Hvala mojoj komentorici, prof. prim. dr. sc. Andrijani Včevi, na savjetima i usmjeravanju tijekom izrade ove doktorske disertacije.

Također, zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Vinku Lešiću na znanju, iskustvu, usmjeravanju, susretljivosti i uloženom trudu tijekom izrade ovog rada. Velika hvala i Luki Jeliću na nesebičnom dijeljenju savjeta i svog dragocjenog vremena.

Zahvaljujem svojim prijateljima i kolegama na potpori, savjetima i pomoći u realizaciji ovog rada.

Velika hvala mami, tati i braci koji su uvijek tu uz mene i nesebično pomažu te mi pružaju ljubav kroz sve ove godine mog osobnog i profesionalnog razvoja.

Na kraju hvala mojim dečkima... Mario, Mateju i Mihaele, vi ste moja snaga i vjetar u leđa. Hvala na bezuvjetnoj podršci, razumijevanju i strpljenju. Bez vaše ljubavi ovog rada ne bi bilo.

„Svi naši snovi se mogu ostvariti – ukoliko budemo imali hrabrosti da ih slijedimo.“

Walt Disney

Sadržaj

Popis kratica.....	IV
Popis tablica.....	VI
Popis slika.....	X
1. UVOD.....	1
1.1. Etiologija, simptomi i klasifikacija karcinoma grkljana	1
1.2. Metode liječenja zloćudnih tumora grkljana.....	2
1.2.1. Totalno odstranjenje grkljana (totalna laringektomija)	4
1.3. Lokalizacija i karakteristike faringoezofagealnog segmenta	5
1.4. Rehabilitacija glasa nakon totalne laringektomije	7
1.4.1. Glas uz pomoć umjetnog grkljana - elektrolarinks; mehaničko, digitalno pomagalo	8
1.4.2. Ezofagealni glas.....	8
1.4.3. Traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze	9
1.5. Utjecaj totalne laringektomije na kvalitetu života laringektomirane osobe.....	10
1.6. Postupci u analizi traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze	12
1.6.1. Aerodinamički testovi, oralna dijahodokineza i glasovni status	12
1.6.2. Akustička analiza traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze	13
1.6.3. Upitnici za samoprocjenu	14
1.6.4. Vizualizacija faringoezofagealnog segmenta	15
1.7. Analiza videozapisa gibanja sluznice faringoezofagealnog segmenta biomehaničkim modelom.....	19
2. HIPOTEZA.....	21
3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	22
4. ISPITANICI I METODE	23
4.1. Etička načela i ustroj studije	23
4.2. Ispitanici.....	24
4.3. Metode.....	25
4.3.1. Proces validacije upitnika Samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba na hrvatski jezik (SECEL:HR)	25
4.3.2. Analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba	27

4.3.3. Obrada videozapisa faringoezofagealnog segmenta računalnom obradom slike.....	30
4.3.4. Analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba pomoću višemasenog spregnutog biomehaničkog modela	37
4.4. Statističke metode	43
5. REZULTATI.....	44
5.1. Međukulturalna adaptacija upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba na hrvatski jezik (SECEL:HR).....	44
5.1.1. Demografski i klinički podaci ispitanika u pripremnom dijelu istraživanja	44
5.1.2. Psihometrijska svojstva upitnika – unutarnja valjanost, pouzdanost i primjerenost.....	45
5.1.3. Kvaliteta života bolesnika nakon učinjene totalne laringektomije preliminarnog dijela istraživanja	48
5.2. Analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba	50
5.2.1. Demografski i klinički podaci ispitanika u glavnom dijelu istraživanja	50
5.2.2. Procjena kvalitete zamjenskog glasa i govora – subjektivno logopedskom procjenom i SECEL:HR upitnikom.....	54
5.2.3. Analiza akustičkog zapisa traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze	60
5.2.4. Analiza videosnimki fonatornog gibanja faringoezofagealnog segmenta laringektomiranih osoba	64
5.2.5. Analiza i jednadžbe parametara dobivenih obradom PEAW – analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba računalnom obradom slike	84
5.2.6. Analiza i jednadžbe fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba pomoću višemasenog spregnutog biomehaničkog modela	88
5.2.7. Povezanost parametara dobivenih računalnom obradom slike (PEAW) i višemasenog spregnutog biomehaničkog modela	94
5.2.8. Povezanost računalne obrade slike (PEAW) i višemasenog spregnutog biomehaničkog modela te akustičkog zapisa traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze akustičnim programom lingWAVES.....	95
6. RASPRAVA	98
6.1. Međukulturalna adaptacija upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba na hrvatski jezik	98

6.2. Analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba ultrabrzom videoendoskopijom i primjenom biomehaničkog modela	102
6.2.1. Karakteristike fonatornog gibanja sluznice faringoezofagealnog segmenta analizom videosnimki dobivenih ultrabrzom videoendoskopijom.....	102
6.2.2. Analiza kvalitete traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze – subjektivnom logopedskom procjenom, akustičkim zapisom i SECEL:HR upitnikom.....	106
6.2.3. Analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba primjenom biomehaničkog modela.....	110
6.2.4. Prednosti i ograničenja istraživanja	115
7. ZAKLJUČAK.....	117
8. SAŽETAK.....	118
9. SUMMARY	120
10. LITERATURA.....	122
11. ŽIVOTOPIS	133
12. PRILOZI	139

Popis kratica

DDK	oralna dijahodokineza
ELS	Europsko laringološko društvo (engl. <i>The European Laryngological Society</i>)
F0	osnovna (fundamentalna) frekvencija
FEES	endoskopska procjena gutanja (engl. <i>Fibre-optic endoscopic examination of swallowing</i>)
FES	faringozofagealni segment
GAT	softverski programi za automatsku segmentaciju
GAW	valni oblik glotalnog područja (engl. <i>Glottal area waveform</i>)
GRBAS	auditivno-perceptivna ljestvica za procjenu kvalitete glasa, s kojom se procjenjuje - generalni stupanj promuklosti (engl. <i>Grade, G</i>), stupanj hrapavosti glasa (engl. <i>Roughness, R</i>), stupanj šumnosti u glasu (engl. <i>Breathiness, B</i>), slabost glasa (engl. <i>Astenia, A</i>) i napetost u glasu (engl. <i>Strain, S</i>)
HSV	ultrabrza videoendoskopija (engl. <i>High speed videoendoscopy</i>)
IINFVo	auditivno-perceptivna ljestvica za procjenu kvalitete zamjenskog glasa s kojom se procjenjuje - ukupni dojam, odnosno ukupna kvaliteta zamjenskog glasa (engl. <i>Overall impression, I</i>), dojam razumljivosti (engl. <i>Impression of intelligibility, I</i>), nenamjeran dodatni šum koji odražava količinu smetnje uzrokovane čujnošću nekontroliranih šumova koji nastaju tijekom govora (engl. <i>unintended additive noise, N</i>), tečnost ili percipirana glatkoća proizvodnje zvuka (engl. <i>Fluency, F</i>) i zamjenski glas je ujednačen i visina se kontrolira (engl. <i>Voicing, Vo</i>)
LingWAVES	računalni program za akustičku analizu (engl. <i>Voice and speech analyser</i>)
MDVP	računalni program za akustičku analizu (engl. <i>Multi-Dimensional Voice Program</i>)
MVF	maksimalno vrijeme fonacije
NHR	omjer šuma i signala (engl. <i>Noise-to-Harmonic Ratio</i>).
PEAW	promjena faringozofagealnog otvora tijekom vremena (engl. <i>Pharyngoesophageal area waveform</i>)
PRAAT	računalni program za akustičku analiz

SECEL	upitnik Samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba (engl. <i>Self-Evaluation of Communication Experiences After Laryngectomy</i>)
SF-36	upitnik zdravstvenog statusa (engl. <i>Short Form Health Survey</i>)
TEF	traheoezofagealna fistula
TEVA	računalni program za akustičku analizu zamjenskog glasa (engl. <i>NKI TE-VOICE ANALYSIS tool</i>)
TNM	klasifikacija proširenosti tumora gdje T označava stupanj tumora, N stupanj limfnih čvorova na vratu i M stupanj udaljenih metastaza (engl. <i>Tumor, Lymph node metastasis, distant Metastasis</i>).
VALI	obrazac za vizualnu evaluaciju videozapisa stroboskopijom i ultrabrzom endoskopijom (engl. <i>Voice-Vibratory Assessment With Laryngeal Imaging form</i>)
VAS	vizualno-analogna skala
VHI	indeks vokalnih teškoća (engl. <i>Voice Handicap Index</i>)

Popis tablica

Tablica 5.1. Raspodjela demografskih obilježja ispitanika pripremnog istraživanja	44
Tablica 5.2. Raspodjela kliničkih obilježja ispitanika uključenih u istraživanje.....	45
Tablica 5.3. Mjere sredine i raspršenja te koeficijenti unutarnje pouzdanosti upitnika SECEL:HR.....	46
Tablica 5.4. Mjere sredine i raspršenosti upitnika SF-36 i VHI upitnika, aerodinamičkog testa i testa oralne dijahokineze.....	46
Tablica 5.5. Povezanost između SECEL:HR upitnika i SF-36 upitnika	47
Tablica 5.6. Povezanost između SECEL:HR upitnika i VHI upitnika.....	47
Tablica 5.7. Povezanost između SECEL:HR upitnika, aerodinamičkog testa i testa oralne dijahokineze.....	48
Tablica 5.8. Ukupni rezultat samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba.....	48
Tablica 5.9. Razlike u mjerama sredine i raspršenja upitnika SECEL:HR, SF-36, MVF, DDK i upitnika VHI kod ispitanika s učinjenom totalnom laringektomijom s traheozofagealnim glasom pomoću govorne proteze, ezofagealnim glasom i glasom pomoću elektrolarinksa	49
Tablica 5.10. Raspodjela općih obilježja ispitanika glavnog istraživanja.....	50
Tablica 5.11. Raspodjela ispitanika ovisno o konzumiranju duhanskih proizvoda.....	51
Tablica 5.12. Pridruženost kroničnih bolesti u ispitivanoj skupini.....	51
Tablica 5.13. Raspodjela ispitanika ovisno o lijekovima koje redovito uzimaju.....	52
Tablica 5.14. Raspodjela ispitanika prema TNM klasifikaciji tumora grkljana.....	52
Tablica 5.15. Raspodjela ispitanika prema učinjenom operativnom zahvatu i opsegu kirurškog zahvata na vratu.....	53
Tablica 5.16. Raspodjela ispitanika prema postoperacijskim komplikacijama.....	53
Tablica 5.17. Raspodjela ispitanika prema provedenoj radioterapiji i kemoterapiji.....	54
Tablica 5.18. Raspodjela prema vremenu postavljanja govorne proteze i vrstama komplikacija.....	54
Tablica 5.19. Raspodjela ispitanika prema logopedskom savjetovanju i rehabilitaciji.....	55
Tablica 5.20. Medijan i raspon logopedске ocjene zamjenskog glasa prema VAS skali.....	55
Tablica 5.21. Povezanost duljine provođenja logopedске terapije traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze prema spolu, kirurškom zahvatu, miotomiji mišića, provedenoj radioterapiji i kemoterapiji.....	56

Tablica 5.22. Povezanost dobi ispitanika i vremena proteklog od učinjene operacije s duljinom provođenja logopedске terapije.....	56
Tablica 5.23. Povezanost logopedске procjene kvalitete traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze prema spolu, kirurškom zahvatu, miotomiji mišića, provedenoj radioterapiji i kemoterapiji.....	57
Tablica 5.24. Povezanost logopedске procjene kvalitete traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze s dobi ispitanika i vremenu proteklom od učinjenog operativnog zahvata...	58
Tablica 5.25. Ukupni rezultat upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava ispitanika.....	58
Tablica 5.26. Mjere sredine i raspršenja pojedine skale i ukupnog rezultata upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba.....	59
Tablica 5.27. Povezanost SECEL:HR upitnika sa subjektivnom ocjenom logopeda.....	59
Tablica 5.28. Mjere sredine i raspršenja akustičkih parametara traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze.....	61
Tablica 5.29. Povezanost frekvencije fonacije sa spolom, vrstom kirurškog zahvata i disekcijom vrata, radioterapijom i kemoterapijom.....	61
Tablica 5.30. Povezanost intenziteta ili glasnoće i maksimalnog vremena fonacije sa spolom, vrstom kirurškog zahvata i disekcijom vrata, radioterapijom i kemoterapijom.....	62
Tablica 5.31. Povezanost parametara <i>jitter</i> i <i>shimmer</i> sa spolom, vrstom kirurškog zahvata i disekcijom vrata, radioterapijom i kemoterapijom.....	63
Tablica 5.32. Povezanost parametara akustičke analize i logopedске subjektivne procjene traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze.....	63
Tablica 5.33. Povezanost parametara akustičke analize i upitnika SECEL:HR.....	64
Tablica 5.34. Raspodjela videosnimki učinjenih ultrabrzom videoendoskopijom prema kvaliteti.....	65
Tablica 5.35. Raspodjela karakteristika FES-a u HSV snimkama.....	66
Tablica 5.36. Mjere sredine i raspršenja frekvencije traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze i jačine fonacije mjereni mikrofonom integriranim u sustav HSV.....	67
Tablica 5.37. Karakteristike FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om u odnosu na spol ispitanika.....	71
Tablica 5.38. Raspodjela karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om prema vrsti operacije.....	72

Tablica 5.39. Raspodjela karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om prema učinjenoj miotomiji mišića.....	73
Tablica 5.40. Raspodjela karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om prema provedenoj radioterapiji.....	74
Tablica 5.41. Raspodjela karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om prema provedenoj kemoterapiji.....	75
Tablica 5.42. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om prema dobi ispitanika i vremenu u mjesecima od učinjenog operativnog zahvata.....	76
Tablica 5.43. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om i logopedске ocjene traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze.....	78
Tablica 5.44. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om i rezultata SECEL:HR upitnika – opća podskala i podskala okoline.....	79
Tablica 5.45. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om i rezultata SECEL:HR upitnika – podskala stavova i ukupni rezultat.....	80
Tablica 5.46. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om i parametara akustičke analize zamjenskog glasa – frekvencija fonacije i glasnoća fonacije....	82
Tablica 5.47. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om i parametara akustičke analize zamjenskog glasa – <i>jitter</i> i <i>shimmer</i>	83
Tablica 5.48. Mjere sredine i raspršenja parametara dobivenih obradom PEAW – analiza računalnom obradom slike.....	88
Tablica 5.49. Mjere sredine i raspršenja parametara fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba dobivenih višemasenim spregnutim biomehaničkim modelom.....	93
Tablica 5.50. Povezanost dobivenih parametara PEAW i višemasenog spregnutog biomehaničkog modela (otvorenost/zatvorenost FES, <i>shimmer</i> (dB), <i>jitter</i> (s)).....	94
Tablica 5.51. Povezanost PEAW parametara i parametara višemasenog spregnutog biomehaničkog modela (<i>shimmer</i> %, <i>jitter</i> %, osnovna frekvencija).....	95
Tablica 5.52. Povezanost parametara PEAW dobivenih računalnom obradom slike i akustičkog zapisa traheozofagealnog glasa s govornom protezom.....	96
Tablica 5.53. Povezanost parametara PEAW dobivenih računalnom obradom slike i akustičkog zapisa traheozofagealnog glasa s govornom protezom – osnovna frekvencija.....	96
Tablica 5.54. Povezanost parametara dobivenih višemasenim spregnutim biomehaničkim modelom i akustičkog zapisa traheozofagealnog glasa s govornom protezom.....	97

Tablica. 5.55. Povezanost parametara dobivenih višemasenim spregnutim biomehaničkim modelom i akustičkog zapisa traheozofagealnog glasa s govornom protezom – osnovna frekvencija.....	97
--	----

Popis slika

Slika 1.1. Izgled faringozofagealnog segmenta pomoću ultrabrze videoendoskopije.....	6
Slika 4.1. Pregled ultrabrzom videoendoskopijom.....	29
Slika 4.2. Ručno označen faringozofagealni segment.....	31
Slika 4.3. Obrada slike matematičkim modelom – kreiranje maske.....	33
Slika 4.4. Stvaranje referentnog binarnog kalupa za segmentaciju slike.....	34
Slika 4.5. Ručno označen i algoritamski obrađen faringozofagealni otvor.....	35
Slika 4.6. Period jednog GAW ciklusa u vremenskom intervalu.....	37
Slika 5.1. Primjer akustičkog zapisa laringektomirane osobe učinjene pomoću akustičnog programa lingWAVES.....	60
Slika 5.2. Prikaz promjene veličine kružnog otvora faringozofagealnog segmenta tijekom fonacije.....	67
Slika 5.3. Prikaz promjene veličine oblika razdvojen sa strane na stranu faringozofagealnog segmenta tijekom fonacije	68
Slika 5.4. Prikaz promjene veličine oblika razdvojen naprijed-straga faringozofagealnog segmenta tijekom fonacije	69
Slika 5.5. Prikaz promjene veličine trokutastog otvora faringozofagealnog segmenta tijekom fonacije	70
Slika 5.6. Prikaz pravilnog valnog oblika PEAW– otvaranje i zatvaranje vibrirajuće sluznice faringozofagealnog segmenta tijekom vremena.....	85
Slika 5.7. Prikaz lošijeg valnog oblika PEAW – otvaranje i zatvaranje vibrirajuće sluznice faringozofagealnog segmenta tijekom vremena.....	86
Slika 5.8. Višemaseni spregnuti biomehanički model.....	89
Slika 5.9. Faringozofagealni segment obuhvaćen s različitim brojem jedinica mase (opruga) kao uzoraka.....	90
Slika 5.10. Prikaz površine otvora faringozofagealnog segmenta iz uzorka (a) i pomoću biomehaničkog modela (b).....	91
Slika 5.11. Prikaz bolje iskoristivosti parametara za korelaciju između biomehaničkog modela i računalne obrade slike.....	91
Slika 5.12. Primjer pravilne površine faringozofagealnog otvora dobivenog iz biomehaničkog modela.....	92

Slika 5.13. Prikaz lošijeg valnog oblika PEAW dobivenog računalnom obrade slike i superiornije krivulje površine faringozofagealnog segmenta dobivenog biomehaničkim modelom.....	93
---	----

1. UVOD

Glas smatramo jednim od najvrjednijih darova koje osoba posjeduje jer on je medij putem kojeg vršimo interakciju s ljudima, prenosimo emocije i ideje. Pomalo umjetnički možemo reći da je glas poput simfonije; svaki ton čini jedinstvenu ravnotežu, zvonkost, visinu, dubinu, čistoću i čini pojedinca jedinstvenim. No, karcinom grkljana je i dalje jedan od najčešćih zloćudnih tumora glave i vrata i prognostički ozbiljna bolest. Odabir metode liječenja ovisi o stupnju bolesti. U kasnijim fazama bolesti, podrazumijeva potpuno odstranjenje grkljana i kombinaciju radioterapije i kemoterapije. Gubitak glasa ostavlja na bolesnika trajne posljedice, a zamjenski glas nastao na razini faringoezofagealnog segmenta (FES) i dalje se ne može uspoređivati s glasom na nivou glasnica što nas motivira u sveobuhvatnu analizu i daljnje istraživanje. Posljednjih godina sve se više pažnje poklanja snimanju glasa novijim metodama kao što je ultrabrza videoendoskopija. To je metoda koja u potpunosti mijenja dosadašnje mogućnosti vizualizacije grkljana pa tako i iregularnih, aperiodičnih vibracija FES-a.

Jedan od velikih izazova onkološke kirurgije u području glave i vrata danas nije samo uklanjanje tumora, već i pružanje dobre kvalitete života nakon operativnog zahvata. Jedan korak bliže k tom cilju je cjelovita procjena glasa i komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba te analiza fonatornog gibanja FES-a ultrabrzom videoendoskopijom i primjenom biomehaničkog modela.

1.1. Etiologija, simptomi i klasifikacija karcinoma grkljana

Zloćudna novotvorina grkljana čini 1 – 2 % svih zloćudnih tumora čovjeka i smatra se najčešćom lokalizacijom malignih novotvorina u predjelu glave i vrata (1). Prema godišnjem izvještaju Registra za rak, u 2021. godini na području Republike Hrvatske ukupan broj novooboljelih od zloćudnog tumora grkljana bio je 284 (257 muškaraca i 27 žena) (2). Najčešće se javlja nakon 50-e godine života, a najvažniji rizični čimbenik su konzumacija duhanskih i alkoholnih proizvoda.

Histološki najčešće tipove zloćudnih novotvorina grkljana čine karcinomi epitelnog podrijetla i to planocelularni karcinomi u 95 – 99 % slučajeva (1). Rijetko se pojavljuju u obliku adenokarcinoma, mukoepidermoidnog karcinoma i hondrosarkoma.

Anatomske novotvorine grkljana dijelimo na tumore glotisa (glasnica) u najvećem postotku (55 – 60 %), zatim na supraglotisa (35 – 40 %) i subglotisa (manje od 5 % slučajeva). Pojam transglotično širenje tumora označava širenje tumora kroz dvije ili više regija grkljana (3).

Simptomi ovise o mjestu nastanka tumora te o stadiju same bolesti. Kako je najčešće sijelo tumora grkljana područje glotisa, tako je i promuklost jedan od najčešćih simptoma koji bolesnika dovode u otorinolaringološku ambulantu. Osim promuklosti, javlja se i nadražajni kašalj, poteškoće s gutanjem, iskašljavanje krvi, a kod uznapredovanog stadija otežano disanje, povećani limfni čvorovi vrata. U svrhu ranog otkrivanja karcinoma svaku osobu kod koje promuklost traje dulje od 3 do 4 tjedna, posebno ako u anamnezi sadrže podatak o pušenju i prekomjernoj konzumaciji alkohola, a stariji su od 50 godina, treba uputiti na pregled otorinolaringologa (1).

Dijagnostika tumora grkljana mora biti detaljna radi što uspješnijeg liječenja. Osim određivanja mjesta tumora, procjenjujemo i prisutnost regionalnih ili udaljenih metastaza, te opće stanje bolesnika. Pri tome se služimo anamnezom, otorinolaringološkim pregledom, ultrazvukom vrata i radiološkim pretragama (višeslojna kompjutorizirana tomografija glave i vrata ili nuklearna magnetska rezonancija).

1.2. Metode liječenja zloćudnih tumora grkljana

Zbog specifične lokacije, anatomije i funkcije grkljana, liječenje tumora grkljana i dalje ostaje veliki izazov. Zdravstveno stanje bolesnika i pridružene kronične bolesti, proširenost tumora i kirurškog znanja operatera o statički i dinamički grkljana, diktira izlječenje. Pristup je multidisciplinarni i u njemu sudjeluje više stručnjaka različitih specijalnosti medicine koji će odrediti najbolji modalitet liječenja i odrediti najbolju skrb. S obzirom da je larinks dio gornjeg dišno-probavnog sustava i njegove tri osnovne funkcije su disanje, fonacija i zaštita dišnog sustava od aspiracije tijekom gutanja, cilj je optimalno sačuvati te funkcije, a u potpunosti ukloniti tumorsku bolest. Zatim nakon učinjenog operativnog zahvata omogućiti rehabilitaciju i postići primjerenu kvalitetu života operirane osobe (1).

Današnje spoznaje o širenju karcinoma grkljana, etiologiji, epidemiologiji i genetici tumora uvelike su promijenili principe onkološke kirurgije (3). Prilikom odabira liječenja postoji nekoliko opcija: otvorena kirurgija, radioterapija, kemoterapija, transoralna

endoskopska laserska resekcija tumora. Navedeni odabir liječenja ovisi o stadiju maligne bolesti prema TNM klasifikaciji (T-stupanj tumora, N-stupanj limfnih čvorova na vratu i M-stupanj udaljenih metastaza).

Rani tumor grkljana karakterizira mala veličina tumora, bez lokalnih metastaza u regionalne limfne čvorove i bez udaljenih metastaza. Najčešći način liječenja ove vrste tumora su transoralna endoskopska laserska resekcija, primarna radioterapija ili otvorene parcijalne laringektomije (3). Tijekom protekla tri desetljeća laserska je kirurgija postala široko rasprostranjena, a prvi puta su je primijenili i opisali 1972. godine Strong i Jako (4). Izvodi se uglavnom CO₂ laserom u kombinaciji s mikroskopom. Prednosti ovakvog načina liječenja su izbjegavanje traheostome i postavljanja nazogastrične sonde, intraoperativni hemostatski učinak lasera, smanjenje komplikacija (faringokutana fistula i aspiracijska pneumonija), brža rehabilitacija bolesnika i kraća hospitalizacija (3). U slučaju pozitivnog patološkog ruba recidiva ili drugog primarnog tumora uvijek ostaje otvorena kirurška metoda liječenja ili adjuvantna radioterapija (3). Europsko laringološko društvo (engl. *The European Laryngological Society, ELS*) 2000-te godine predstavlja klasifikaciju laringealnih endoskopskih kordektomija (kirurško uklanjanje glasnica) u svrhu postizanja ujednačenosti u pogledu opsega i dubine resekcije tumorskih tvorbi i uniformnosti opisa postoperativnih rezultata među različitim centrima (5). 2007. godine klasifikacija je nadopunjena kordektomijom koja obuhvaća opis resekcije prednje komisure i prednjeg dijela obje glasnice (6).

Primarna radioterapija zbog svojih benefita (izbjegavanje anestezije i traheotomije, bolja kvaliteta glasa) jedinstven je način liječenja ranih karcinoma grkljana prvenstveno u zapadnim zemljama svijeta (3). Postotci preživljenja i lokalna kontrola bolesti za transoralne endoskopske laserske operacije i primarnu radioterapiju slični su i ovisni prvenstveno o općem stanju bolesnika i karakteristikama tumora, a također o znanju i o iskustvu centra u kojem se bolesnik liječi (1).

Kod neuspjeha liječenja ranih karcinoma prethodno opisanim metodama ili ponovne pojave bolesti primjenjuje se otvorena funkcionalna kirurgija grkljana razvijena sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Pojam funkcionalan podrazumijeva čuvanje funkcija grkljana odnosno disanja, gutanja, govora praćeno očuvanjem najmanje jedne krikaritenoidne jedinice (3). U ove metode liječenja ubrajamo parcijalne laringektomije koje dijelimo na vertikalne (lateralnu,

frontalnu, frontolateralnu i hemilaringektomiju) i horizontalne (supraglotičnu i suprakrikoidnu laringektomiju (3). Petogodišnja lokalna kontrola bolesti iznosi 90 do 93 % za tumore T1a i slična je kao za transoralnu endoskopsku lasersku resekciju i primarnu radioterapiju. Za tumore T1b postiže se postotak od 85 do 89 % bolesnika (1, 7, 8).

Kod većih tumora (tumori uznapredovanog stadija III i IV) ponekad se primjenjuju podvrste totalne laringektomije: tročetvrtinska (engl. *Three-quarter*) laringektomija i „Near total“ laringektomija. Tročetvrtinska laringektomija (horizontalno se odstranjuje polovina grkljana + vertikalno $\frac{1}{4}$ grkljana) primjenjuje se kod tumora koji nisu veći od 2 cm s glasnicama koje ne smiju biti fiksirane, slobodne hrskavice i prednje komisure, bez subglotičnog širenja (9). Indikacija za „Near total“ laringektomiju su unilateralna nepokretna glasnica, invazija hrskavice, zahvaćenost piriformnog sinusa uz jedan aritenoid slobodan od tumora. Ovim radikalnim kirurškim zahvatom nastoji se stvoriti prirodni spoj između dišnog sustava i neofarinksa uz očuvanje fonatorne funkcije (9).

1.2.1. Totalno odstranjenje grkljana (totalna laringektomija)

U prvoj polovici 19. stoljeća po prvi puta javila se ideja o radikalnom odstranjenju karcinoma grkljana ali zbog nedovoljno razvijene anestezije, manjkavosti kirurškog iskustva, loše razvijene postoperativne skrbi, takvi slučajevi su uglavnom bili neuspješni. Ocem klasične kirurgije grkljana smatra se Theodore Billroth, koji je 31. prosinca 1873. godine izveo prvu totalnu laringektomiju zbog karcinoma grkljana (10). Njegov učenik Themistocles Gluck nastavlja rad i spoznaje važnost odvajanja dišnog od probavnog sustava radi smanjenja nastanka komplikacija kao što je aspiracijska pneumonija (11). Sørensen i Gluck zajedničkim snagama razvijaju tehnike koje se danas smatraju temeljem suvremene kirurgije grkljana (11). Uslijedile su brojne modifikacije same operacije a sve s ciljem smanjenja komplikacija, povećanja preživljenja, uspostavljanjem funkcionalnog dišnog i probavnog sustava.

Totalna laringektomija je opsežan kirurški zahvat pomoću kojeg se u potpunosti odstrane sve strukture grkljana i gornjeg dijela dušnika zbog uznapredovanog zloćudnog tumora. Trajno se odvaja donji dišni put od probavnog puta, a disanje se odvija putem trajno formirane traheostome. Zahvat prate disekcija vrata i adekvatna rekonstrukcija defekta tkiva radi sprečavanja nastanka dodatnih komplikacija. S totalnom laringektomijom pružena nam je potpuna onkološka sigurnost (resekcija s rubom zdravog tkiva), no uništena je fonacija što

narušava kvalitetu života operirane osobe (9). Operacija se izvodi u endotrahealnoj anesteziji. Učini se rez kože u obliku slova U. Rez se proteže po prednjim rubovima sternokleidnog mišića ako je planirano samo odstranjenje grkljana, a u slučaju potrebe za disekcijom vrata rez se proteže po stražnjim rubovima istoimenog mišića. Nakon presijecanja kože, platizme i fascije navedene strukture odižemo i formiramo „apron-režanj“. Prepariranjem oslobađamo grkljan od okolnih struktura i odstranjujemo zajedno s jezičnom kosti vodeći računa o rubu zdravog tkiva. Podvezujemo prateće krvne žile (gornju laringealnu arteriju, venu) i presiječemo laringealni živac s obje strane. Izvodi se formiranje široke traheostome na razini između 3 – 5 trahealnog prstena te trajno odvaja dišni od probavnog puta i postavlja nazogastrična sonda koja služi za hranjenje bolesnika u ranom postoperativnom razdoblju. Bitno je obratiti pažnju na adekvatnu rekonstrukciju preostale sluznice. Ocjenjujemo prema defektu tkiva može li ona biti primarna (zatvaranje sluznice u tri sloja poštivanjem sila napetosti) ili je zbog većeg defekta tkiva potrebna rekonstrukcija reznjevima. Time se smanjuju mogućnosti postoperativnih komplikacija – faringokutane fistule ili stenoze. O poštivanju naučenih postulata rekonstrukcije FES-a ovisi stvaranje dobrog alaringealnog glasa (zamjenskog glasa) jer upravo tu dolazi do vibracija sluznice protokom zraka. U novije se vrijeme tijekom operacije učini i miotomija ili incizija mišića (krikofaringealnog mišića, konstriktora ždrijela, kružnih mišića jednjaka) koja također sprečava pojačanu napetost sluznice i poboljšava kasniju rehabilitaciju.

S obzirom na težinu bolesti i opsežnost samog zahvata, naznaku treba staviti na individualizirani pristupu svakom bolesniku ovisno o njegovom općem stanju, stadiju proširenosti bolesti, a odluku o tome treba donositi multidisciplinarni tim za tumore glave i vrata (3).

1.3. Lokalizacija i karakteristike faringoezofagealnog segmenta

Nakon odstranjenja grkljana od preostale sluznice i mišića hipofarinksa i gornjeg dijela jednjaka, rekonstruira se novi probavni trakt koji ne služi samo za primanje sline, tekućine i hrane od usne šupljine do jednjaka i želuca, već tu nastaje i novi zamjenski glas operirane osobe. U literaturi poznat kao neoglotis, neofarinks, pseudoglotis ili faringoezofagealni segment (FES). Danas razumijemo anatomiju FES-a i znamo da se izvor vibracija nalazi u razini mišića gornjeg ezofagealnog sfinktera i/ili srednjeg i donjeg konstriktora ždrijela, no i dalje je teško predvidjeti postoperativnu kvalitetu zamjenskog glasa zbog varijacija u anatomiji, proširenosti primarnog tumora i ostatku sluznice za rekonstrukciju (12). Uobičajeno zatvaranje defekta

nastalog nakon odstranjenja grkljana je primarno u tri sloja, a geometrija zatvaranja (T, Y, I ili horizontalna linija) određena je količinom zaostalog tkiva, mišića hipofarinksa i jednjaka, silama napetosti i iskustvom kirurga (9). Idealni FES mora biti „čvrsto“ formiran kako bi se izbjeglo curenje sline, dovoljno velik da omogući slobodno protjecanje hrane i tekućine i sposoban za rehabilitaciju glasa (Slika 1.1).

Spazam FES-a i hipertonus smatraju se jednim od glavnih razloga neuspjeha zamjenskog glasa nakon totalne laringektomije. Davne 1981. godine Singer i Blom opisuju kako 12 % traheozofagealnih govornika nisu uspjeli usvojiti traheozofagealni glas s govornom protezom zbog faringozofagealnog spazma te izvode i opisuju miotomiju – kirurško presijecanje gornjeg sfinktera jednjaka, krikofaringealnog mišića ili konstriktora ždrijela (13).

Druga metoda kojom se uspješno utječe na toničnost stijenke jest jednostrana neurektomija, kirurško rezanje ogranaka faringealnog spleta (pleksusa) (14). Nakon disekcije vrata, a prije nego se ukloni grkljan u prostoru između roga štitne hrskavice i jezične kosti, između srednjeg i donjeg konstriktora ždrijela elektrostimulacijom se identificira jedna od tri grane pleksusa te se isti odvoje i koaguliraju. Tim postupkom ne oštećujemo stijenku ždrijela zadržavamo elastičnost i smanjujemo spazam. Neurektomiju možemo izvoditi i nakon zatvaranja ždrijela ili kao sekundarni postupak.



Slika 1.1. Izgled faringozofagealnog segmenta pomoću ultrabrze videoendoskopije.

Na slici prikazan je kružni oblik faringozofagealnog segmenta usnimljenog pomoću ultrabrze videoendoskopije (rezolucije 256×256 piksela). Strelicom označen je otvor faringozofagealnog segmenta koji vibracijom sudjeluje u stvaranju zamjenskog glasa. Izvor: autor

U posljednjih nekoliko godina vrlo je popularna metoda injekcija botulin toksinom A u područje mišića konstriktora s kojom se uzrokuje paraliza mišića, a time i smanjuje napetost FES-a. Metoda se najčešće koristi ako u postoperativnom razdoblju i dalje nailazimo na napetost FES-a bez obzira na učinjenu miotomiju (15). Van Weissenbacha i sur. u svom istraživanju proučavali su razlike traheoezofagealnog glasa za različite metode sprečavanja hipertoniciteta FES-a (16). Pokazali su kako je u 95 % ispitanika uspješan traheoezofagealni glas postignut u skupini koja je bila podvrgnuta primarnoj miotomiji ili kombinaciji miotomije s neurektomijom, a većina traheoezofagealnih glasovnih neuspjeha uočena je u skupini bez te dodatne metode (16). Nepažljivom neurektomijom možemo dovesti do hipotoniciteta FES-a što također otežava govornu komunikaciju. Ovakvu vrstu komplikacije rješavamo korištenjem dijela sternokleidomastoidnog mišića poput unutrašnjeg zavoja (17).

Prve anatomske i morfološke karakteristike FES-a prikazuje nam van As i sur (18). U svom radu opisuju oblik, mjesto vidljive vibracije FES-a i varijacije u vibraciji sluznice kod osoba sa istom vrstom operacije i rekonstrukcije.

1.4. Rehabilitacija glasa nakon totalne laringektomije

Odstranjenjem grkljana osoba ostaje trajno bez mogućnosti glasnog laringealnog govora, a iz toga proizlazi ozbiljan problem u svijetu koji se oslanja na verbalnu komunikaciju. Stoga nas ne čudi da je rehabilitacija glasa nakon totalnog odstranjenja grkljana stara koliko i sama totalna laringektomija i godinama se pokušava postići zadovoljavajući rezultat. U provođenju rehabilitacije danas sudjeluje tim stručnjaka, a plan govorne rehabilitacije ovisi o više različitih čimbenika – zdravstveni status, intelektualni status, socijalni i ekonomski status te motiviranost laringektomiranog bolesnika (19). Metode rehabilitacije nadomjesnog glasa i govora su: 1. glas uz pomoć umjetnog grkljana – elektrolarinks; mehaničko, digitalno pomagalo, 2. ezofagealni glas i 3. traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze. Iako se metoda rehabilitacije traheoezofagealnim glasom pomoću govorne proteze danas smatra „zlatnim standardom“, ipak su zastupljene i ostale dvije metode što nam ukazuje na činjenicu da niti jedna metoda rehabilitacije nije jednako prihvatljiva za sve operirane osobe i da niti jedna metoda nije potpuno zadovoljavajuća. Pojedine laringektomirane osobe nauče i više od jedne metode rehabilitacije glasa i govora.

1.4.1. Glas uz pomoć umjetnog grkljana - elektrolarinks; mehaničko, digitalno pomagalo

Umjetni grkljan je ručni uređaj koji se danas sve manje upotrebljava. Uglavnom se koristi kod bolesnika koji ne žele koristiti druge metode rehabilitacije glasa ili ih nisu svladali te u ranom postoperativnom razdoblju (ako se planira sekundarna ugradnja govorne proteze). Prema izvoru napajanja razlikujemo pneumatske i električne uređaje. Početkom 20-ih godina prošlog stoljeća razvijen je prvi pneumatski mehanički umjetni grkljan koji nije radio na struju, a proizvodio je snažan umjetan glas. U svijetu i našoj zemlji najzastupljeniji je elektrolarinks u obliku ručnog uređaja na baterije s elektromagnetskom vibrirajućom membranom. Prisanjajući se na kožu vrata i pritiskom na gumb, membrana prenosi vibracije na jednoj konstantnoj frekvenciji. Vibracije se prenose kroz kožu u vokalni trakt gdje govornik modulira zvuk pomoću artikulacijskih organa u govor. Razumljiv govor dobiva se uz zadržavanje daha.

Prvi prototip današnjih elektrolarinksa uvedeni su 1940-ih godina, u vrijeme kada se ezofagealni glas promicao kao najbolji način oporavka govora. Međutim, budući da je tu tehniku teže svladati, umjetni je grkljan postao vrlo popularan (20). Važno je naglasiti da glas i govor koji pruža umjetni grkljan nije glas koji zvuči prirodno, već dobivamo mehanički gotovo „robotski“ i teže razumljiv glas i govor (20). Prednosti elektrolarinksa su brza rehabilitacija, laka dostupnost uređaja, a unatoč manje prirodnom tonu umjetni grkljan ipak omogućuje fluidan (tečan) govor. Osim metalnog, grubog i slušaču neugodnog glasa nedostatak je zauzetost jedne ruke te briga o ispravnosti aparata (baterije) (21). Napretkom tehnologije počeli su se razvijati istraživački i komercijalni uređaji s više tonova, uključujući uređaje s diskretnim tonom koji koriste prekidače s više položaja ili više tipki, uređaji s promjenjivim tonom kojima upravljaju pojedinačni gumbi osjetljivi na pritisak ili čak uređaji bez potrebe korištenja ruku, a zasniva se na praćenju elektromiografskih aktivnosti vratnih mišića (engl. *hands-free electromyographically controlled elecrolarynx*) (22, 23). Uređaji su manji i lakši za uporabu te imaju mogućnost intonacijskih promjena pa se ne proizvodi „monoton glas“ iako kvaliteta glasa ostaje mehaničke prirode, ali uvelike omogućuju govornicima tonskih jezika kao što je mandarinski kineski da govore razumljivije (24).

1.4.2. Ezofagealni glas

Ezofagealni glas je najstarija i najprirodnija metoda rehabilitacije laringektomirane osobe jer se bazira na korištenjem postojećih i novostvorenih struktura te za njegovo korištenje

nisu potrebni kirurški postupci ili umjetni uređaji. Već početkom 19. stoljeća Seeman M. je shvatio da FES može djelovati kao mjesto stvaranja zamjenskog glasa, a distalni jednjak kao spremnik zraka (25). Ezofagealni govor nastaje kada laringektomirana osoba posebno naučenom tehnikom s jednim od tri načina (gutanjem, injekcijom ili inhalacijom) ubacuje zrak u gornji dio jednjaka. Zrak se voljnim podrigivanjem (eruktacijom) vraća i uzrokuje vibracije FES-a koji stvara osnovni ton koji se u usnoj šupljini artikulira u glas. Ezofagealni glas je relativno niske osnovne frekvencije (60 – 80 dB) s malim rasponom, velikom komponentom šuma, lošom intonacijom, sporijim tempom i kratkim vremenom fonacije (26). Proizvodnja govora je naporna i prisiljava laringektomirane osobe na česte pauze zbog malog spremnika zraka u jednjaku. Proizvodnja također ovisi i o uvježbanosti govornika. Ovaj oblik zamjenske glasovne produkcije nije lako postići. Zahtjeva strpljenje izdržljivost i u pravilu bi rehabilitaciju trebalo započeti i prije operacije vježbanjem disanja i jačanja općeg stanja bolesnika. Sama rehabilitacija je dugotrajna i pod nadzorom logopeda i mnogi laringektomirani bolesnici ga ne uspijevaju usvojiti. Procjenjuje se da mali postotak laringektomiranih osoba usvoji ovaj oblik fonacije (21). Na uspješnost uglavnom utječu opsežnost samog operativnog zahvata i način rekonstrukcije FES-a, opće stanje osobe nakon operativnog zahvata, napetost gornjeg sfinktera jednjaka, motivacija, dob bolesnika, status sluha, kvaliteta logopedске edukacije (21).

1.4.3. Traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze

Razvoj uspješne rehabilitacije glasa nakon operacije odstranjenja grkljana postignut je uvođenjem postupka formiranja traheoezofagealne fistule (TEF) i postavljanja govorne proteze. Metodu opisuju Singer i Bloom 1980. godine (27). Danas traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze predstavlja zlatni standard u rehabilitaciji alaringealnog (zamjenskog) glasa i stopa uspješnosti vokalne rehabilitacije se znatno poboljšala. Govorna proteza se ugrađuje u traheoezofagealni zid i radi po principu jednosmjernog zaliska. TEF s postavljenom govornom protezom omogućava protok zraka iz pluća u jednjak što uzrokuje vibriranje sluznice FES-a stvarajući zvuk. Govorna proteza se postavlja u TEF-u kako bi se održao lumen fistule i spriječilo curenje sadržaja iz jednjaka kroz fistulu u dušnik i spriječila aspiracija. Bolesnici zatvaraju traheostomu prstom kako bi usmjerili zračnu struju kroz formiranu TEF-u u FES. Sam položaj govorne proteze u traheostomi omogućuje izravnu vidljivost bolesniku i liječniku. Koristeći prednosti mehanike normalnog disanja, bolesnik je u mogućnosti mijenjati glasovne napore i moguće je prirodnije fraziranje. Mjerenja osnovne frekvencije, intenziteta i brzine

govora potvrđuju da je traheozofagealni glas pomoću govorne proteze akustički sličniji normalnom laringealnom glasu te da je razumljiviji i prihvatljiviji od standardnog ezofagealnog glasa.

Danas na tržištu razlikujemo brojne govorne proteze različitih proizvođača koje se razlikuju u dimenzijama i materijalu od kojih su napravljene, a koje su dizajnirane da zadovolje individualizirane zahtjeve pacijenata prema aerodinamičkim karakteristikama, duljinom nošenja, lakoćom umetanja i prevencijom aspiracije sadržaja. Prema vremenu formiranja TEF-e razlikujemo: primarnu ugradnju – kada se punkcija i ugradnja govorne proteze izvodi u isto vrijeme kada i totalno odstranjenje grkljana i sekundarnu ugradnju – više mjeseci nakon oporavka od operacije i onkološkog liječenja (12). Trajanje govorne proteze je ograničeno, prosječno između 3 – 6 mjeseci, uz pravilnu njegu. Korištenje govorne proteze je često povezano s komplikacijama koje umanjuju kvalitetu života laringektomirane osobe i smatra se jednim od nedostataka govorne proteze. Komplikacije možemo podijeliti na one koje nastaju kao posljedica postupaka tijekom operativnog zahvata i na one koje nastaju postoperativno (12). U prvu kategoriju ubrajamo loše formiranu traheostomu pa se zbog toga otežano mijenja govorna proteza (mala traheostoma) ili se stoma teže okludira prstom pri fonaciji (velika, duboka traheostoma), pojačan tonus FES-a, smanjen tonus FES-a (nepažljiva neurektomija faringealnog pleksusa). Rijetka komplikacija nastanak je pseudoepiglotisa ili pseudovalekule koja se formira zbog neadekvatne rekonstrukcije defekta hipofarinksa. Komplikacije koje nastaju postoperativno tijekom ranog ili kasnog oporavka su: curenje sadržaja iz jednjaka oko govorne proteze ili curenje sadržaja kroz govornu protezu kao posljedica defekta valvule proteza ili stvaranje biofilma koji oblaže protezu (nakupine gljivica i bakterija), granulacije, povećanje promjera TEF-e i zbog toga ispadanje ili dislokacija govorne proteze, aspiracija govorne proteze, atrofija traheozofagealnog zida. Prednosti govorne proteze su ipak veće od nedostataka pa se traheozofagealni glas pomoću govorne proteze smatra dominantnim načinom rehabilitacije laringektomiranih osoba zbog kratkotrajne rehabilitacije i brzog učenja govora. Bolesnik je u mogućnosti proizvoditi glas ubrzo nakon operativnog zahvata, a glas je tečan, lako razumljiv dobrih akustičkih parametara i najsličniji laringealnom glasu (28).

1.5. Utjecaj totalne laringektomije na kvalitetu života laringektomirane osobe

Totalna laringektomija je operacija koja nosi brojne probleme u svakodnevnom životu. Osim značajnih anatomskih i funkcionalnih promjena kao što su trajna traheostoma, gubitak

glasa, vidljivi ožiljci, gubitak osjetila, poremećaj gutanja, dodatno ova operacija dovodi do psiholoških i socijalnih izazova jer su također narušeni društveni odnosi, komunikacija, seksualnost i emocionalni status. S obzirom da je danas napretkom medicine stopa preživljenja maligne bolesti puno veća, sve se više važnosti pridodaje poboljšanju kvalitete života tijekom liječenja. Možemo ustvrditi kako duljina preživljenja više nije dovoljna mjera uspješnosti, već se fokus postavlja i na samu kvalitetu života nakon operacije tumora grkljana.

Tijekom godina u Hrvatskoj je provedeno nekoliko manjih studija koje su se odnosile na kvalitetu života nakon totalnog odstranjenja grkljana (29, 30). Prema autorima navedenih studija većina ispitanika žalila se na problem vezan uz govornu komunikaciju, zatim gubitak njuha i promjene okusa, učestali kašalj i česte infekcije dišnih puteva, zatim probleme u spolnom odnosu i socijalnom kontaktu (29). U svjetskoj literaturi rezultati su slični i najveći postotak problema vezani su uz gubitak sposobnosti verbalne komunikacije, otežanog gutanja pri konzumiranju određene hrane, anosmije/hiposmije, probleme vezane s trajnom traheostomom poput kroničnog kašlja, pojačane sekrecije, česte infekcije donjih dišnih puteva, zatim narušeni emocionalni status, problemi socijalne i financijske prirode (31 – 35). Iz svega navedenog zaključujemo kako je značajno narušena kvaliteta života oboljele osobe i kako bi omogućili dobivanje primjerene podrške potrebna je suradnja multidiscipliniranog tima. Treba naglasiti važnost korištenja mjernih upitnika koji nam govore o specifičnim poteškoćama i problemima s kojima se laringektomirane osobe susreću. Mjerni instrumenti nas usmjeravaju i predstavljaju individualnu percepciju problema tako da zdravstveni tim koji se bavi rehabilitacijom i podrškom lakše može prepoznati dobru od loše rehabilitirane osobe i na taj način brže uspostaviti bolju kvalitetu života laringektomiranog pojedinca.

U svrhu poticanja društvene brige, postizanja svijesti o osobama oboljelima od raka grla diljem Hrvatske osnovani su Klubovi laringektomiranih osoba koji pružaju pomoć članovima i obiteljima oboljelih. Svojim radom pomažu pri rehabilitaciji i stjecanju invalidskih prava, te potiču bržu resocijalizaciju. U studiji provedenoj 2006. godine Vilaseca i suradnici istražuju dugoročnu kvalitetu života kod bolesnika dvije godine nakon totalne laringektomije. U svojoj studiji ističu kako dugoročna globalna kvaliteta života ne mora biti smanjena nakon totalne laringektomije uz dobru rehabilitaciju bolesnika i pruženu potporu uz koju se bolesnici s vremenom nauče nositi s posljedicama učinjene operacije i liječenja (36).

1.6. Postupci u analizi traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze

Nastanak laringealnog glasa i zamjenskog glasa, kako je objašnjeno u prethodnom poglavlju, uključuje različite mehanizme, pa tako i postupci koji se koriste u analizi zamjenskog glasa i dobiveni parametri te rezultati su drugačiji. Prema osnovnoj podjeli dijagnostičke postupke možemo podijeliti na ne-vizualizacijske analize zamjenskog glasa (slušna perceptivna procjena, mjerenje aerodinamičke funkcije, akustička analiza, subjektivna samoprocjena upitnicima) te vizualizacijske metode (rigidna ili fleksibilna videoendoskopija, videostroboskopija, ultrabrza videoendoskopija) koje prikazuju sam FES.

1.6.1. Aerodinamički testovi, oralna dijahokineza i glasovni status

Aerodinamički testovi se koriste prilikom određivanja izdahnutog volumena za vrijeme fonacije, analogno mjerenju respiracijskog volumena (37). Maksimalno vrijeme fonacije (MVF) praktičan je i jednostavan klinički test mjerenja kontrole disanja i funkcije vokalnog trakta, odnosno mjerenje vremena fonacije samoglasnika (najčešće „a“) nakon maksimalnog udaha. Osoba zadani samoglasnik fonira spontanom visinom i glasnoćom, a vrijeme foniranja mjerimo zapornim satom i izražavamo u sekundama. Normalne vrijednosti MVF laringealnog glasa za žene iznosi 15 – 25 sekundi, a za muškarce 25 – 35 sekundi, dok se vrijednosti ispod 10 sekundi smatraju patološkima. Zbog specifičnog načina proizvodnje zamjenskog glasa kod traheoezofagealnog govornika s pomoću govorne proteze, MVF je kraće od vremena urednog govornika (38). Objašnjenje možemo potražiti u samom mehanizmu nastanka zamjenskog glasa i gubitku aerodinamičke sile tijekom fonacije (39). Za ocjenjivanje motoričke funkcije govornog aparata koristimo test oralne dijahokineze (DDK). Oralna DDK je sposobnost brzog ponavljanja tri različita sloga sastavljena od suglasnika i samoglasnika „pa-ta-ka“ što je točnije moguće, a jednostavna je i uobičajena klinička mjera učinkovitost motoričke funkcije govornog aparata. Procjenjujemo točnost, brzinu i ritmičnost mišića potrebnih za govor. Za odrasle uobičajena brzina izgovaranja slogova „pa-ta-ka“ je između 5 – 7 slogova po sekundi. MVF i oralna DDK su jednostavni testovi koji se lako mogu izvesti u svakodnevnoj kliničkoj praksi.

Subjektivna stručna perceptivna procjena glasa urednih govornika najčešće se analizira pomoću GRBAS ljestvice s kojom se procjenjuje karakteristika i kvaliteta glasa. GRBAS ljestvica ocjenjuje 5 parametara: generalni stupanj promuklosti (engl. *Grade*, *G*), stupanj

hrapavosti glasa (engl. *Roughness*, *R*), stupanj šumnosti u glasu (engl. *Breathiness*, *B*), slabost glasa (engl. *Astenia*, *A*) i napetost u glasu (engl. *Strain*, *S*) (40). Već smo napomenuli kako se zamjenski glas razlikuje od urednog glasa pomoću glasnica i često je na GRBAS ljestvici loše rangiran. Prema tome mnogi autori smatraju GRBAS ljestvicu neadekvatnim instrumentom za perceptivnu procjenu zamjenskog glasa iako se u istraživanjima zamjenskog glasa i dalje koristi (41). Moerman M. i suradnici 2006. godine osmislili su IINFFVo ljestvicu s kojom se adekvatnije stvara glasovni profil zamjenskog glasa (42). Ljestvica ispituje pet parametara: ukupni dojam, odnosno ukupnu kvalitetu zamjenskog glasa (engl. *Overall impression*, *I*), dojam razumljivosti (engl. *Impression of intelligibility*, *I*), nenamjeran dodatni šum koji odražava količinu smetnje uzrokovane čujnošću nekontroliranih šumova koji nastaju tijekom govora (engl. *Unintended additive noise*, *N*), tečnost ili percipirana glatkoća proizvodnje zvuka (engl. *Fluency*, *F*) i zamjenski glas je ujednačen i visina se kontrolira (engl. *Voicing*, *Vo*). Svaki od ovih parametara boduje se na vizualno analognoj skali i stvara se glasovni profil ispitanika.

1.6.2. Akustička analiza traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze

Akustička analiza glasa odnosi se na objektivno mjerenje akustičkih parametara povezanog govora ili produljene fonacije pomoću računalnog programa za analizu glasa. Na neinvazivni način daje nam mnogo informacija o glasovnoj funkciji i izvrsna je metoda u praćenju promjena u kvaliteti glasa tijekom vremena, odnosno prije i nakon operacijskog ili rehabilitacijskog tretmana. Na tržištu danas postoji nekoliko različitih dostupnih akustičnih programa od kojih se najčešće koriste MDVP (engl. *Multi-Dimensional Voice Program*, *MDVP*), PRAAT, LingWAVES. Pri analizi akustičkih parametara najčešće se koriste osnovna (fundamentalna) frekvencija (F_0), intenzitet (glasnoća), varijacije u frekvenciji – treperenje (engl. *jitter*), varijacije u amplitudi vibracija – podrhtavanje (engl. *shimmer*), omjer šuma i signala (engl. *Noise-to-Harmonic Ratio*, *NHR*).

F_0 odnosi se na broj vibracijskih ciklusa učinjenih u jednoj sekundi i doživljavamo ju kao visinu glasa. Ujedno označava i broj otvorenih/zatvorenih faza glotičkog vibracijskog ciklusa. Izražavamo ju u Herzima (Hz). Prosječna F_0 različita je za dob i spol, a F_0 urednog muškog glasa iznosi oko 120 Hz, a ženskog 225 Hz. Traheozofagealni glas s govornom protezom nastao vibracijom FES-a značajno je aperiodičan (šuman) za razliku od urednog glasa. U sustavnom pregledu literature van Sluis i sur. naglašavaju baš tu razliku u F_0 traheozofagealnog glasa s govornom protezom u odnosu na uredan glas, ali bitno bolje

rezultate akustičnih parametara posebno F0-e u odnosu na ezofagealni glas (38). *Jitter* i *shimmer* kao akustički parametri pokazali su se korisnim u opisivanju karakteristika glasa. *Jitter* je definiran kao parametar varijacije frekvencije od ciklusa do ciklusa izražen u postocima (%), a *shimmer* se odnosi na kolebanje amplitude zvučnog vala odnosno na intenzitetsku nepravilnost glasa i izražavamo ga u decibelima (dB). Povišene vrijednosti *jittera* i *shimmera* smatraju se patološkim. Intenzitet ili glasnoća glasa izražava se u dB i prosječno kod traheoezofagealnog govornika iznosi 73 dB (43). Intenzitet kod ezofagealnih govornika statistički je niži nego kod traheoezofagealnog govornika pomoću govorne proteze (43).

Kvaliteta glasa nakon totalnog odstranjenja grkljana povezana je s karakteristikama FES i rezultira značajnim razlikama u razumljivosti govora i samoj kvaliteti traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze. Mnoga prethodna istraživanja za akustičku analizu traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze najviše su koristila PRAAT računalni program, međutim zbog samih karakteristika vibracije mukoze FES-a (nestabilnost i nepravilnost same fonacije) nalazi akustičkih parametara pokazali su se manje reprezentativni nego kod urednih govornika (44, 45). Iz tog razloga razvijen je novi specijalizirani računalni program za akustičku analizu zamjenskog glasa TEVA program (engl. *NKI TE-VOICE ANALYSIS tool*) (46). Program je osmišljen na okviru akustičke analize traheoezofagealnog glasa koju su opisali van As-Brooks i sur. i integriran u PRAAT platformu kao podrška obrazovanju stručnjaka i istraživačkih nastojanja boljeg razumijevanja zamjenskog govora (45, 47).

1.6.3. Upitnici za samoprocjenu

Sastavni dio današnjih populacijskih studija zdravlja su mjerni instrumenti samoprocjene zdravstvenog statusa i kvalitete života. Prema autorima Krizmanić i Kolesarić „Srž pojma kvaliteta života kod svakog pojedinca je njegov doživljaj zadovoljstva načinom života i njegovim tokom i uvjetima, perspektivom, mogućnostima i ograničenjima koje ima svaki pojedinac u svom životu.“ (48). U svakodnevnom životu vrlo je važna verbalna komunikacija, stoga je jasno da laringektomirane osobe imaju pojačan osjećaj nesigurnosti, depresiju, psihičke i socijalne probleme koji u konačnici smanjuju kvalitetu života. To nas dovodi do zaključka da je potrebno razmotriti važnost komunikacijskih sposobnosti kao korisnog alata za razlikovanje pacijenata koji se dobro prilagođavaju novom glasovnom aparatu. Danas nam je dostupno nekoliko desetaka različitih mjernih instrumenata koji su

dizajnirani za mjerenje kvalitete života bolesnika s karcinomom glave i vrata (engl. *Head and Neck Survey, The European Organization for Research and treatment of cancer quality of life questionnaire*) i nekoliko za procjenu vezanu uz glas (engl. *Voice Handicap Indeks, Voice-Related Quality of Life, Voice Symptom Scale, Performance Status Scale for Head and Neck*) (49 – 53). Schindler i sur. u svom istraživanju ističu kako je indeks vokalnih teškoća (engl. *Voice Handicap Indeks, VHI*) upitnik koji se najviše koristi u procjeni glasovnih poteškoća, izvrstan mjerni instrument za procjenu disfoničnog glasa, no naglašavaju kako upitnik nije valjan za primjenu kod laringektomiranih ispitanika (54). U svim ranije navedenim upitnicima nedostaje osjetljivih i važnih pitanja o disfunkciji glasa i govora, što je važno pitanje kada raspravljamo o bolesnicima sa odstranjenim grkljanom odnosno govornim aparatom. Stoga postoji potreba za opsežnijim upitnikom za mjerenje prilagodbe komunikacijskih iskustva i rehabilitaciju laringektomiranih osoba.

Kao odgovor za procjenu zamjenske glasovne rehabilitacije i percipiranog zadovoljstva komunikacijskim vještinama kod pacijenata s odstranjenim grkljanom, 1993. godine Blood razvija upitnik Samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba (engl. *Self-Evaluation of Communication Experiences After Laryngectomy, SECEL*) (55). Kratki upitnik koji se može koristiti kao odličan mjerni instrument u probiru razlikovanja pacijenata koji se dobro prilagođavaju svom novom glasu i onih koji se ne prilagođavaju. Osim u Sjedinjenim Američkim Državama, SECEL je preveden na mnoge jezike (švedski, talijanski, brazilski portugalski, turski, malajski) i pokazao je svoju učinkovitost (54 – 59).

1.6.4. Vizualizacija faringozofagealnog segmenta

U sklopu otorinolaringološkog pregleda nosa, uha i grla spada i endoskopski pregled pomoću kojeg se detaljno pregledava izgled i funkcija te analizira vibracija i elastična svojstva vokalnog aparata. Endoskopija spada u vizualizacijske metode i u ambulantni rutinski primjenjujemo: indirektnu laringoskopiju, krutu (rigidnu) transoralnu endoskopiju i fleksibilnu transnazalnu endoskopiju. Indirektna laringoskopija ogledalcem je i dalje poželjna metoda kao probirna metoda, iako je razvojem tehnologije danas većinom zamijenjena modernim optičkim instrumentima poput krutog transoralnog endoskopa ili fleksibilnog transnazalnog endoskopa. Endoskopija pomoću krutog endoskopa daje nam jasnu, ostru sliku promatranog segmenta vokalnog aparata uz nešto veću neugodu za bolesnika pri izvođenju samog pregleda. Kao što samo ime govori, izvodi se kroz usta uz pridržavanje jezika prema naprijed što može izazvati

pojavu pojačanog nadraženog refleksa, a time i otežani pregled. Udaljenost instrumenta od vokalnog aparata pri pregledu iznosi između 50 i 70 mm, a dostupne su nam dvije vrste krutih endoskopa od 90 i 70 stupnjeva (60). Za razliku od krutog endoskopa, fleksibilni endoskop se sastoji od snopa fleksibilnih optičkih vlakana i savitljiv je, ali daje sliku lošije rezolucije. Moderne tehnologije idu korak naprijed te su konstruirani senzori slike koji se postavljaju na vrh fleksibilnog endoskopa (engl. *Chip-on-the Tip*) te na taj način daju slike visoke rezolucije bez gubitka svjetla. Fleksibilni endoskop je dugačak oko 40 cm, a postoje različite debljine ovisno gledamo li odraslu osobu ili dijete. Uvodimo ga kroz nos, preko epifarinksa i to do udaljenosti 20 – 30 mm iznad vokalnog aparata (26).

Fleksibilni endoskop služi nam i za endoskopsku procjenu gutanja (engl. *Fibre-optic endoscopic examination of swallowing, FEES*). Pomoću FEES-a pratimo cijeli proces gutanja i dijagnosticiramo poteškoće koje mogu dovesti do ulaska bolusa (hrana ili tekućina) u dišni put i izazvati aspiraciju stranog tijela što dovodi do upale pluća. Kod onkoloških bolesnika pregledom utvrđujemo i sposobnost unosa svih kalorijskih i hidracijskih potreba zbog sprečavanja pothranjenosti i dehidracije. FEES je danas ustanovljena metoda s razvijenim protokolom te izvrsno nadopunjuje ostale dijagnostičke metode koje koristimo prilikom dijagnosticiranja i terapije disfagije te rehabilitacije i skrbi onkoloških bolesnika. Pregled traje otprilike 10 minuta tijekom kojeg je fleksibilni endoskop priključen na monitor te se ispituje konzumiranje različitih konzistencija hrane pa se prate anatomske strukture tijekom gutanja, dijagnosticira nemogućnost normalnog tijeka orofaringealnog prijenosa hrane i prati se napredak u korištenju propisane dijeta ili bihevioralnog postupka. Pratimo reziduu bolusa, a penetraciju ili aspiraciju bodujemo pomoću ljestvice koja se sastoji od 8 točaka (26).

Glasnice vibriraju više od 100 x u sekundi što je prebrzo za percepciju ljudskog oka bez pomoći tehnologije. Ako želimo ispitati dinamiku i poremećaj mukoznog vala glasnica, cijeli proces moramo „usporiti“ i to na tri dostupna načina korištenjem videostroboskopije, elektroglografije i ultrabrze videoendoskopije. Videostroboskopija jedna je od najvažnijih instrumentalnih metoda u dijagnozi glasa, a mnogi je nazivaju „tajno oružje otorinolaringologa“ (26). Koristeći pulsirajući izvor svjetlosti pruža nam informaciju o vizualno usporenom kretanju glasnica. Izvor svjetla je bljeskajuće svjetlo koje je podešeno na frekvenciju bolesnikovog glasa. Signal okidača je osnovna frekvencija glasa koju kontinuirano izračunava mikroprocesor u stroboskopu. Kada je vibracija glasnica jednaka frekvenciji stroboskopskih bljeskova, početne

kombinacije svih slika iz svakog vibracijskog ciklusa, koristeći pseudousporeno snimanje, stvaraju iluziju usporenog kretanja glasnica. Prilikom pseudousporenog gibanja ocjenjujemo: amplitudu glasnica, mukozni val, simetriju vibracije, tip glotidnog zatvaranja. Međutim, videostroboskopija je prikladna za analizu vibracija glasnica sve dok je glas neznatno poremećen. Kod aperiodičnog gibanja stroboskopsko svjetlo je asinkronizirano i više ne možemo dobiti efekt usporenog gibanja, što znači da je videostroboskopija primjenjiva samo na zadatke kontinuirane fonacije sa stabilnim vokalnim karakteristikama. To nas dovodi do zamjenskog (alaringealnog) glasa na razini vibracije FES-a koji je izrazito aperiodičan i videostroboskopski neuhvatljiv.

Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy, HSV*) posljednjih desetljeća jedna je od najbrže rastućih metoda dijagnostike poremećaja glasa i metoda kojom je omogućeno proučavanje anatomije i morfologije FES-a i vibracije sluznice zamjenskog glasa.

Dr. Paul Moore prvi puta spominje korištenje „brze filmske slike“ za objektivna mjerenja glasnica 1930-ih godina prošlog stoljeća, no zbog same nepraktičnosti i glomaznosti tadašnje tehnologije HSV, koristila se povremeno u istraživačke svrhe (61). Razvoj komercijalno dostupnih, modernih sustava kamera omogućilo nam je korištenje ove digitalne tehnologije i unaprijedilo naše razumijevanje biomehanike pokretanja glasnica i procjenu dinamike aperiodičnih gibanja. Današnji HSV sustavi snimaju slike u stvarnom vremenu od 4000 – 20 000 slika u sekundi, omogućavajući snimanje svakog ciklusa oscilacije bez obzira na preturbaciju, aperiodični signal, koristeći stalno osvjetljenje, s visokom kvalitetom i rezolucijom slike (26). Za razliku od videostroboskopije, za HSV nije potreban zvučni signal i konstantna osnovna frekvencija, stoga možemo pratiti vibratorne prekide poput kašlja, smijanja, pročišćavanja grla i laringealnog grča. Pomoću HSV metode snimanja svaki glotalni ciklus predstavljen je s nekoliko desetaka slika po ciklusu, kao i neprekinuto snimanje više glotidnih ciklusa zaredom (engl. *inter-cycle* i *intra-cycle* varijacije), a to omogućava pravu analizu karakteristika pokreta bez gubitka informacija između pojedinih slika (62, 63). 2016. godine Poburka i sur. stvaraju obrazac koji nam služi za vizualnu evaluaciju videozapisa stroboskopijom i ultrabrzom endoskopijom – VALI obrazac (engl. *Voice-Vibratory Assessment With Laryngeal Imaging form, VALI*) (64). No, unatoč sve češćem korištenju u kliničkoj praksi i dalje nedostaju jasno definirane smjernice i standardi za interpretaciju nalaza.

S obzirom da je HSV kao dijagnostička metoda još uvijek relativno mlada, prepoznavamo i nekoliko nedostataka. Jedan od njih je velika količina snimki za interpretaciju bez jasnih objektivnih smjernica obrade relevantnih podataka. Stoga se već više od tri desetljeća stvaraju algoritmi segmentacije koji bi nam omogućili navigaciju kroz bogati sadržaj do izražavanja specifičnih područja interesa. Najviše je fokusa postavljeno na razvoj algoritma za segmentiranje slika i određivanje geometrijskih i vremenskih parametara glotalnog područja. Razvijen je pojam valni oblik glotalnog područja kao mjera glotalne površine tijekom cijelog jednog ciklusa (engl. *Glottal area waveform, GAW*). GAW je prvi put predstavljen davne 1958. godine u nizu članaka koje su napisali Timcke i sur. opisujući normalna i patološka vibratorna ponašanja glasnica (65). Opisali su prva ocrtaavanja glotalnog područja pomoću kinematografije da bi kasnije mogli analizirati cjelokupni superiorni prikaz glasnica. Danas su razvijeni inovativni softverski programi za automatsku segmentaciju, a jedan među njima je i GAT program (engl. *Glottis Analysis Tools, GAT*) koji besplatno omogućuje korisniku analizu podataka iz različitih izvora te omogućuje ekstrakciju različitih informacija iz analiziranog područja, te nam pomaže integrirati veliku količinu dobivenih podataka (66). Možemo zaključiti kako HSV započinje dominirati znanstvenim istraživanjima zbog razvoja boljeg sustava senzora slike kamere i povećanja rezolucije, poboljšanja računalne obrade podataka i algoritama, brzine i kapaciteta skladištenja, te veće dostupnosti među kliničarima. Osim što su se mnoge studije fokusirale na objašnjavanje biomehanike normalnih glasnica, dolazi do proučavanja različitih stilova umjetničkog pjevanja, zatim poremećaja s nepravilnom vibracijama kao što su funkcionalna disfonija, mišićna tenzijska disfonija, laringealna distonija, paraliza glasnica, specifični tremori glasnica, govor ventrikularnim naborima i mnogi drugi (67 – 73). Nedavni tehnološki napredak omogućio je uspješno spajanje HSV sustava s fleksibilnim endoskopima što je pružilo mogućnost snimanja vibracije glasnica tijekom povezanog govora (72, 74).

Van As i sur. prvi opisuju uporabu HSV na laringektomiranim osobama kroz niz svojih istraživanja (18, 75, 76). Istraživanja su se bazirala na proučavanju vibracija FES-a nakon odstranjenja grkljana te stvaranja standardiziranog obrasca koji bi se koristio u evaluaciji. Stvoren je obrazac za vizualnu procjenu digitalnih zapisa, koji su podijelili na tri skupine promatranja, koje su se odnosile na procjenu kvalitete snimke te sedam morfoloških i anatomskih karakteristika FES-a. Gledajući samo kvalitetu snimke bazirali su se na stupanj fokusa relevantnog dijela prilikom snimanja te ukupnu rezoluciju i jasnoću učinjenog snimka.

U opisu anatomskih i morfoloških karakteristika fokus je stavljen na opis količine prisutne slin s obzirom na vidljivost FES-a, mjestu vidljive vibracije i njezinog opisa, vidljivosti FES-a i njegovog oblika i vibriranja tijekom otvorene faze vibracije, zatvorenost/otvorenost faze u odnosu na kompletan ciklus vibracije, prisutnost mukoznog vala i razlikovanje njegove prisutnosti u odnosu na ostale vibracijske strukture koje su prisutne rekonstrukcijom tkiva (18). Uslijedilo je povezivanje HSV snimaka FES-a s videofluoroskopijom te su s tim istraživanjem opisali mjesto vibracije FES-a s dva pogleda – ptičja perspektiva (odozgo) pomoću HSV snimaka i lateralnog pogleda pomoću videofluoroskopije (75).

1.7. Analiza videozapisa gibanja sluznice faringoezofagealnog segmenta biomehaničkim modelom

21. stoljeće obilježeno je znanstvenim i tehničkim napretkom svih grana pa tako i medicine. Upravo taj rapidni tijek motivira nove spoznaje i istraživanje složenosti biološkog sustava proučavajući mehanička svojstva, a zatim implementacije tih svojstava korištenjem biomehaničkih modela ljudskog tijela, sustava, organa ili tkiva. Opseg biomehanike u medicini širok je i multidisciplinarni te nam daje nove vidike i napredak u razumijevanju različitih stanja i procesa u organizmu i morfologije vezane za djelovanje mehaničkih sila (77). Kvantitativno istraživanje biomehaničkih svojstava započelo je proučavanjem dinamike glasnica kod normalnog i patološkog glasa, a zatim su se postavila pitanja može li se napretkom tehnologije i razvojem HSV isto primijeniti i kod zamjenskog glasa. S medicinskog gledišta, postavilo se pitanje mogu li se saznanja iz ovakvih istraživanja potencijalno primijeniti prilikom rekonstruktivne kirurgije u formiranju optimalnog FES-a? Zatim, može li se namjernim oblikovanjem FES-a ili modificiranjem samih svojstava viskoelastičnog tkiva s minimalnim ožiljkom potencijalno rezultirati boljom kvalitetom zamjenskog glasa, a time i boljom kvalitetom života laringektomirane osobe?

Jedan od prvih pristupa za objektivan opis vibracija FES-a pomoću biomehaničkog modela opisuju nam Schwartz i sur. 2011. godine (78). U svom istraživanju predstavili su višemaseni model koji se temeljio na reprodukciji pokreta FES-a tijekom kontinuirane fonacije. S obzirom da je cilj oduvijek bio što bolje rehabilitirati govor laringektomirane osobe, ova tematika postala je predmet posebnog interesa. 2015. godine opisani biomehanički model FES-a proširuju Hüttner i sur. te predstavljaju višemaseni model koji analizira ne-stacionarne vibracije tkiva FES-a (79). Model su predstavili na četiri različita primjera videozapisa

snimljenih pomoću HSV kamere. Otvor i vibracije FES-a modelirali su 6 x 2 spojenim oscilatorima s oprugom mase postavljenim u dvije vodoravne ravnine koje su raspoređene tako da opisuju zatvorene oblike. Opisali su dinamiku različitih konfiguracija modela, posebno kružne i eliptične raspoređene mase, kako bi simulirali različite oblike FES-a.

Na temelju ranije opisanih rezultata ispitivanja, otvoreni su novi, potencijalni smjerovi istraživanja biomehaničkog modela FES-a, no i dalje nisu postignuti uniformni rezultati i odgovor može li se snimka vibracija FES-a dobivena pomoću HSV analizirati i kvantificirati kao funkcija površine tijekom vremena odnosno kao valni oblik faringoezofagealnog otvora te mogu li se parametri dobiveni analizom valnog oblika FES-a usporediti s parametrima dobivenim akustičkom analizom glasa laringektomirane osobe koji u konačnici mogu dovesti do efikasnije rehabilitacije zamjenskog govora i glasa. Zbog toga je za potrebe rada u suradnji sa Zavodom za automatiku i računalno inženjerstvo, Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, razvijen računalni algoritam kojim se obrađuje videozapis svakog ispitanika. Također, identificirani su parametri višemasenog spregnutog biomehaničkog modela.

2. HIPOTEZA

Parametri dobiveni analizom valnog oblika faringozofagealnog segmenta primjenom biomehaničkog modela usporedivi su s parametrima dobivenim akustičkom analizom glasa laringektomirane osobe te kao takvi mogu se koristiti u analizi zamjenskog glasa.

3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Ciljevi istraživanja:

1. Učiniti validaciju i prevođenje SECEL upitnika s engleskog na hrvatski jezik i procijeniti razumljivost prevedenih pitanja te utvrditi njegova psihometrijska svojstva (pouzdanost i valjanost) na posebnom uzorku ispitanika neovisnih za ostatak istraživanja.
2. Opisati karakteristike fonatornog gibanja sluznice faringozofagealnog segmenta u laringektomiranih bolesnika ultrabrzom videoendoskopijom.
3. Pomoću biomehaničkog modela analizirati snimke vibracija faringozofagealnog segmenta dobivene ultrabrzom videoendoskopijom i ispitati mogu li se kvantificirati kao funkcija površine faringozofagealnog otvora tijekom vremena, odnosno kao valni oblik faringozofagealnog otvora.
4. Pomoću biomehaničkog modela analizirati snimke vibracija faringozofagealnog segmenta dobivene ultrabrzom videoendoskopijom i ispitati povezanost dobivenih parametara s parametrima dobivenih pomoću akustičke analize glasa laringektomirane osobe.
5. Ispitati postoji li povezanost parametara dobivenih analizom akustičkih zapisa laringektomiranih osoba i snimaka faringozofagealnog segmenta ultrabrzom videoendoskopijom s rezultatima subjektivne procjene kvalitete glasa od strane logopeda.
6. Upitnikom za subjektivnu samoprocjenu SECEL:HR, ispitati komunikacijska iskustva laringektomiranih osoba odnosno ispitati utjecaj gubitka glasa na tjelesne, psihičke i socioekonomske probleme.
7. Upitnikom za subjektivnu samoprocjenu SECEL:HR ispitati postoji li povezanost parametara dobivenih analizom akustičkih zapisa i snimaka ultrabrzom videoendoskopijom sa rezultatima upitnika, odnosno s boljom ili lošijom postoperativnom prilagodbom i zadovoljstvom zamjenskim glasom.

4. ISPITANICI I METODE

4.1. Etička načela i ustroj studije

U ovom istraživanju poštivali su se temeljni etički i bioetički principi i standardi, uključujući osobni integritet: autonomnost, pravednost, dobročinstvo, neškodljivost i ostali iz njih izvedeni koji su u skladu s Nürnberškim kodeksom i najnovijom revizijom Helsinške deklaracije, Zakonom o zdravstvenoj zaštiti Republike Hrvatske (NN 121/03) i Zakonom o pravima pacijenata Republike Hrvatske (NN 169/04). Medicinski podatci prikupljeni su u skladu s etičkim principima te su osigurani privatnost i zaštita podataka. Ispitanicima su detaljno objašnjeni ciljevi i način provođenja istraživanja te postupci kojima će biti podvrgnuti. Ispitanici su uključeni u istraživanje ukoliko su se složili s navedenim i potpisali informirani pristanak.

Za provedu istraživanja dobivene su suglasnosti Etičkog povjerenstva za biomedicinska istraživanja Medicinskog fakulteta u Osijeku (br. 2158-61-46-22-154), Etičkog povjerenstva Kliničkog bolničkog centra Osijek (br. R1/13151/2021), Etičkog povjerenstva Opće bolnice Šibensko-Kninske županije (br. 01-22151/1-21), Etičkog povjerenstva Opće bolnice "Dr. Josip Benčević" Slavonski Brod (br. 04000000/22-11), Etičkog povjerenstva Kliničkog bolničkog centra Zagreb (02/21 AG).

Ustroj studije postavljen je kao presječno istraživanje (80).

Istraživanje je provedeno u dva dijela:

1. Pripremni dio istraživanja: međukulturalna adaptacija i validacija upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba na hrvatski jezik. Pri tome se koristila neovisna skupina ispitanika u odnosu na ostatak istraživanja.
2. Glavni dio istraživanja: analiza videozapisa FES-a laringektomiranih osoba ultrabrzom videoendoskopijom, biomehaničkim modelom te njihova povezanost s akustičkim zapisom i boljom ili lošijom postoperativnom prilagodbom i zadovoljstvom zamjenskim glasom.

4.2. Ispitanici

U pripremni dio istraživanja međukulturalne adaptacije i validacije upitnika uključeno je 50 ispitanika kojima je učinjena totalna laringektomija. Ispitanici su ispitivani u razdoblju od listopada 2021. i prosinca 2022. godine u tri medicinska centra Republike Hrvatske (Klinika za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata, Kliničkog bolničkog centra Osijek, Odjelu otorinolaringologije, Opće bolnice Šibensko-kninske županije i Odjelu za otorinolaringologiju Opće bolnice “Dr. Josip Benčević” Slavonski Brod). Kriteriji za uključivanje ispitanika bili su: ispitanici kojima je totalno odstranjen grkljan, a koji su završili onkološko liječenje i proveli rehabilitaciju glasa 12 mjeseci prije uključivanja u studiju. U studiju nisu uključeni ispitanici s akutnom respiratornom infekcijom gornjeg ili donjeg dišnog puta, drugim primarnim karcinom u području gornjeg dijela aerodigestivnog puta. Zatim ispitanici s uznapredovanim stadijem neurodegenerativnih bolesti te oni koji su odstupili od protokola istraživanja (npr. neispunjavanje SECEL:HR upitnika dva tjedna nakon inicijalnog ispunjavanja).

Glavni dio istraživanja provodio se u Odjelu za fonijatriju, Klinici za bolesti uha, nosa i grla i kirurgiju glave i vrata, Kliničkom bolničkom centru Zagreb (klinički dio) i u Zavodu za automatiku i računalno inženjerstvo Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu (razvoj višemasenog spregnutog biomehaničkog modela). U istraživanje je uključeno 55 ispitanika kojima je učinjena totalna laringektomija, kod kojih je provedena rehabilitacija traheoezofagealnim glasom pomoću govorne proteze te provedeno onkološko liječenje šest mjeseci prije uključivanja u istraživanje. Podatci su se prikupljali od srpnja 2020. do listopada 2023. godine. Isključni kriteriji su bili: dob manja od 18 godina, akutna respiratorna infekcija gornjeg ili donjeg dišnog puta, drugi primarni karcinom u području gornjeg dijela aerodigestivnog puta ili pluća, neurološke i psihijatrijske bolesti koje mogu dovesti do poremećaja govora i gutanja.

Sudjelovanje u oba istraživanja je bilo dobrovoljno nakon što su ispitanici usmeno i pismeno upoznati s metodologijom i svrhom istraživanja i nakon što su sudjelovanje potvrdili davanjem pisanog informiranog pristanka. U svakom je trenutku zadržana anonimnost ispitanika i povjerljivost podataka te su ispitanici u svakom trenutku mogli odustati od istraživanja.

4.3. Metode

4.3.1. Proces validacije upitnika Samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba na hrvatski jezik (SECEL:HR)

U Republici Hrvatskoj SECEL upitnik se prvi puta prepoznaje kao korisno sredstvo u samoprocjeni kvalitete glasa kroz dva diplomatska rada napisana tijekom 2017. i 2019. godine (81, 82). Nažalost, tada nisu poduzeti svi potrebni koraci prilikom validacije upitnika te se ponovno 2020. godine raspravlja o brojnim prednostima upitnika i pokreće međukulturalna prilagodba i validacija na hrvatski jezik slijedeći smjernice Svjetske zdravstvene organizacije za prevođenje i prilagodbu mjernih instrumenata u šest razina (83 – 85).

Nakon odobrenja autora upitnika, profesora Gordona W. Blooda, izvorni oblik upitnika koji je napisan na engleskom jeziku, za potrebe istraživanja preveden je na hrvatski jezik od strane dva prevoditelja s dobrim znanjem engleskog jezika i s iskustvom u području logopedije. Upitnik je prilagođen hrvatskim kulturnim i jezičnim navikama te je prva hrvatska verzija SECEL-a bila spremna za fazu povratnog prijevoda (engl. *back translation*) na izvorni jezik od strane izvornog govornika s profesionalnim iskustvom u prevođenju (licencirani prijevod). Formiran je upitnik, koji se uspoređivao s izvornim upitnikom na engleskom jeziku od strane četiri prevoditelja, a s obzirom da se sadržaj nije značajnije razlikovao od izvornog upitnika, smatralo se da je konačni prijevod na hrvatski jezik iste vrijednosti izvornom upitniku i testiran je na tri laringektomirana ispitanika koji ga ocjenjuju kao lako razumljiv. Konačna verzija upitnika Samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba na hrvatski jezik (SECEL:HR) validirana je na 50 ispitanika. Rad je objavljen u priznatom znanstvenom časopisu iz područja logopedije i fonijatrije te je upitnik SECEL:HR dostupan za korištenje u kliničke i znanstvene svrhe (86).

Demografski, epidemiološki i klinički podatci o učinjenom operativnom zahvatu, onkološkom liječenju te provedenoj rehabilitaciji glasa sakupljeni su u razgovoru s ispitanicima i pomoću dostupne medicinske dokumentacije. Svim bolesnicima učinjen je kompletni otorinolaringološki pregled koji se sastojao iz prednje rinoskopije, otoskopije, orofaringoskopije te fleksibilne transnazalne endoskopije.

Kako bi prepoznali i isključili ispitanike s respiratornim i artikulacijskim poremećajima za objektivnu procjenu izmjerili smo MVF i oralnu DDK. MVF ili koliko dugo osoba opušteno može fonirati slovo „a“ mjereno u sekundama pomoću zapornog sata. Učinili smo tri mjerenja, a odabirali najdulje i dinamički najstabilnije vrijeme. Oralna DDK ili koliko brzo, točno i ritmično ispitanici mogu izgovoriti slogove „pa-ta-ka“. Mjerili smo izgovorene slogove po sekundi i time procjenjivali funkciju govorne motorike.

Uključeni ispitanici koji su ispunjavali kriterije istog dana samostalno i jednokratno ispunili su tri upitnika. Hrvatsku verziju upitnika Indeks vokalnih teškoća (engl. *Voice Handicap Indeks, VHI*), hrvatsku verziju upitnika zdravstvenog statusa (engl. *Short Form Health Survey, SF-36*) te SECEL:HR upitnik. Svih 50 pacijenata dva tjedna nakon inicijalnog uključivanja u istraživanje ponovno je ispunilo SECEL:HR upitnik što se smatralo analizom pouzdanosti (engl. *re-test*). Ovo vremensko razdoblje odabrano je prema uzoru na druga validacijska istraživanja navedenog upitnika jer se nisu očekivale značajne promjene u glasovnom statusu ispitanika (54).

VHI upitnik se ističe kao najrašireniji upitnik za mjerenje i procjenu kvalitete života nakon pojave poremećaja glasa. Upitnik izražava težinu poteškoća s glasom i njegov utjecaj na dnevne aktivnosti. Upitnik je osmišljen 1997. godine od strane Jacobson i sur. na izvornom engleskom jeziku, a hrvatska verzija upitnika validirana je 2013. godine od strane Bonetti i Bonetti te se pokazao kao valjani psihometrijski instrument koji se široko primjenjuje među hrvatskim bolesnicima (53, 87). VHI upitnik sastoji se od 30 tvrdnji formuliranih u tri podskale – funkcionalna, fizička i emocionalna. Svaka tvrdnja boduje se na Likertovoj skali koja se sastoji od 5 bodova u rasponu od 0 („nikad“) do 4 („uvijek“). Ukupni raspon upitnika donosi 120 bodova, a viši broj bodova označava veći poremećaj glasa.

SF-36 višenamjenski je upitnik za samoprocjenu zdravstvenog statusa kojim se ocjenjuje tjelesno i mentalno zdravlje kroz osam različitih razina. Upitnik je međukulturalno adaptiran na mnoge jezike pa tako i na hrvatski (88 – 90). Čestice su podijeljene na tjelesno funkcioniranje, ograničenja zbog tjelesnih problema, tjelesni bolovi i percepcija općeg zdravlja, emocionalne poteškoće, socijalno funkcioniranje, psihičko zdravlje, energija i vitalnost. Svaka stavka je standardizirana (raspon 0 – 100), a viši rezultat predstavlja bolju kvalitetu života.

Izvorni SECEL upitnik razvijen je 1993. godine kao sveobuhvatni mjerni instrument za procjenu komunikacijske disfunkcije laringektomiranih osoba (55). Zamišljen kao upitnik kojim možemo ocijeniti dobro prilagođene bolesnike od onih kojima je potrebno savjetovanje. Upitnik se široko koristi u kliničke i istraživačke svrhe. Upitnik je formiran iz dva dijela. U prvom dijelu ispituju se opći podaci o osobi koja ispunjava upitnik kao spol, bračni i radni status, zanimanje, opseg operativnog zahvata, način komunikacije nakon operativnog zahvata. Drugi dio upitnika osmišljen je kao upitnik od 35 čestica (upitne ili izjavne forme) namijenjen ispitivanju komunikacijskih iskustava u proteklih mjesec dana. Likertovom skalom od 0 do 3 (0 – nikad, 1 – ponekad, 2 – često, 3 – uvijek) ispitanici procjenjuju 34 čestice (pitanja). Pitanja su formirana u tri podskale sa svojim rasponom bodova: Opća podskala (0 – 15), Podskala okoline (0 – 42), Podskala stavova (0 – 45). Za bodovanje odgovora u prvoj općoj skali primjenjujemo obrnuti sustav bodovanja, što znači da se ocjena 3 mijenja u ocjenu 0, ocjena 2 mijenja se u ocjenu 1 i tako dalje. Zadnja, 35. čestica, formirana je kao pitanje: „Govorite li sada jednako koliko i prije laringektomije?“, a ocjenjuje se s "da", "više" i "manje". Rezultat upitnika može varirati od 0 do 102, pri čemu veći rezultat ukazuje na lošiju prilagodbu novom glasu. Srednja vrijednost ukupnog rezultata za dobro prilagođene bolesnike iznosi 36 uz standardnu devijaciju 12. Bilo koja zaokružena stavka može se koristiti za identificiranje potreba za savjetovanjem. Savjetovanje o prilagodbi na novi glas preporučuje se za pacijente s rezultatom iznad 60.

4.3.2. Analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba

U razgovoru s uključenim ispitanicima i pregledom dostupne medicinske dokumentacije prikupljeni su demografski, socijalni i epidemiološki podaci. Bilježio se opseg operativnog zahvata i vrijeme proteklo od istog. Primarnoj ili sekundarnoj ugradnji govorne proteze, učinjenoj miotomiji i opsegu kirurškog zahvata na vratu, podaci o provedenoj radioterapiji i kemoterapiji. Analizirani su podaci o dosadašnjim bolestima, lijekovima koje ispitanici koriste, te podaci o konzumaciji duhanskih proizvoda. Prikupljeni su podaci o trajanju govorne rehabilitacije.

Učinjen je kompletni otorinolaringološki pregled koji je uključivao orofaringoskopiju, prednju i stražnju rinoskopiju, fleksibilnu transnazalnu endoskopiju FES-a (fiberendoskop – Olympus Exera II 180), palpaciju vrata i endoskopsku procjenu gutanja s ciljem utvrđivanja postojanja isključnih kriterija.

Glasovni profil traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze subjektivno je procijenjen od strane logopeda pomoću vizualno-analogne skale (VAS) u rasponu od 0 do 10 (0 – najmanja razina, 10 – najveća razina). Procjenjivala se cjelokupna kvaliteta zamjenskim glasom, tečnost (fluentnost) zamjenskog govora te pojava „grgljavosti“ odnosno dodatnog šuma koji narušava razumljivost govora. Ispitanici su samostalno ispunili SECEL:HR upitnik, oslanjajući se na upute dane u zaglavlju upitnika. Vrijeme potrebno za ispunjavanje upitnika trajalo je između 10 do 15 minuta te nije bilo smetnji od strane ispitivača.

Akustična analiza traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze učinjena je u tihoj prostoriji Odjela za fonijatriju (buka okoline < 50 dB) s postavljenim mikrofonom 30 cm od usta kako bi se postigli optimalni uvjeti za snimanje i analizu. Snimanje je učinjeno u stojećem položaju. Svi ispitanici su dobili jednake upute. Zamoljeni su da duboko udahnu i mirnom, stabilnom prirodnom visinom glasa foniraju vokal „a“. Učinjena su tri uzastopna mjerenja. Glasovni zapisi analizirani su u akustičkom programu lingWAVES (engl. *Voice and speech analyser version 2.x software*). Iz središnjeg dijela najbolje učinjenog snimka, bilježili su se sljedeći parametri: osnovna (fundamentalna) frekvencija (Hz), *jitter* (%), *shimmer* (%) i glasnoća fonacije (dB). Za vrijednosti parametra MVF (sek) uzimala se vrijednost najdužeg mogućeg opuštenog foniranja glasa „a“.

Pregled pomoću HSV učinjeno je ambulantno na stolcu za otorinolaringološki pregled. Ispitanik je sjedio uspravno, tijelom nagnutim blago prema naprijed. Za prikaz vibracija FES-a koristio se „Wolf 5562 HRES ENDOCAM“ rigidni 90° endoskop uz „Wolf Auto LP 5132 Hlight“ kao izvor svjetla (*RICHARD WOLF GmbH, Knittlingen, Germany*). Brzina snimanja je 4 000 slika u sekundi, rezolucije 256 × 256 piksela. Svakom ispitaniku prije samog pregleda objašnjen je postupak, a ukoliko je pregled bio otežan zbog nadraženog refleksa korištena je lokalna anestezija u obliku spreja, 1 do 2 potiska koncentracije 100 mg/ml, po potisku 0.1 ml lidokaina. Ispitanike smo zamolili da otvore usta i ekstrudiraju jezik koji je ispitivač pridržavao gazom te smo endoskop uveli bez kontakta iznad gornje površine jezika do orofarinksa s otvorom usmjerenim prema hipofarinksu i otvoru FES-a. Ispitanike smo zamolili da rukom zatvore traheostomu te foniraju slovo „a“. U trenu vizualizacije FES-a ispitivač je uključio snimanje HSV-om (Slika 4.1.). Nakon snimanja izvršen je pregled učinjenog videa radi utvrđivanja prihvatljivosti i kvalitete. Za svakog ispitanika ispitivač je ispunjavao posebno osmišljeni obrazac o broju učinjenih snimaka, procjene suradljivosti, korištenja lokalne

anestezije i kvaliteti vizualizacije. Također je zabilježena i frekvencija zamjenskog glasa izražena u Hz i jačina fonacije izražena u dB koji su se mjerili mikrofonom integriranim u sustav HSV-a. Učinjeni videozapis s relevantnim dijelovima vibracije FES-a zatim je pohranjen u računalo, kako bi se mogao više puta reproducirati radi potreba analiza snimke. Radi sigurnosti svi videozapisi su šifrirani i sačuvani na tvrdom disku.



Slika 4.1. Pregled ultrabrzom videoendoskopijom. Izvor: autor

Analizu ukupno 55 digitalnih snimaka učinila su dva otorinolaringologa subspecijalista fonijatrije (Ž. L. K. i A. Đ. H.). Vizualno su se ocjenjivale snimke prema obrascu za vizualnu procjenu digitalnih zapisa laringektomiranih osoba preuzeto od van As i sur. (18). Nakon zabilježenih parametara o istima usmeno se raspravljalo dok se nije formirala konačna ocjena pojedine snimke. Prvo se procjenjivala ukupna kvaliteta snimke, a zatim jasnoća i stupanj fokusiranja relevantnih dijelova (vibracija FES-a). Opis snimke bilježio se pojmovima – dobra,

umjerena, loša. Morfološke i anatomske karakteristike FES-a analizirale su se u sedam stavaka. Vidljivost FES-a ocijenjena je kao vidljiva kada se jasno vidjela početna točka vibracije FES-a, a djelomično vidljiv kada se mogao prikazati samo dio putujuće vibracije ili nije bilo vidljivo u slučaju da se vibracija nije prikazivala. Prisutnost sline bodovala se sa četiri parametara (nema, malo, umjereno, dosta) te se pratila njezina gustoća (gusta/rijetka) i lokalizacija u odnosu na FES. Oblik FES-a prilikom otvorene faze opisno se ocijenjivao kao kružni (cirkularni), trokutasti (triangularan), razdvojen sa strane na stranu (engl. *split side to side*), razdvojen naprijed-nazad (engl. *split anterior-posterior*), nepravilan (engl. *irregular*) i ne može se procijeniti. Mjesto vidljive vibracije opisno je analizirano kao: pretežno mjesto vibracije nalazi se naprijed-straga, lijevo-desno, na svim zidovima i ne može se procijeniti. Razlikovanje i prisutnost sluzničkog (mukoznog) vala bodovala se kao: sluznički val je jak, slab ili odsutan te ne može se procijeniti. Vizualni dojam pravilnosti vibracije sluznice FES-a ocijenjen je kao vibracija je pravilna, nepravilna i ne može se procijeniti. Na kraju se promatralo trajanje otvorene ili zatvorene faze FES-a u odnosu na kompletan ciklus vibracija te je ocijenjen s: većinom predominira otvorena faza, otvorena/zatvorena faza su jednake, predominira zatvorena faza i ne može se procijeniti.

4.3.3. Obrada videozapisa faringoezofagealnog segmenta računalnom obradom slike

Za potrebe studije u opisivanju nastanka zamjenskog glasa koristili smo se biomehaničkim modelom kretanja tkiva FES-a kao dinamičkog sustava. Kod razvoja biomehaničkog modela bitna je suradnja između stručnjaka medicinske struke koji posjeduju znanje o anatomiji i morfologiji FES-a i stručnjaka iz područja matematičkog modeliranja koji posjeduju znanja o postupku stvaranja identifikacije parametara elemenata matematičkog modela.

ALGORITAM OBRADE SLIKE

Dobiveni videozapis ispitanika pomoću HSV potrebno je obraditi kako bi se dobio vremenski slijed kretanja/vibracija sluznice FES-a. Vibracije sluznice FES-a pratili smo kao površinu otvora FES-a pod različitim kutovima za svaku sliku vremenskog slijeda videozapisa. Metodologija se sastoji od nekoliko koraka:

1. Vizualni pregled i ručno označavanje otvora

Nakon učinjenog i na računalo pohranjenog videozapisa ispitivač (stručnjak medicinske struke – otorinolaringolog) pregledava i odabire referentne slike najvećih otvora segmenata za svakog bolesnika zasebno. To je potrebno učiniti jer stvoreni algoritam u velikom broju slučajeva ne može samostalno izdvojiti artefakte sa snimke. Ujedno, u algoritam obrade slike na ovaj način izravno se unosi i znanje medicinske struke. Za svakog se bolesnika iz učinjenog videozapisa odabere ekstrahirana slika i rukom se označi maksimalno područje faringozofagealnog otvora / segmenta (točka interesa) kao trenutak maksimalnog otvaranja, koji se potom koristi kao polazište za daljnju analizu (Slika 4.2.). Potrebno je zaokružiti širinu otvora počevši od gornje sredine ako se gleda kao sat te napraviti puni krug (oblik otvora). Ovim se potezom postavlja referentni kalup (engl. *benchmark*) tj. oblik za koji su dimenzije najveće te će se automatski određeni oblik skalirati na ovu veličinu. Slika mora biti dobro odabrana kako bi se poništio utjecaj sline koja otežava ili posve onemogućava detekciju otvora segmenta.



Slika 4.2. Ručno označen faringozofagealni segment.

Na slici je prikaz rukom označenog maksimalnog područja faringozofagealnog segmenta kao trenutak maksimalnog otvaranja koji se potom koristio kao polazište za daljnju analizu (točka interesa - označeno crvenom bojom). Izvor: autor

2. Odabir broja segmenata tkiva

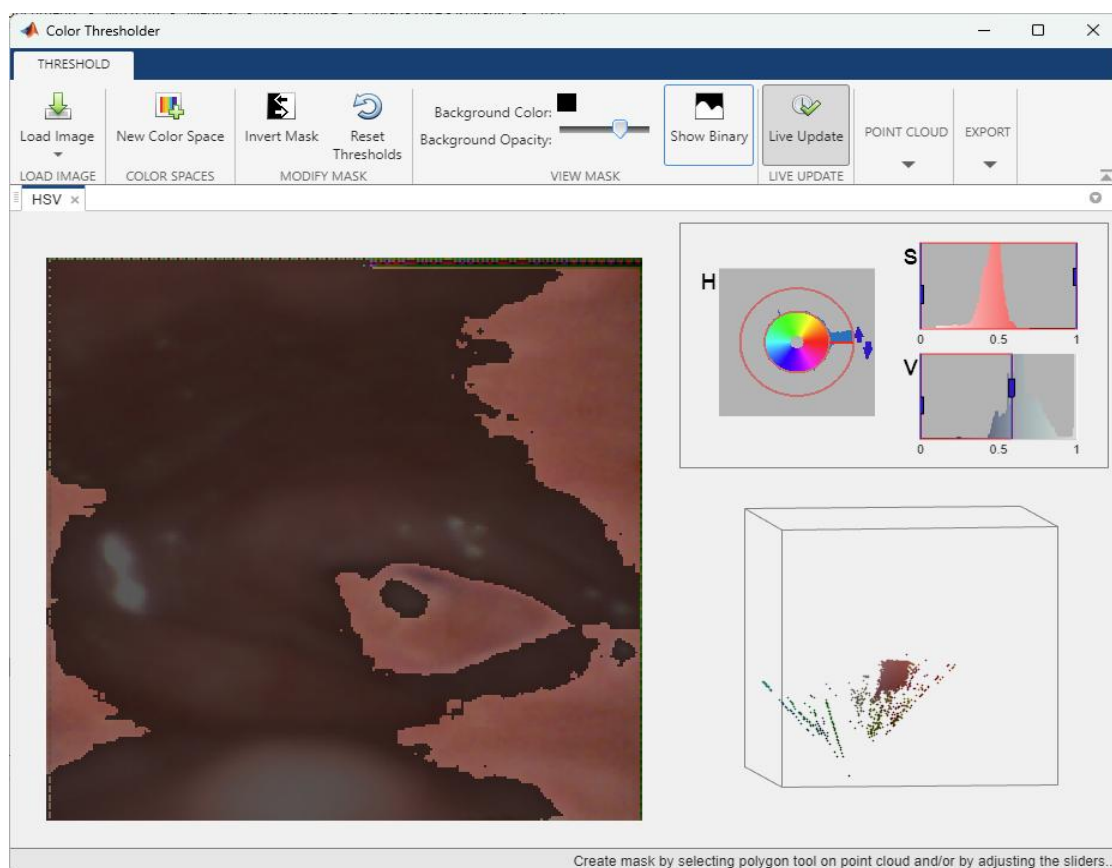
Pomoću algoritma implementiranog u programskom paketu MATLAB (verzija R2022b), maksimalno područje faringozofagealnog otvora / segmenta (točka interesa) označena ručno koristi se za izdvajanje otvora iz ostatka videozapisa i praćenje promjena u FES-u tijekom vremena.

Od svakog učinjenog videozapisa uzeto je četiri perioda ciklusa gibanja FES-a (otvoreno-zatvoreno), što u najvećem broju slučajeva podrazumijeva 250 slika. Kod manjeg broja pacijenata uzeto je manje od 250 slika zbog loše kvalitete snimka ili je snimak bio previše kratak pa se nije moglo prikazati četiri perioda ciklusa. Rezolucija videa je 15 sličica u sekundi, odnosno obrađeno je 16,67 sekundi svakog videa. Kako je rezolucija HSV 4 000 sličica u sekundi, znači koristimo stvarnih (fizikalnih) oko 0,0625 sekundi za svakog ispitanika.

Ovisno o obliku otvora FES-a (kružni, trokutasti, razdvojen sa strane na stranu) odabire se broj osi n kao broj jedinica mase koje nadomještaju grupaciju elastičnog tkiva razmatranog FES-a, u kojima će se načiniti pojedinačni elementi biomehaničkog modela. Svaka os j pri tome je zarotirana za kut ψ_j uz referentni kut $\psi_0 = 0^\circ$ odabran u horizontalnoj ravnini. Broj osi n ovisi o željenoj točnosti budućeg modela vremenskog profila površine otvora gdje veći broj znači veću točnost, no također i teži postupak identifikacije parametara modela. Za pravilne otvore FES-a kao što su kružni i sferični oblik, pokazalo se da je dovoljno odabrati 8 osi, dok se za izrazito nepravilne otvore (konkavni/konveksni, sedlasti, poligonski, oblik „šešira“) pokazalo da je potrebno uzeti 20 osi.

3. Stvaranje maske

Za obradu slike matematičkim modelom najbitnije je kreiranje „maske“ koja izolira ciljane boje na slici i pretoči ih u crno-bijele oblike koji su nam od interesa. Proces je specifičan za svaki video (za svakog ispitanika) pa ga je potrebno provoditi ručno uzimajući u obzir kliničko iskustvo stručnjaka medicinske struke opisano u prethodnim koracima. Maska se za svaki pojedinačni slučaj stvara na temelju odabira relevantnog dijela histograma slike u različitim pristupima, većinom iz spektra crvena-zelena-plava ili iz cilindričnog koordinatnog sustava nijansa-zasićenost-svjetlina (Slika 4.3.).

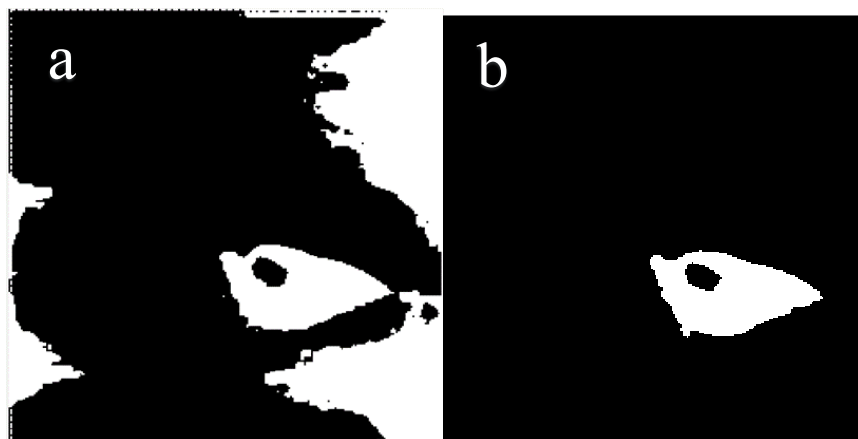


Slika 4.3. Obrada slike matematičkim modelom – kreiranje maske

Na slici je prikazano kreiranje „maske“ koja izolira ciljane boje na slici i pretoči ih u crno-bijele oblike koji su nam od interesa pomoću algoritma implementiranog u programskom paketu MATLAB. Maska se stvarala na temelju odabira relevantnog dijela vizualnog prikaza distribucije kvantitativnih podataka slike u različitim pristupima, većinom iz spektra crvena-zelena-plava ili iz cilindričnog koordinatnog sustava nijansa-svjetlina-zasićenost. Izvor: autor i Lešić V.

4. Stvaranje binarnog referentnog kalupa za amplitudnu segmentaciju slike

Na sliku u trenutku najvećeg otvora FES-a primjenjuje se načinjena maska te se izvlače značajke od interesa, a slika se prebacuje u binarni oblik (crno/bijelo). Značajke od interesa redovito uključuju više različitih regija, ali izolira se regija koja se odnosi na otvor FES-a, dok se ostale regije odbacuju. Ovako izolirana slika sadrži samo regiju od interesa u binarnom prikazu i dalje se koristi kao referentni kalup (Slika 4.4.).



Slika 4.4. Stvaranje referentnog binarnog kalupa za segmentaciju slike

Na slikama prikazano je stvaranje binarnog (crno/bijelo) referentnog kalupa za amplitudnu segmentaciju slike. Prikaz binarnog oblika nakon obrade slike (a) i prikaz izoliranog kalupa s uklonjenim artefaktima (b). Ovako izolirana slika (b) dalje se koristila kao referentni kalup. Izvor: autor i Lešić V.

5. Izdvajanje otvora FES-a

Pojedinačna slika videosnimka provodi se kroz „masku“ (opisanu u koraku tri) te se kao crno-bijela područja od interesa prebacuje u binarni oblik i oduzima od referentnog kalupa (opisanog u koraku četiri). Na ovaj način izolirana je regija od interesa koja se odnosi na otvor FES-a u trenutku, a koji je sigurno manji ili jednak najvećem označenom otvoru FES-a (odabranog u koraku jedan). Ranije opisani koraci provode se pojedinačno za svaki snimak (ispitanika), a ovo je korak koji čini dio autonomnog algoritma primjenjivog na svaku sliku za svaki snimak (ispitanika).

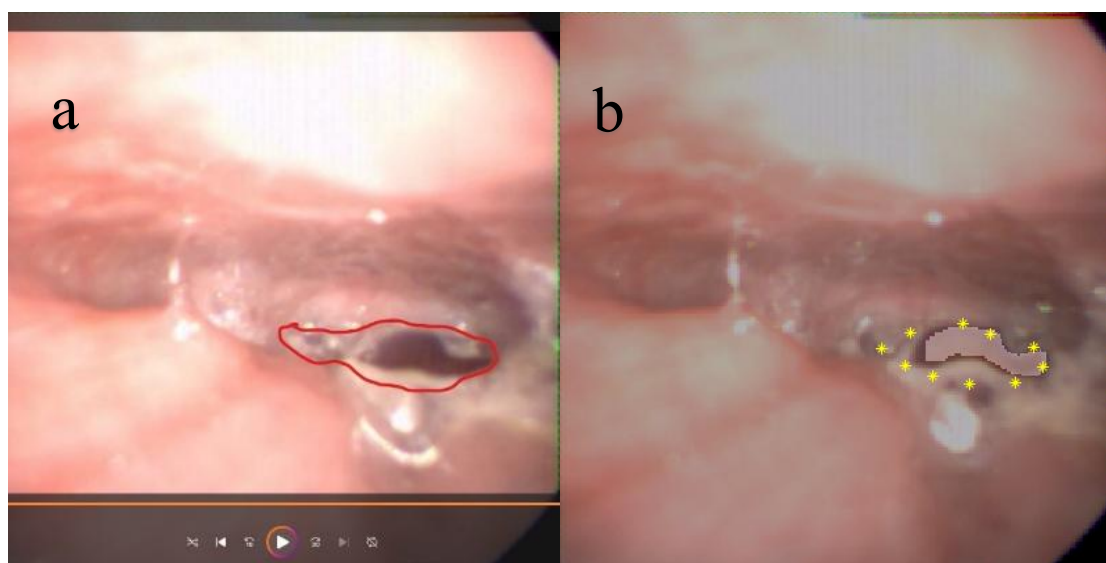
6. Izdvajanje horizontalne dimenzije otvora

Iz izolirane binarne regije izdvaja se pravokutnik koji opisuje otvor, a sadrži koordinate aritmetičke sredine položaja svih točaka na površini figure (centra površine – centroida) te horizontalne i vertikalne dimenzije, izražene u pikselima slike. Slika se zatim svodi na jednodimenzionalni presjek kroz koordinate centroida te se iz nje izdvoji dimenzija lijevo od centroida koja označava lijevu širinu otvora h_j u odnosu na centar faringoezofagealnog otvora. Lijeva širina otvora izdvojena je u ovom koraku za horizontalni postav, odnosno pri kutu 0° . U daljnjim koracima, izdvojiti će se ponovo veličina koja bi u ovom slučaju bila desna širina (nakon odgovarajućeg rotiranja), no ovaj pristup pokriva i slučajeve kada je broj osi odabran

nesimetrično, kao neparni broj. Slika se rotira za odabrani kut te se primjenjuje analogni postupak za izdvajanje lijeve širine. Pristup se koristi za sve osi j (rotiranje za kutove ψ_j) te se konačno dobije n različitih dimenzija otvora u svim kutovima.

7. Skaliranje dimenzija otvora

Faktor skaliranja dimenzija otvora određuje se kao omjer dimenzija izdvojenih iz ručno označene regije i algoritamski određene regije koja je proizašla kao rezultat primjene maske na sliku snimka. Pri tome je omjer za skaliranje određen samo jednom, u trenutku najvećeg otvora FES-a, a primjenjuje se dalje za sve slike unutar pojedinog snimka. Množenjem izdvojenih dimenzija otvora s faktorom skaliranja dobiju se skalirane dimenzije otvora. Za dodatnu korekciju algoritma uzima se ekspertiza kliničara (Slika 4.5.).



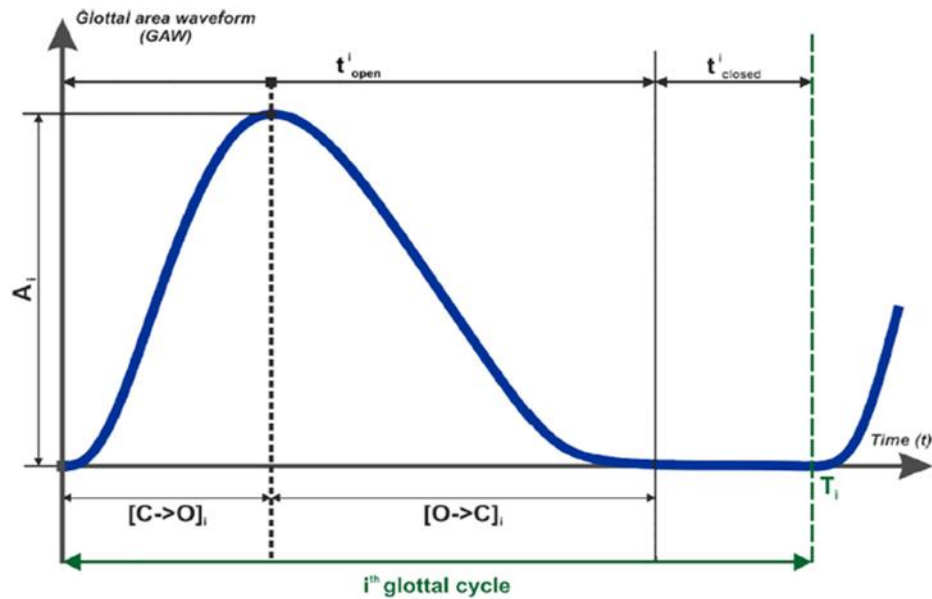
Slika 4.5. Ručno označen i algoritamski obrađen faringozofagealni otvor

Na slikama prikazani su primjeri ručnog označavanja faringozofagealnog otvora opisanog u koraku jedan od strane otorinolaringologa (a) i korištenje ove informacije prilikom skaliranja dimenzija opisanog u koraku sedam (b). Na desnoj slici (b) površina blago prozirnog oblika rezultat je algoritamski obrađene slike, a točkasti uzorci označeni žutom bojom rezultat su skaliranja. Na ovaj način kompenziran je utjecaj artefakta na snimku (pojačani sekret – slina). Izvor: autor i Lešić V.

8. Određivanje profila veličine otvora

Kao završni korak određuje se profil veličine otvora. Opisani koraci 5 – 7 ponavljaju se za svaku sliku k unutar snimka vremenskog intervala od interesa m koji je odabran kao četiri periode osciliranja FES-a (vibriranja sluznice u otvorenoj/zatvorenoj fazi FES-a – kontrakcija-ekspanzija), a u najvećem broju slučajeva ispitanika vremenski interval od interesa podrazumijeva 250 slika unutar snimka što je već napomenuto u koraku dva. Nakon provedenih koraka, rezultat su širine otvora u svim osima i za sve slike kao matrica $\mathcal{H}$ dimenzija $n \times m$, odnosno $\mathcal{H} \in \mathbb{R}^{n \times m}$. U najvećem broju slučajeva (za pravilne otvore) matrica profila otvora odabrane je kao $\mathcal{H} \in \mathbb{R}^{8 \times 250}$ (8 osi, 250 slika), no može biti proizvoljnih dimenzija, a ograničena je samo duljinom snimka. Također, iz dimenzija svih osi tijekom vremenskog intervala izračunava se i vremenski profil površine otvora FES-a. U svrhu usporedbe, vremenski profil površine otvora ždrijela izračunava se za slučaj algoritamski izračunatih dimenzija i za slučaj skaliranih izračunatih dimenzija.

Opisanim koracima dobivamo pojam PEAW (engl. *Pharyngoesophageal area waveform, PEAW*) koji određuje promjenu faringoezofagealnog otvora tijekom vremena (tj. otvaranja i zatvaranja vibrirajuće sluznice FES-a). Pomoću PEAW-a možemo lakše promatrati faze otvaranja i zatvaranja sluznice faringoezofagealnog otvora i dalje ih korelirati s parametrima od interesa. Pojam PEAW spominje se u literaturi od 2003. godine pod drugačijim imenima i pomoću inferiornijih računalnih modela (78, 91). Zasniva se na promatranju i opisu pojma GAW. Pojam GAW ili valni oblik glotalnog područja (područje između glasnica kod očuvanog larinksa) definira se kao funkcija promjene glotalnog otvora u pikselima u vremenu iz kojih se mogu izdvojiti i izračunati različiti parametri u opisivanju gibanja zdravih i patoloških stanja glasnica (92 – 95) (Slika 4.6.).



Slika 4.6. Period jednog GAW ciklusa u vremenskom intervalu.

Na slici je prikazan period jednog GAW (engl. *Glottal area waveform*) ciklusa u vremenskom intervalu. Prikazan je oblik tipičnog perioda (označenog indeksom i) kao periodična dinamika površine otvora tijekom vremena. Varijable označene na slici: A_i Amplituda najveća promjena u površini otvora (maksimalna površina otvora), T_i Period trajanja glotalnog ciklusa, t_{open}^i Vrijeme trajanja otvorenog dijela ciklusa, t_{closed}^i Vrijeme trajanja zatvorenog dijela ciklusa, $[C \rightarrow O]_i$ Otvaranje glotisa tj. prijelaz iz zatvorenog u otvoreni dio ciklusa, $[O \rightarrow C]_i$ Zatvaranje glotisa tj. prijelaz iz otvorenog u zatvoreni. Preuzeto i prilagođeno prema literaturnom navodu (92).

4.3.4. Analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba pomoću višemasenog spregnutog biomehaničkog modela

Osnovu računalnog modela čine karakteristike FES-a koje ovise o vremenu kao što su masa, oblik, krutost i geometrijska distribucija faringoezofagealnog tkiva te su u izravnoj korelaciji s kvalitetom zamjenskog glasa. Slijedeći dosadašnja istraživanja, vibrirajući FES predstavljen je modelom opruga s više masa (78, 79).

Višemaseni spregnuti biomehanički model koji analizira ne-stacionarne vibracije tkiva promatra se iz perspektive dvodimenzionalnog presjeka FES-a, a načinjen je od većeg broja elemenata gdje svaki modelira dio segmenta elastičnog tkiva ždrijela oko faringoezofagealnog otvora. Svaki segment ima svoje karakteristike: masu, elastičnost opruge, iznos prigušenja, položaj, a u slučaju dvodimenzionalnog modela, i povezanost sa susjednim segmentima bilo u

dvodimenzionalnom ili trodimenzionalnom razmatranju. Pri tome broj elemenata modela određen je s odabranim brojem osi u kojima se identificiraju dijelovi segmenta elastičnog tkiva. Svaki element modela ima dominantnu dinamiku pretpostavljenu kao Kelvinov model oscilatora, kojeg čini opruga i prigušni element te sporedne dinamike koje su odabrane kao opruge i modeliraju spregu sa susjednim fleksibilnim segmentima tkiva.

Dvodimenzionalna diferencijalna jednadžba potpune dinamike jedinice mase biomehaničkog modela u razmatranoj referentnoj osi j dana je kao:

$$m_j \ddot{d}_j = F_u - F_j - \mathbf{R}_{j-1} F_{j-1} - \mathbf{R}_{j+1} F_{j+1}, \quad (4-1)$$

uz pojedinačne komponente:

$$d_j = \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_j = \begin{bmatrix} \cos \psi_j & -\sin \psi_j \\ \sin \psi_j & \cos \psi_j \end{bmatrix}, \quad \psi_j = \frac{360}{n}(j-1), \quad \forall j \geq 1,$$

uz pojašnjenja korištenih varijabli:

j	indeks razmatrane osi
$j-1$	indeks prethodne osi u odnosu na razmatranu
$j+1$	indeks sljedeće osi u odnosu na razmatranu
m	masa segmenta
d	vektor pomaka segmenta
x	pomak segmenta u x koordinati
y	pomak segmenta u y koordinati
F_u	pobudna sila koja uzrokuje vibracije, posljedica zraka iz pluća
F	rezultantna sila dinamike elemenata modela
$\mathbf{R}$	rotacijska matrica za transformaciju koordinata iz susjednih segmenata u razmatranu os
k	konstanta krutosti opruge
c	koeficijent prigušenja
$\psi_{j,j-1}$	kut između jedinice mase u razmatranoj i prethodnoj osi
$\psi_{j,j+1}$	kut između jedinice mase u razmatranoj i sljedećoj osi

Pri čemu su:

$$F_j = -k_j d_j - c_j \dot{d}_j, \quad (4-2)$$

$$F_{j,j-1} = -k_{j,j-1} d_j, \quad (4-3)$$

$$F_{j,j+1} = -k_{j,j+1} d_j, \quad (4-4)$$

$$\psi_{j,j-1} = \begin{cases} \pi - \arctg \frac{y_{j-1}}{x_j - x_{j-1}}, & x_j \leq x_{j-1} \\ \arctg \frac{y_{j-1}}{x_{j-1} - x_j}, & x_j > x_{j-1} \end{cases}, \quad (4-5)$$

$$\psi_{j,j+1} = \begin{cases} \pi - \arctg \frac{y_{j+1}}{x_j - x_{j+1}}, & x_j \leq x_{j+1} \\ \arctg \frac{y_{j+1}}{x_{j+1} - x_j}, & x_j > x_{j+1} \end{cases}. \quad (4-6)$$

S obzirom da su dostupni vremenski profili širina otvora u pojedinim osima, višemaseni spregnuti biomehanički model moguće je identificirati u formi vremenskog odziva. Samu jednadžbu (4-1) uz pripadajuće elemente (4-2) - (4-6) potrebno je stoga riješiti tako da se dobije vremenska ovisnost položaja jedinice mase u $x_j(t)$ obliku. Izvod rješenja može se pronaći u tekstu Jensen J. gdje je ekvivalentni oblik korišten za modeliranje osciliranja elektrona unutar energetskih razina u području kvantne mehanike, a ovdje je dodatno proširen prigušnim elementom (96). Konačno rješenje dvodimenzionalne diferencijalne jednadžba je:

$$x_j(t) = X_j e^{-\zeta t} \sin(\omega_j t + \varphi_j) + X_{j-1} \sin(\omega_{j-1} t + \varphi_{j-1}) + X_{j+1} \sin(\omega_{j+1} t + \varphi_{j+1}) + X_{j0}, \quad (4-7)$$

$$y_j(t) = Y_j e^{-\zeta_y t} \sin(\omega_{y,j} t + \varphi_{y,j}) + Y_{j-1} \sin(\omega_{y,j-1} t + \varphi_{y,j-1}) + Y_{j+1} \sin(\omega_{y,j+1} t + \varphi_{y,j+1}) + Y_{j0}. \quad (4-8)$$

Pri tome je izražena dominantna dinamika u x koordinati za svaku razmatranu os j , dok se dinamika u y koordinati može zanemariti. Za potpuno simetrične sustave, ovo je uistinu i točno, a za realne sustave ovo je opravdana pretpostavka s obzirom da se u dosadašnjem pristupu točkastog razmatranja elemenata dvodimenzionalnog presjeka FES-a gdje se grupacija tkiva nadomješta jednom reprezentativnom masom u razmatranoj osi j što je pojednostavljena približnost stvarnog sustava. U daljnjem postupku identifikacija parametara opruga i prigušnika nužno podrazumijeva dozvoljene pragove tolerancije te unosi netočnost modela. Umjesto razmatranja zasebne dinamike u y koordinati, točnost aproksimacije postiže se uvođenjem većeg broja osi n tj. većeg broja nadomjesnih jedinica mase pri čemu se povećava rezolucija

točkastog razmatranja elemenata dvodimenzionalnog presjeka FES-a. Teoretski, za $n \rightarrow \infty$, model prestaje biti točkast i postaje kontinuiran. Kako je već ranije navedeno, pokazalo se dovoljnim odabir $n = 8$ za pravilne oblike otvora i $n = 20$ za nepravilne, dok je sami sustav i identifikacija modela razmatrana i za $n = 1000$ gdje je davala sličnu točnost kao i za $n = 20$.

Za proizvoljni z broj sprega vrijedi:

$$x_j(t) = X_{j0} + X_j e^{-\zeta t} \sin(\omega_j t + \varphi_j) + \sum_{z=1}^{n-1} X_z \sin(\omega_z t + \varphi_z), \quad (4-9)$$

$$\forall z \in \{1, \dots, n\} \setminus j,$$

Pri čemu je dominantna dinamika vezana uz jedinicu mase kao prvi element jednadžbe, a dinamike sprega modelirane su kao drugi element jednadžbe. Na ovaj se način može vrlo jednostavno uzeti u obzir i trodimenzionalni model sustava uzimajući u obzir i longitudinalnu dinamiku FES-a kao niza grupacija tkiva u jedinice mase u različitim dvodimenzionalnim slojevima, bilo kao spregu s prethodnim susjednim dvodimenzionalnim presjekom kao što je razmatrano u istraživanju Schwarz i sur., i prethodnim i sljedećim susjednim dvodimenzionalnim presjecima ili općenito proizvoljni broj sprega odnosno međusobnih utjecaja različitih grupacija tkiva (97). Identifikacija modela podrazumijeva određivanje pet parametara X_j , X_{j0} , ζ , ω_j i φ_j za dominantnu dinamiku svake pojedine osi j te tri parametara X_z , ω_z i φ_z za dinamike svake pojedine sprege z u odnosu na razmatranu os j . Ovo ujedno predstavlja i ograničenje postupka također opisanog u ranije citiranom istraživanju Schwarz i sur. koji istovremeno određuje sve parametre za 6 jedinica mase i 4 sprege za svaku os čineći tako 17 parametara za svaku os, odnosno ukupno 102 parametra modela (78). Nije točno pojašnjen postupak određivanja parametara, no pretpostavka je da se koristi pristup iz područja genetskih algoritama (tehnika pretraživanja korištena u računarstvu za pronalazak točnih ili približno točnih rješenja za probleme optimizacije i pretraživanja) koji minimizira površinu očitane iz slike i proračunatu iz modela u svakom trenutku slijeda snimka tj. za svaku sliku. Ovo je računski iznimno zahtjevan postupak za koji je nužno reducirati broj identificiranih parametara.

Umjesto genetskog algoritma, u nastavku je predložen kaskadni pristup identifikacije parametara koji su korišteni u sklopu ove doktorske disertacije, a koji je specifičniji za svaki pojedini slučaj (ispitanika) i time se više oslanja na kliničko znanje i iskustvo. Sam kaskadni

pristup manje je računski zahtjevan i omogućuje nam neograničeni broj parametara. Također, u postupku pokazalo se da je dovoljno odabrati samo razmatrani dvodimenzionalni presjek, izuzimajući iz razmatranja longitudinalnu (uzdužnu) dinamiku FES-a budući da su slika i videozapis sami po sebi dvodimenzionalne naravi te je nemoguće odrediti longitudinalne dimenzije otvora samo iz analize slike.

Algoritam određivanja parametara odnosno identifikacije modela sastoji se iz pet koraka:

1. Dohvat dimenzija otvora

Za svaku os, odnosno za svaki kut rotacije ψ_j , uzima se odgovarajući profil kontrakcija i ekspanzija otvora FES-a kao vektor širine u osi $h_j \in \mathcal{H} = \mathbb{R}^{j \times 250}$. Vektor predstavlja osciliranje lijeve jedinice mase biomehaničkog modela.

2. Identifikacija parametara fundamentalne komponente

Na početku se identificira fundamentalna komponentna dominantne dinamike zanemarujući prigušenje i spregu sa susjednim jedinicama mase, kao jednostavni jednodimenzionalni model pomaka opruge

$$x_j(t) = X_j \sin(\omega_j t + \varphi_j) + X_{j0}, \quad (4-10)$$

iz čega se određuju parametri fundamentalne komponente dominantne dinamike X_j , X_{j0} i ω_j dok se φ_j pamti i uzima kao početno rješenje za daljnje ugađanje u sljedećim koracima. Za identifikaciju parametara koristi se pretpostavljeni oblik krivulje te se primjenjuje metoda najmanjih kvadrata (MATLAB funkcija „fit“) koja mijenjajući parametre modela smanjuje kvadrat pogreške između stvarnih vrijednosti skaliranih veličina uzetih iz slike i vrijednosti modela dobivenih iz pretpostavljene jednadžbe. Postupak se provodi uz početne uvjete parametara inicijalno odabrane kao:

- $X_j = \max h_j - \min h_j$,
- $X_{j0} = (\max h_j + \min h_j)/2$,
- $\omega_j = 2$,
- $\varphi_j = 0$.

3. Identifikacija parametara modela u jednoj osi

Parametri iz koraka dva (X_j, X_{j0}, ω_j) uzeti su kao poznati, a dalje se određuju preostali prema jednadžbi (4-7) koristeći također metodu najmanjih kvadrata i pretpostavljeni oblik krivulje. Na ovaj način odabrani su preostali parametri $X_{j-1}, X_{j+1}, \zeta, \omega_{j-1}, \omega_{j+1}, \varphi_j, \varphi_{j-1}$ i φ_{j+1} . Postupak se provodi uz početne uvjete parametara inicijalno odabrane kao:

- $X_{j-1} = X_{j+1} = 0.3X_j,$
- $\omega_{j-1} = \omega_{j+1} = 800 \omega_j,$
- $\zeta = 0.003,$
- $\varphi_{j-1} = \varphi_{j+1} = 0.$

4. Identifikacija parametara cjelokupnog modela

Opisani koraci 1 – 3 provode se za svaku os j čime se konačno dobije matematički model za sve točke tijekom vremenskog intervala za sve osi, označen kao $\hat{\mathcal{H}} = \mathfrak{R}^{n \times m}$. Time je za svaku os identificirano 11 parametara, odnosno uz najčešći slučaj odabira 8 jedinica mase i 250 sličica, $\hat{\mathcal{H}} = \mathfrak{R}^{8 \times 250}$, za većinu razmatranih pacijenata identificirano je 88 parametara modela.

5. Izračun profila površine otvora iz modela

Dobiveni model sadržan je u obliku identificiranih parametara, no za daljnji rad potreban je vremenski odziv u (x, y) koordinatama kao točkasti oblik položaja jedinica mase. S obzirom da je dosadašnji model promatran iz perspektive referentne osi j , sada se svaka os rotira u globalni koordinatni sustav (X, Y) kao:

$$\begin{bmatrix} \hat{X} \\ \hat{Y} \end{bmatrix} = \bigcup_{j=1}^n \mathbf{R}_j \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \end{bmatrix}. \quad (4-11)$$

Skup svih izračunatih točaka modela $[\hat{X}, \hat{Y}]^T$ linearno se interpolira tako da se dobije poligon s točkastim koordinatama modela kao vrhovima. Za dobiveni poligon računa se površina MATLAB naredbom „polyarea“ za svaku sliku kao profil površine faringozofagealnog otvora u ovisnosti o vremenu kojeg je moguće usporediti s površinom dobivenom iz analize slike. Postupak identifikacije ponavlja se odabirom

drugih početnih uvjeta do trenutka dok površina modela u odnosu na površinu dobivenu obradom slike pokazuju značajno podudaranje. Ovaj postupak može se subjektivno precizno ugoditi uz ekspertno kliničko znanje procijenjene veće ili manje krutosti tkiva, prigušenja oscilacija i drugih karakteristika.

Zbog individualnog točkastog pristupa, postupak identifikacije parametara modela ima linearnu složenost te računski može podnijeti veliki broj uzoraka. Zahtjevni dio predstavlja ugađanje velikog broja parametara modela za veliki broj uzoraka.

4.4. Statističke metode

Kategorijski podatci su predstavljeni apsolutnim i relativnim frekvencijama. Razlike kategorijskih varijabli su testirane Fisherovim egzaktnim testom. Normalnost raspodjele kontinuiranih varijabli je testirana Shapiro-Wilkovim testom. Kontinuirani podatci su opisani medijanom i granicama interkvartilnog raspona. Razlike kontinuiranih varijabli između dviju nezavisnih skupina su testirane Mann-Whitneyevim U testom. Razlike kontinuiranih varijabli između tri nezavisne skupine testirane su Kruskal Wallisovim testom (*Post hoc* Conover test). Ocjene povezanosti dana je Pearsonovim R ili Spearmanovim koeficijentom korelacije ρ (Rho), u ovisnosti o normalnosti raspodjele. Psihometrijska svojstva upitnika provjerena su unutarnjom valjanosti, pouzdanosti (koeficijent Cronbach alpha) i primjerenosti (98, 99).

Sve P vrijednosti su dvostrane. Razina značajnosti je postavljena na $\text{Alpha} = 0,05$. Za statističku analizu koristili su se statistički paket MedCalc® Statistical Software version 23.0.6 (MedCalc Software Ltd, Ostend, Belgium; <https://www.medcalc.org>; 2024) i SPSS 23 (IBM Corp. Released 2015. IBM SPSS, Ver 23.0. Armonk, NY: IBM Corp.).

Izvješće o provedenom istraživanju načinjeno je prema smjernicama za izvještavanje rezultata istraživanja u biomedicini i zdravstvu (100).

5. REZULTATI

5.1. Međukulturalna adaptacija upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba na hrvatski jezik (SECEL:HR)

5.1.1. Demografski i klinički podatci ispitanika u pripremnom dijelu istraživanja

Pripremni dio istraživanja i provjera upitnika provedena je na 50 ispitanika neovisnih u odnosu na ostatak istraživanja. Ispitanici su koristili sva tri načina rehabilitacije nadomjesnog govora, no najzastupljeniji su bili traheoezofagealni govornici pomoću govorne proteze (n = 31). Svi sudionici istraživanja uspjeli su samostalno bez pomoći ispuniti sva tri upitnika (VHI, SF-36, SECEL:HR), a vrijeme potrebno za ispunjavanje kretalo se između 15 i 35 minuta. Nema značajnih razlika prema naučenom načinu komunikacije u odnosu na demografska obilježja (Tablica 5.1.).

Tablica 5.1. Raspodjela demografskih obilježja ispitanika pripremnog istraživanja

	traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze (n = 31)	ezofagealni glas (n = 11)	elektrolarinks (n = 8)	ukupno (n = 50)	P*
dob (godine)	64 (62 – 72)	66 (64 – 69)	67 (64 – 73)	66 (63 – 72)	0,66†
[medijan (interkvartilni raspon)]	min:53 max: 81	min: 62 max: 74	min: 57 max: 78	min: 53 max: 81	
spol					
muški	29 (94)	11 / 11	8 (100)	48 (96)	> 0,99
ženski	2 (6)	0	0 (0)	2 (4)	
razina obrazovanja					
osnovna škola	8 (27)	4 / 11	4 (50)	16 (32)	0,81
srednja škola	19 (61)	7 / 11	3 (38)	29 (58)	
preddiplomski studij	2 (6)	0	1 (13)	3 (6)	
diplomski studij	1 (3)	0	0	1 (2)	
poslijediplomski studij	1 (3)	0	0	1 (2)	
radni status					
zaposlen/a na puno radno vrijeme	2 (6)	0	0	2 (4)	>0,99
nezaposlen/a	2 (6)	1 / 11	0	3 (6)	
umirovljenik/ca	27 (88)	10 / 11	8 (100)	45 (90)	
bračni status					
neoženjen/a	4 (13)	0	2 (25)	6 (12)	0,34
oženjen/a	22 (71)	9 / 11	5 (63)	36 (72)	
rastavljen/a	2 (6)	1 / 11	1 (13)	4 (8)	
udovac/udovica	3 (10)	1 / 11	0	4 (8)	
pušenje					
ne pušim	2 (6)	1 / 11	0	3 (6)	0,41
pušim	1 (3)	1 / 11	0	2 (4)	
bivši pušač	28 (91)	9 / 11	8 (100)	45 (90)	

*Fisheorev egzaktini test; †Kruskal Wallisov test

Najučestalije je mjesto tumora kod 27 (55 %) ispitanika transglotično (širenje tumora kroz više regija grkljana), a u 20 (41 %) slučajeva ograničeno na glotis (glasnice). Od datuma operacije je prošlo više od 12 mjeseci kod 38 (76 %) ispitanika. Radioterapiju poslije operacije imao je 31 (62 %) ispitanik, na kemoterapiji ih je bilo 18 (36 %). Logopedsku podršku imao je 31 ispitanik (62 %), u smislu pružanja oslonca i provođenja rehabilitacije govora uz stručnjaka. Promatranjem kliničkih obilježja i naučenog načina komunikacije laringektomiranih ispitanika značajna razlika nije pronađena (Tablica 5.2.).

Tablica 5.2. Raspodjela kliničkih obilježja ispitanika uključenih u istraživanje

	traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze (n = 31)	ezofagealni glas (n = 11)	elektrolarinks (n = 8)	ukupno (n = 50)	P*
mjesto tumora					
glotis	14 (47)	3 / 11	3 / 8	20 (41)	0,79
supraglotis	1 (3)	0	0	1 (2)	
subglotis	1 (3)	0	0	1 (2)	
transglotično	14 (47)	8 / 11	5 / 8	27 (55)	
datum operacije					
12 – 24 mjeseca	7 (23)	4 / 11	1 / 8	12 (24)	0,57
više od 24 mjeseca	24 (77)	7 / 11	7 / 8	38 (76)	
radioterapija					
bez radioterapije	11 (36)	4 / 11	3 / 8	18 (36)	>0,99
prije operacije	1 (3)	0	0	1 (2)	
poslije operacije	19 (61)	7 / 11	5 / 8	31 (62)	
kemoterapija	11 (36)	5 / 11	2 / 8	18 (36)	0,71
logopedska podrška	17 (55)	7 / 11	7 / 8	31 (62)	0,35

*Fisherov egzaktni test

5.1.2. Psihometrijska svojstva upitnika – unutarnja valjanost, pouzdanost i primjerenost

Rezultati pouzdanosti test – ponovni test (eng. *test/re-test*) procijenjeni su Pearsonovim testom korelacije i unutarnjim koeficijentom korelacije (engl. *intraclass correlation coefficient, ICC*) za svaku podskalu SECEL:HR upitnika kao i za ukupni rezultat. Pronađene su jake vrijednosti korelacije (ICC veći od 0,80) za sve podskale osim za opću. Koeficijent unutarnje pouzdanosti Cronbach alpha (*Cronbach α*) iznosi preko 0,80 za tri domene što se smatra zadovoljavajućim rezultatom unutarnje pouzdanosti, dok za opću podskalu iznosi 0,41 što se smatra nešto lošijim vrijednostima (Tablica 5.3.).

Tablica 5.3. Mjere sredine i raspršenja, te koeficijenti unutarnje pouzdanosti upitnika SECEL:HR

	SECEL:HR opća podskala	SECEL:HR podskala okoline	SECEL:HR podskala stavova	SECEL:HR ukupno
test (SD)	4,21 (2,4)	14,85 (7,4)	7,49 (7,0)	26,51 (14,1)
range	(0 -11)	(0 – 33)	(0 – 36)	(3 – 73)
Re-test (SD)	4,69 (2,7)	16,33 (8,4)	9,38 (8,8)	30,10 (17,5)
range	(0 - 10)	(0 – 37)	(0 – 48)	(4 – 95)
r (P value)	0,609 (< 0,001)	0,815 (< 0,001)	0,664 (< 0,001)	0,805 (< 0,001)
ICC	0,282	0,842	0,894	0,888
95 % CI	- 0,089 – 0,554	0,691 – 0,865	0,846 – 0,933	0,838 – 0,928
koeficijent Cronbah α	0,409	0,841	0,895	0,892

SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba; SD: standardna devijacija; r: Pearsonov test korelacije; ICC: unutarnji koeficijent korelacije između test i re-test; 95 % CI – 95 % raspon pouzdanosti

Vrijednosti mjere sredine i standardne devijacije za MVF i oralnu DDK prikazane su u tablici 5.4.. Unutarnja pouzdanost upitnika SF-36, koeficijent Cronbach Alpha iznosi 0,858, a upitnika vokalnih teškoća (VHI) 0,909, što ukazuje da su oba upitnika dobri alati za procjenu kvalitete života i vokalnih teškoća ovog uzorka ispitanika. Na podskali upitnika SF-36 rezultati su se kretali između 56,00 (standardne devijacije, SD 22,3) za podskalu promjene zdravlja do 78,38 (SD 20,6) za ljestvicu socijalnog funkcioniranja (Tablica 5.4).

Tablica 5.4. Mjere sredine i raspršenosti upitnika SF-36 i VHI upitnika, aerodinamičkog testa i testa oralne dijahohokineze

	aritmetička sredina	standardna devijacija	raspon
SF-PF	75.50	16.2	35 - 100
SF-RP	60.00	41.3	0 - 100
SF-BP	77.20	26.1	10 - 100
SF-GH	62.60	15.8	30 - 100
SF-VT	68.20	18.2	35 - 100
SF-SF	78.38	20.6	38 - 100
SF-RE	78.02	37.9	0 - 100
SF-MH	72.88	19.6	36 - 100
SF- HC	56.00	22.3	25 - 100
MVF	8.55	4.2	2 - 19
DDK	8.94	2.0	6 - 14
VHI E	7.50	7.6	0 - 27
VHI F	15.84	7.6	0 - 34
VHI P	12.70	8.7	0 - 32
VHI TOT	35.86	19.9	1 - 84

SF-36: Upitnik zdravstvenog statusa; Tjelesno funkcioniranje (engl. *physical functioning scale, SF-PF*); Ograničenja zbog tjelesnih problema (engl. *role physical scale, SF-RP*); Tjelesni bolovi (engl. *bodily pain scale, SF-BP*); Percepcija općeg zdravlja (engl. *general health scale, SF-GH*); Vitalnost (engl. *vitality scale, SF-VT*); Socijalno funkcioniranje (engl. *social functioning scale, SF-SF*); Emocionalne poteškoće (engl. *role emotional scale, SF-RE*); Psihičko zdravlje (engl. *mental health scale, SF-MH*); Promjena zdravlja (engl. *Change in Health, SF-HC*); MVF: maksimalno vrijeme fonacije; DDK: oralna dijahohokineza; VHI: Indeks vokalnih teškoća; Emocionalna podskala (engl. *emotional subscale, VHI E*); Funkcionalna podskala (engl. *functional subscale, VHI F*); Fizička podskala (engl. *physical subscale VHI P*); Ukupni rezultat (engl. *VHI total score, VHI TOT*). Viši rezultati odražavaju bolje funkcioniranje na upitniku SF-36 i lošije funkcioniranje na upitniku VHI.

Ukupni rezultat SECEL:HR upitnika, SECEL:HR podskale okoline i stavova u negativnoj su vezi s većinom podskala upitnika SF-36. Pronađene su jake povezanosti između ukupnog rezultata VHI upitnika i podskala okoline i stavova upitnika SECEL:HR te ukupnog rezultata SECEL:HR upitnika. Nasuprot tomu, opća podskala upitnika SECEL:HR samo je umjereno povezana s ukupnim rezultatom VHI upitnika i s većinom podskala SF-36 upitnika. U tablicama podebljano označava statističku značajnost (Tablica 5.5., Tablica 5.6.).

Tablica 5.5. Povezanost između SECEL:HR upitnika i SF-36 upitnika

	SECEL:HR opća podskala	SECEL:HR podskala okoline	SECEL:HR podskala stavova	SECEL:HR ukupno
SF-PF	- 0.154 (0.28)	- 0.149 (0.30)	- 0.059 (0.68)	- 0.143 (0.32)
SF-RP	- 0.379 (0.01)	- 0.309 (0.03)	- 0.444 (<0.001)	- 0.45 (<0.001)
SF-BP	- 0.352 (0.01)	- 0.385 (0.01)	- 0.508 (<0.001)	- 0.501 (<0.001)
SF-GH	- 0.581 (<0.001)	- 0.4 (<0.001)	- 0.401 (<0.001)	- 0.51 (<0.001)
SF-VT	- 0.506 (<0.001)	- 0.472 (<0.001)	- 0.483 (<0.001)	- 0.569 (<0.001)
SF-SF	- 0.412 (<0.001)	- 0.313 (0.03)	- 0.5 (<0.001)	- 0.488 (<0.001)
SF-RE	- 0.426 (<0.001)	- 0.055 (0.70)	- 0.191 (0.18)	- 0.201 (0.16)
SF-MH	- 0.531 (<0.001)	- 0.379 (0.01)	- 0.524 (<0.001)	- 0.559 (<0.001)
SF- HC	- 0.351 (0.01)	- 0.253 (0.08)	- 0.335 (0.02)	- 0.336 (0.02)

Pearsonov test korelacije r; SF-36: Upitnik zdravstvenog statusa; Tjelesno funkcioniranje (engl. *physical functioning scale*, SF-PF); Ograničenja zbog tjelesnih problema (engl. *role physical scale*, SF-RP); Tjelesni bolovi (engl. *bodily pain scale*, SF-BP); Percepcija općeg zdravlja (engl. *general health scale*, SF-GH); Vitalnost (engl. *vitality scale*, SF-VT); Socijalno funkcioniranje (engl. *social functioning scale*, SF-SF); Emocionalne poteškoće (engl. *role emotional scale*, SF-RE); Psihičko zdravlje (engl. *mental health scale*, SF-MH); Promjena zdravlja (engl. *Change in Health*, SF-HC); SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba. Podebljano označava statističku značajnost.

Tablica 5.6. Povezanost između SECEL:HR upitnika i VHI upitnika

	SECEL:HR opća podskala	SECEL:HR podskala okoline	SECEL:HR podskala stavova	SECEL:HR ukupno
VHI E	0.523 (<0.001)	0.366 (0.01)	0.465 (<0.001)	0.517 (<0.001)
VHI F	0.475 (<0.001)	0.678 (<0.001)	0.585 (<0.001)	0.718 (<0.001)
VHI P	0.549 (<0.001)	0.539 (<0.001)	0.578 (<0.001)	0.659 (<0.001)
VHI TOT	0.631 (<0.001)	0.64 (<0.001)	0.643 (<0.001)	0.759 (<0.001)

Pearsonov test korelacije r; VHI: Indeks vokalnih teškoća; Emocionalna podskala (engl. *emotional subscale*, VHI E); Funkcionalna podskala (engl. *functional subscale*, VHI F); Fizička podskala (engl. *physical subscale*, VHI P); Ukupni rezultat (engl. *VHI total score*, VHI TOT); SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba. Podebljano označava statističku značajnost.

Ne uočava se značajna povezanost između SECEL:HR upitnika, aerodinamičkog testa i testa oralne dijahokineze (Tablica 5.7.).

Tablica 5.7. Povezanost između SECEL:HR upitnika, aerodinamičkog testa i testa oralne dijahokineze

	SECEL:HR opća podskala	SECEL:HR podskala okoline	SECEL:HR podskala stavova	SECEL:HR ukupno
MVF	0.180 (0.21)	- 0.147 (0.31)	0.078 (0.59)	0.011 (0.94)
DDK	- 0.189 (0.19)	- 0.267 (0.06)	- 0.251 (0.08)	- 0.295 (0.04)

Pearsonov test korelacije r; MVF: maksimalno vrijeme fonacije; DDK: oralna dijahokineza; SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba. Podebljano označava statističku značajnost.

5.1.3. Kvaliteta života bolesnika nakon učinjene totalne laringektomije preliminarnog dijela istraživanja

Prema podjeli na naučeni zamjenski govor većina uključenih sudionika (n = 50) su traheoezofagealni govornici pomoću govorne proteze (n = 31), zatim ezofagealni govornici (n = 11). Među ispitanicima najmanje je bilo govornika koji za komunikaciju koriste mehaničko digitalno pomagalo – elektrolarinks (n = 8). Prema ukupnim vrijednostima SECEL:HR upitnika 49 (98 %) hrvatskih laringektomiranih ispitanika dobro je prilagođeno na novi način komunikacije. Prema čestici SECEL:HR upitnika: „Govorite li sada jednako koliko i prije laringektomije?“ 33 (66 %) hrvatskih laringektomiranih bolesnika izjavilo je da manje govore nakon laringektomije (Tablica 5.8.).

Tablica 5.8. Ukupni rezultat samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba

	traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze (n = 31)	ezofagealni glas (n = 11)	elektrolarinks (n = 8)	ukupno	P*
SECEL:HR ukupni rezultat					
dobra prilagodba	31 (100)	11 (100)	7/8	49 (98)	0,16
loša prilagodba	0	0	1/8	1 (2)	
Govorite li sada jednako koliko i prije laringektomije?					
manje	18 (58)	8 (73)	6/8	32 (64)	0,53
jednako	13 (42)	3 (27)	2/8	18 (36)	
Govorite li sada jednako koliko i prije laringektomije? Re – test					
manje	18 (58)	8 (73)	7/8	33 (66)	0,58
jednako	12 (39)	3 (27)	1/8	16 (32)	
više	1 (3)	0	0	1 (2)	

SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba; *Fisher's Exact test

U rezultatima, viši rezultati odražavaju bolje funkcioniranje na ljestvici SF-36 i lošije funkcioniranje na ljestvici VHI. Nisu uočene značajne razlike između ezofagealnog glasa, traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze te glasa pomoću elektrolarinksa i upitnika SECEL:HR, SF-36 i VHI upitnika. Utvrđene su statistički značajne razlike između svih novih naučenih načina komunikacije i MVF (Kruskal Wallisov test, $P < 0,001$) i oralne DDK (Kruskal Wallisov test, $P = 0,03$) (Tablica 5.9.).

Tablica 5.9. Razlike u mjerama sredine i raspršenja upitnika SECEL:HR, SF-36, MVF, DDK i upitnika VHI kod ispitanika s učinjenom totalnom laringektomijom s traheoezofagealnim glasom pomoću govorne proteze, ezofagealnim glasom i glasom pomoću elektrolarinksa.

	medijan (interkvartilni raspon)			
	traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze (n = 31)	ezofagealni glas (n = 11)	elektrolarinksa (n = 8)	P*
SF-PF	75 (65 – 90)	80 (70 – 90)	82,5 (67,5 – 85)	0,94
SF-RP	75 (25 – 100)	100 (50 – 100)	12,5 (0 – 68,75)	0,08
SF-BP	100 (65 – 100)	80 (55 – 100)	68 (50,75 – 100)	0,73
SF-GH	65 (50 – 75)	65 (55 – 70)	52,5 (41,25 – 80)	0,50
SF-VT	70 (50 – 85)	65 (60 – 85)	60 (51,25 – 88,75)	0,74
SF-SF	75 (50 – 100)	100 (75 – 100)	88 (53,25 – 100)	0,30
SF-RE	100 (33 – 100)	100 (100 – 100)	83,5 (67 – 100)	0,47
SF-MH	72 (56 – 88)	88 (60 – 96)	66 (42,9 – 85)	0,39
SF-HC	50 (50 – 75)	50 (25 – 50)	50 (50 – 93,75)	0,47
MVF	9 (6,5 – 11)	4 (3,5 – 5)	11,5 (9,38 – 15,13)	<0,001[†]
DDK	9 (8 – 10)	7 (6 – 9)	8 (6,5 – 11,5)	0,03[‡]
VHI E	6 (2 – 13)	2 (1 – 9)	8 (2,25 – 12,75)	0,34
VHI F	15 (9 – 20)	19 (12 – 22)	14 (11,5 – 28)	0,40
VHI P	10 (5 – 20)	12 (5 – 13)	20 (4,5 – 28)	0,46
VHI ukupno	31 (16 – 51)	33 (25 – 41)	40,5 (19,25 – 70,75)	0,71
SECEL:HR opća podskala	4 (3 – 7)	4 (2 – 5)	6,5 (1 – 7,75)	0,48
SECEL:HR podskala okoline	14 (10 – 20)	21 (17 – 25)	23 (7,75 – 28,5)	0,05
SECEL:HR podskala stavova	9 (3 – 12)	6 (3 – 8)	12,5 (1,752 – 0)	0,55
SECEL:HR ukupno	31 (16 – 39)	35 (21 – 37)	42,5 (13 – 53)	0,48

SF-36: Upitnik zdravstvenog statusa; Tjelesno funkcioniranje (engl. *physical functioning scale*, SF-PF); Ograničenja zbog tjelesnih problema (engl. *role physical scale*, SF-RP); Tjelesni bolovi (engl. *bodily pain scale*, SF-BP); Percepcija općeg zdravlja (engl. *general health scale*, SF-GH); Vitalnost (engl. *vitality scale*, SF-VT); Socijalno funkcioniranje (engl. *social functioning scale*, SF-SF); Emocionalne poteškoće (engl. *role emotional scale*, SF-RE); Psihičko zdravlje (engl. *mental health scale*, SF-MH); Promjena zdravlja (engl. *Change in Health*, SF-HC); MVF: maksimalno vrijeme fonacije; DDK: oralna dijahodokineza; VHI: Indeks vokalnih teškoća; Emocionalna podskala (engl. *emotional subscale*, VHI E); Funkcionalna podskala (engl. *functional subscale*, VHI F); Fizička podskala (engl. *physical subscale*, VHI P); Ukupni rezultat (engl. *VHI total score*, VHI TOT) SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba; Podebljano označava statističku značajnost; *Kruskal Wallis test (post hoc Conover); [†]na razini $P < 0,05$ značajna je razlika između svih skupina; [‡] na razini $P < 0,05$ značajna je razlika između skupina u traheoezofagealnom glasu pomoću govorne proteze i ezofagealnom glasu

5.2. Analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba

5.2.1. Demografski i klinički podatci ispitanika u glavnom dijelu istraživanja

U glavnom dijelu istraživanja, obuhvaćeno je 55 ispitanika oba spola s predominacijom muškog spola 47 (86 %), u odnosu na 8 ispitanika (14 %) ženskog spola. Kod svih ispitanika učinjena je totalna laringektomija te je provedeno onkološko liječenje 6 mjeseci prije uključivanja u istraživanje. Medijan dobi ispitanika je 67 godina (interkvartilnog raspona od 62 do 71 godinu) u rasponu od 51 do 88 godina. Srednju stručnu spremu ima 40 (73 %) ispitanika, a s obzirom na radni status umirovljenika je 42 (76 %), a zaposleno je, na puno ili na pola radnog vremena, 8 (15 %) ispitanika. U braku je 37 (69 %) ispitanika, a 6 (11 %) ih je neoženjeno (Tablica 5.10.).

Tablica 5.10. Raspodjela općih obilježja ispitanika glavnog istraživanja

	broj (%) ispitanika
spol	
muškarci	47 (86)
žene	8 (14)
razina obrazovanja	
osnovna škola	10 (18)
srednja stručna sprema	40 (73)
preddiplomski studij	1 (2)
diplomski studij	4 (7)
radni status	
zaposlen na pola radnog vremena	1 (2)
zaposlen na puno radno vrijeme	7 (13)
nezaposlen	4 (7)
umirovljenik	42 (76)
volonter	1 (2)
bračni status	
neoženjen	6 (11)
oženjen	37 (69)
rastavljen	5 (9)
udovac	5 (9)
oženjen, ali ne živi sa suprugom	1 (2)

Prije operacije pušača je 47 (85 %), nažalost dva ispitanika od njih 55 uključenih u istraživanje nastavilo je pušiti i nakon operacije. Najveći postotak ispitanika konzumiralo je duhanske proizvode duže od 40 godina u prosjeku po 20 cigareta/dan (Tablica 5.11.).

Tablica 5.11. Raspodjela ispitanika ovisno o konzumiranju duhanskih proizvoda

	broj (%)
	ispitanika
pušenje	
ne pušim	6 (11)
pušim	2 (4)
bivši pušač	47 (85)
godine pušenja	
do 10 godina	7 (2)
10 – 20 godina	7 (14)
20 – 30 godina	16 (33)
30 – 40 godina	8 (16)
više od 40 godina	17 (35)

Ako ispitanike promatramo kroz prisustvo kroničnih bolesti u najvećem postotku ističu se gastroenterološke bolesti (26 ispitanika, odnosno 47 %), endokrinološke bolesti (26 ispitanika, 47 %) od kojih na hipotireozu otpada 19/23 ispitanika. Od kronične plućne bolesti boluje 5 ispitanika (9 %), a od toga na KOPB otpada 3/5 ispitanika (Tablica 5.12.).

Tablica 5.12. Pridruženost kroničnih bolesti u ispitivanoj skupini

komorbiditeti	broj / ukupno (%)
	ispitanika
bolesti pluća	5 (9)
Koje bolesti pluća (n = 5)?	
astma	1 / 5
preboljen TBC pluća	1 / 5
KOPB	3 / 5
gastroenterološke bolesti	26 (47)
Koje gastroenterološke bolesti (n = 24)?	
gastritis	23 / 24
gastritis + benigni tumor gušterače	1 / 24
endokrinološke bolesti	26 (47)
Koje endokrinološke bolesti (n = 23)?	
hipotireoza	19 / 23
šećerna bolest	4 / 23

Od ukupnog broja ispitanika njih 20 (36 %) prijavilo je oštećenje sluha i u toj skupini samo jedan ispitanik ne nosi slušno pomagalo. Lijekove uzima 46 (84 %) ispitanika, najučestalije antihipertenzive, njih 29 (53 %) te u 23 (42 %) slučaja inhibitore protonske pumpe, a po 15 (27 %) uzima analgetike ili sintetske hormone štitnjače (Tablica 5.13.).

Tablica 5.13. Raspodjela ispitanika ovisno o lijekovima koje redovito uzimaju

lijekovi	broj (%)
uzima lijekove	ispitanika
	46 (84)
antihipertenzivi	29 (53)
analgetici	15 (27)
antidijabetici	5 (9)
inhibitori protonske pumpe	23 (42)
inhalacijski kortikosteroidi	4 (7)
sintetski hormon štitnjače	15 (27)

Prema patohistološkoj dijagnozi totalna laringektomija je u 53 (96 %) ispitanika učinjena zbog planocelularnog karcinoma grkljana, a samo kod dva ispitanika (4 %) radilo se o hondrosarkomu grkljana koji ne podliježe TNM klasifikaciji. Najčešće se radilo o T3 karcinomima (22 ispitanika, odnosno 42 %), a status limfnih čvorova na vratu najčešće je bio N0 (34 ispitanika, odnosno 64 %), a najmanje N1b i N3b (svaka skupina jedan ispitanik odnosno 2 %). Niti jedan ispitanik od njih 53 koji podliježu TNM klasifikaciji nije imao udaljene metastaze (Tablica 5.14.).

Tablica 5.14. Raspodjela ispitanika prema TNM klasifikaciji tumora grkljana

TNM	broj (%) ispitanika (n = 53)
T	
2	15 (28)
3	22 (42)
4	6 (11)
4a	10 (19)
N	
0	34 (64)
1	3 (6)
1b	1 (2)
2	6 (11)
2b	3 (6)
2c	2 (4)
3	3 (6)
3b	1 (2)
M	
0	53 (100)

TNM: klasifikacija proširenosti tumora (stupanj tumora, engl. *Tumor*; *T*; stupanj limfnih čvorova na vratu, engl. *Lymph node metastasis* *N*; stupanj udaljenih metastaza, engl. *Distant metastasis*, *M*).

Medijan broja mjeseci proteklih od operacije je 28 (interkvartilnog raspona od 16 do 63) u rasponu od 10 do 246 mjeseci (20,5 godina). Od ukupnog broja ispitanika totalna laringektomija učinjena je kod 42 ispitanika (76 %), a u sklopu operacije primarne bolesti u najvećem postotku je učinjena obostrana selektivna disekcija vrata u 17 (31%) ispitanika. Miotomija učinjena je kod 41 (75%) ispitanika u odnosu na ukupan broj (Tablica 5.15.).

Tablica 5.15. Raspodjela ispitanika prema učinjenom operativnom zahvatu i opsegu kirurškog zahvata na vratu

kirurški zahvat	broj (%) ispitanika
totalna laringektomija	42 (76)
totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija – primarna rekonstrukcija	10 (18)
totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija – rekonstrukcija pomoću režanja	3 (6)
bez disekcije vrata	7 (13)
jednostrana selektivna disekcija vrata	16 (29)
jednostrana radikalna disekcija vrata	4 (7)
obostrana selektivna disekcija vrata	17 (31)
radikalna + selektivna disekcija vrata	7 (13)
radikalna + modificirana rad. disekcija	4 (7)
miotomija mišića	41 (75)

Postoperativne komplikacije ima 20 (37 %) ispitanika, od kojih 5/20 ima i rane i kasne postoperativne komplikacije. U skupini ranih komplikacija najčešće su opisane infekcije rane 5/9, a od kasnih komplikacija najčešće se spominje hipotireoidizam 15/20 ispitanika (Tablica 5.16.).

Tablica 5.16. Raspodjela ispitanika prema postoperacijskim komplikacijama

	broj (%) ispitanika
postoperativne komplikacije	20 (37)
rane postoperativne komplikacije	
infekcija rane	5 / 20
subkutani emfizem	1 / 20
dehiscijencija rane	2 / 20
faringokutana fistula	3 / 20
kasne postoperativne komplikacije	
stenoza neofarinksa	2 / 20
hipotireoidizam	15 / 20

Radioterapija provedena je u 33 (60 %) ispitanika u odnosu na ukupan broj, a kemoterapiju je primilo 10 (18 %) ispitanika (Tablica 5.17).

Tablica 5.17. Raspodjela ispitanika prema provedenoj radioterapiji i kemoterapiji

liječenje radioterapijom [n (%)]	
radioterapija prije operacije	3 (6)
radioterapija nakon operacije	30 (54)
završeno liječenje radioterapijom (mjeseci)	28 (16 – 58)
[medijan (interkvartilni raspon)]	
kemoterapija [n (%)]	10 (18)
završena kemoterapija (mjeseci)	17 (13 – 60)
[medijan (interkvartilni raspon)]	

Svi uključeni ispitanici postoperativno su proveli govornu rehabilitaciju traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze s ciljem uspostavljanja zamjenskog glasa i govora. U 35 (64 %) ispitanika govorna proteza ugrađena je primarno za vrijeme kirurškog zahvata, a komplikacije (curenje sekreta kroz govornu protezu, oko govorne proteze, atrofija traheoezofagealnog zida) su bile prisutne kod 11 (20 %) ispitanika (Tablica 5.18.).

Tablica 5.18. Raspodjela prema vremenu postavljanja govorne proteze i vrstama komplikacija

postavljena govorna proteza [n (%)]	
primarno	35 (64)
sekundarno	20 (36)
zadnja promjena govorne proteze [medijan (interkvartilni raspon)]	2 (1 – 6) min 0 max 11
komplikacije govorne proteze	11 (20)
vrste komplikacija	
curenje kroz govornu protezu	6/11
curenje oko govorne proteze	4/11
atrofija traheoezofagealnog zida	1/11

5.2.2. Procjena kvalitete zamjenskog glasa i govora – subjektivno logopedskom procjenom i SECEL:HR upitnikom

Logopedska podrška odnosi se na prijeoperacijsko i postoperacijsko savjetovanje laringektomiranih osoba vezano uz poticanje svladavanja glasnog zamjenskog glasa i govora.

U glavnom dijelu istraživanja sudjelovali su ispitanici ($n = 55$) koji su postigli traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze. Provedeno prijeoperativno savjetovanje o mogućnostima rehabilitacije glasa nakon kirurškog zahvata i odstranjenja grkljana provedeno je kod 30 (55 %) ispitanika, dok je logopedsku podršku i učenje novog zamjenskog glasa nakon odstranjenja grkljana imalo 53 (96 %) ispitanika. Prosječna duljina trajanja rada s logopedom na uspostavljanju traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze trajao je 11 mjeseci. Da su članovi jednog od postojećih klubova laringektomiranih osoba u Hrvatskoj koji pružaju podršku i omogućavaju lakšu socijalizaciju u društvo navodi 35 (64 %) ispitanika (Tablica 5.19.).

Tablica 5.19. Raspodjela ispitanika prema logopedskom savjetovanju i rehabilitaciji

provedeno preoperativno savjetovanje o rehabilitaciji glasa [n (%)]	30 (55)
vrijeme provođenja logopedske terapije (mjeseci)	11 (5 – 12)
član kluba laringektomiranih osoba [n (%)]	35 (64)

Glasovni profil zamjenskog glasa bodovan je od strane logopeda prilikom razgovora s ispitanicima pomoću vizualno-analogne skale (VAS) u rasponu od 0 do 10 gdje niže ocjene upućuju na lošiju kvalitetu zamjenskog glasa (0 – najmanja razina, 10 – najveća razina). Medijan skale cjelokupne kvalitete zamjenskim glasom je 8 (interkvartilnoga raspona od 8 do 9) (Tablica 5.20.).

Tablica 5.20. Medijan i raspon logopedске ocjene zamjenskog glasa prema VAS skali

tečnost (fluentnost) govora (0 = iregularan; 10 = tečan) [medijan (interkvartilni raspon)]	8 (7 – 9)
grgljavost u glasu (0 = mnoštvo nekontroliranih dodatnih zvukova; 10 = uredan) [medijan (interkvartilni raspon)]	7 (6 – 8)
cjelokupna kvaliteta zamjenskim glasom (0 = nezadovoljavajući zamjenski govor; 10 = odličan zamjenski govor) [medijan (interkvartilni raspon)]	8 (8 – 9)

VAS: vizualno-analognа skala

Nema značajne povezanosti duljine provođenja glasovne logopedске rehabilitacije prema spolu, kirurškom zahvatu, učinjene miotomije mišića, provedenoj radioterapiji i kemoterapiji (Tablica 5.21.).

Tablica 5.21. Povezanost duljine provođenja logopedске terapije traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze prema spolu, kirurškom zahvatu, miotomiji mišića, provedenoj radioterapiji i kemoterapiji

	medijan (interkvartilni raspon) vrijeme provođenja logopedске terapije (mjeseci)	P
spol		
muškarci	11 (6 – 12)	0,77*
žene	10 (4 – 12)	
vrsta operacije		
totalna laringektomija	10 (5 – 12)	0,38†
totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija - primarno	12 (10 – 12)	
totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija - režanj	4 (4 – 12)	
miotomija mišića		
ne	12 (4 – 12)	0,51*
da	10 (6 – 12)	
opseg kirurškog zahvata na vratu		
bez disekcije vrata	12 (4 – 21)	0,63*
disekcija vrata	11 (6 – 12)	
radioterapija		
ne	11 (6 – 12)	0,73*
da	11 (4 – 12)	
kemoterapija		
ne	11 (6 – 12)	0,39*
da	10 (4 – 12)	

*Mann Whitney U test; †Kruskal Wallisov test

Dob ispitanika i vrijeme u mjesecima koje je proteklo od učinjene operacije nema značajne povezanosti s duljinom rada logopeda vezano uz poticanje svladavanja zamjenskog glasa i govora (Tablica 5.22.).

Tablica 5.22. Povezanost dobi ispitanika i vremena proteklog od učinjene operacije s duljinom provođenja logopedске terapije

	Spearmanov koeficijent korelacije (P vrijednost) vrijeme provođenja logopedске terapije (mjeseci)
dob (godine)	0,179 (0,20)
vrijeme proteklo od operacije (mjeseci)	0,114 (0,42)

Prema fluentnosti zamjenskog glasa bodovane VAS skalom u rasponu od 0 do 10 gdje niže ocjene upućuju na slabiju tečnost zamjenskog glasa, nije pronađena značajna razlika u odnosu na spol, vrstu operacije, učinjenu miotomiju mišića, opsegu kirurškog zahvata na vratu, provedenoj radioterapiji i kemoterapiji. Lošija kvaliteta zamjenskim govorom (niži broj VAS skale) bodovanih od strane logopeda pronađena je kod ispitanika sa učinjenom totalnom laringektomijom i parcijalnom faringeotomijom u odnosu na ostale učinjene operativne zahvate, ali vrijednosti nisu statistički značajne. Značajna razlika pronađena je kod mjerenja grgljavosti u glasu ili opisu zamjenskog glasa prema pojavi nekontroliranih dodatnih zvukova prilikom govora (0 = mnoštvo dodatnih zvukova, 10 = bez nekontroliranih zvukova) u odnosu na učinjenu miotomiju mišića. Manje nekontroliranih zvukova pronađeno je u skupini ispitanika kojima nije učinjena miotomija (Mann Whitney U test, $P = 0,03$) (Tablica 5.23.).

Tablica 5.23. Povezanost logopedske procjene kvalitete traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze prema spolu, kirurškom zahvatu, miotomiji mišića, provedenoj radioterapiji i kemoterapiji

	subjektivna procjena po logopedu					
	tečnost (fluentnost) govora		grgljavost u glasu		cjelokupna kvaliteta zamjenskim glasom	
	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$
spol						
muškarci	8 (7 – 9)	0,32*	7 (6 – 8)	0,23*	8 (8 – 9)	0,75*
žene	8 (7 – 8)		8 (7 – 8)		8 (7 – 9)	
vrsta operacije						
totalna laringektomija	8 (7 – 9)	0,86	8 (7 – 9)	0,07	8 (5 – 9)	0,30
totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija - primarno	8 (7 – 9)		8 (6,5 – 9)		6 (2 – 7)	
totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija - režanj	8 (5 – 9)		8 (7,8 – 9)		7 (6 – 9)	
miotomija krikofaringealnog mišića						
ne	9 (7 – 10)	0,14*	8 (7 – 9)	0,03*	9 (8 – 10)	0,25*
da	8 (7 – 8)		7 (6 – 8)		8 (8 – 9)	
opseg kirurškog zahvata na vratu						
bez disekcije vrata	8 (7 – 10)	0,25*	8 (7 – 9)	0,08*	8 (8 – 10)	0,27*
disekcija vrata	8 (7 – 9)		7 (6 – 8)		8 (8 – 9)	
radioterapija						
ne	8 (8 – 9)	0,74*	7 (7 – 8)	0,92*	8 (8 – 9)	0,79*
da	8 (7 – 9)		7 (6 – 8)		8 (7 – 9)	
kemoterapija						
ne	8 (7 – 9)	0,54*	7 (6,5 – 8)	0,58*	8 (7,5 – 9)	0,48*
da	8 (8 – 9)		7 (6 – 8)		8,5 (7,8 – 9)	

*Mann Whitney U test; [†]Kruskal Wallisov test

Nema značajne povezanosti u cjelokupnoj kvaliteti zamjenskog glasa, tečnosti govora i pojave nekontroliranih zvukova u zamjenskom glasu (grgljavosti) s dobi ispitanika. Postoji značajna povezanost grgljavosti u glasu i vremenu proteklom od operativnog zahvata (Spearmanov koeficijent korelacije $Rho = 0,269$), odnosno što je proteklo dulje vrijeme od operacije to je veća grgljavost u glasu u subjektivnoj procjeni logopeda (Tablica 5.24.).

Tablica 5.24. Povezanost logopedske procjene kvalitete traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze s dobi ispitanika i vremenu proteklom od učinjenog operativnog zahvata

	Spearmanov koeficijent korelacije Rho (P vrijednost) subjektivne procjene po logopedu		
	tečnost (fluentnost) govora	grgljavost u glasu	cjelokupna kvaliteta zamjenskim glasom
dob	-0,141 (0,31)	-0,113 (0,41)	-0,261 (0,05)
vrijeme proteklo od operacije	0,182 (0,18)	0,269 (0,04)	0,207 (0,13)

S obzirom na rezultate upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba (SECEL:HR), uočava se kako 54 (98 %) ispitanika spada u dobro prilagođene laringektomirane osobe, no da većinom ipak govore manje svojim zamjenskim glasom nego prije učinjene totalne laringektomije, što se uočava kod 37 (67 %) ispitanika (Tablica 5.25.).

Tablica 5.25. Ukupni rezultat upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava ispitanika

	broj (%) ispitanika
procjena SECEL:HR	
dobra prilagodba ($SECEL \leq 60$)	54 (98)
Samoprocjena govore li sada jednaku količinu vremena kao i prije laringektomije	
manje	37 (67)
jednako	15 (27)
više	3 (6)

SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba

Mjere sredine i raspršenja pojedine skale i ukupnog rezultata upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba (SECEL:HR) prikazane su u tablici 5.26..

Tablica 5.26. Mjere sredine i raspršenja pojedine skale i ukupnog rezultata upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba

	Mogući raspon	Medijan (interkvartilni raspon)	Ostvareni raspon
SECEL:HR ukupno	0 – 102	18 (11 – 34)	4 – 61
opća podskala	0 – 15	4 (2 – 6)	0 – 11
podskala okoline	0 – 42	11 (7 – 18)	1 – 32
podskala stavova	0 – 45	5 (2 – 9)	0 – 26

SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba

Postoji značajna, negativna povezanost cijelog upitnika, kao i pojedinih podskala (osim povezanosti opće podskale s tečnosti (fluentnosti) glasa i govora, sa subjektivnom ocjenom zamjenskog glasa prema procjeni logopeda. Ispitanici su opisali bolje zadovoljstvo svojim zamjenskim glasom što je manje popratnih zvukova (grgljavost) odnosno glas zvuči urednije (Tablica 5.27.).

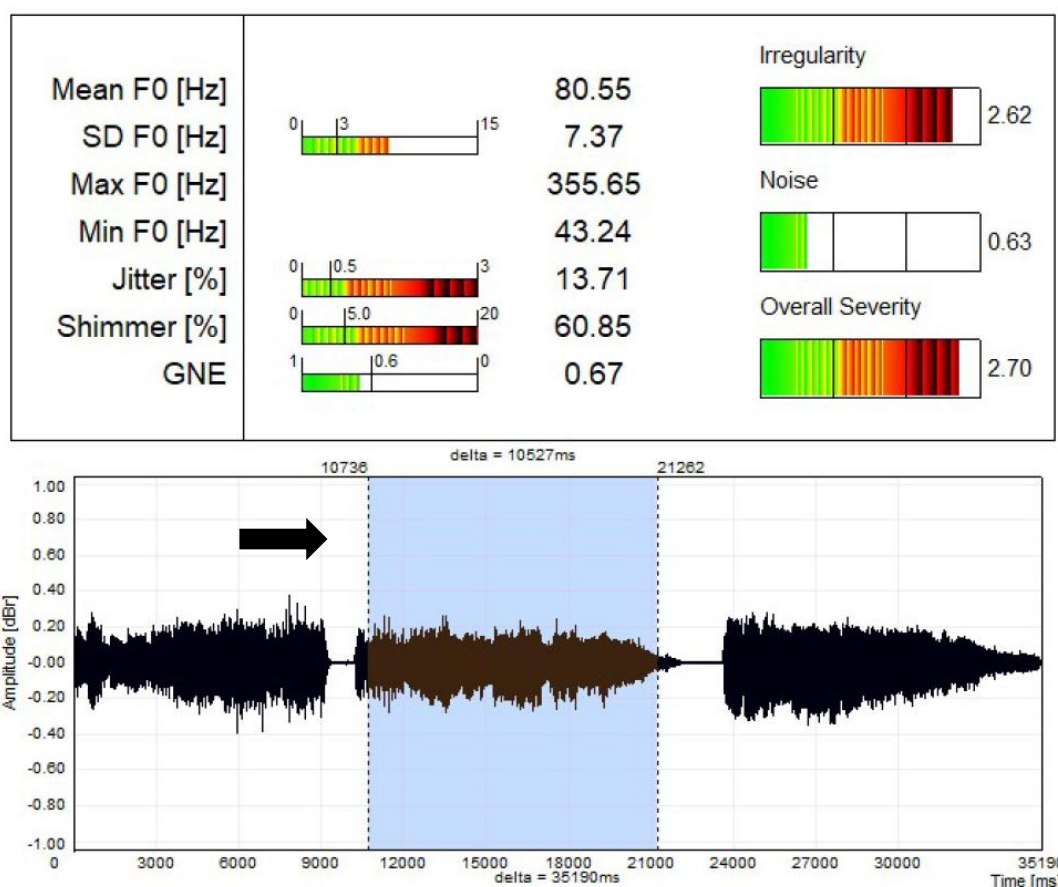
Tablica 5.27. Povezanost SECEL:HR upitnika sa subjektivnom ocjenom logopeda

	Spearmanov koeficijent korelacije Rho (P vrijednost)			
	SECEL ukupno	opća podskala	podskala okoline	podskala stavova
tečnost (fluentnost) govora (0 = iregularan; 10 = tečan)	- 0,420 (0,001)	- 0,217 (0,11)	- 0,458 (<0,001)	- 0,377 (0,005)
grgljavost u glasu (0 = mnoštvo nekontroliranih dodatnih zvukova; 10 = uredan)	- 0,560 (<0,001)	- 0,385 (0,004)	- 0,543 (<0,001)	- 0,494 (<0,001)
cjelokupna kvaliteta zamjenskim glasom (0 = nezadovoljavajući zamjenski govor; 10 = odličan zamjenski govor)	- 0,478 (<0,001)	- 0,318 (0,02)	- 0,487 (<0,001)	- 0,430 (0,001)

SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba

5.2.3. Analiza akustičkog zapisa traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze

Za objektivno mjerenje glasovne funkcije traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze koristio se akustični program lingWAVES (engl. *Voice and speech analyser*) (Slika 5.1.). Akustična analiza bila je moguća kod cjelokupnog uzorka ($n = 55$). Medijan F0 u ispitivanoj skupini iznosio je 100,7 Hz, u rasponu od 72,3 Hz do najviše 201,4 Hz. Analiza uzorka pokazuje široki raspon između minimalne i maksimalne frekvencije fonacije, a isto je vidljivo i kod ostalih ispitivanih akustičkih parametara (Tablica 5.28.).



Slika 5.1. Primjer akustičkog zapisa laringektomirane osobe učinjene pomoću akustičnog programa lingWAVES.

Na slici je prikazan jedan primjer akustičkog zapisa laringektomirane osobe. Iz središnjeg dijela najbolje učinjenog snimka (na slici označeno strelicom), bilježili su se sljedeći parametri: osnovna (fundamentalna) frekvencija (*mean F0*) (Hz), *jitter* (%), *shimmer* (%). Za vrijednosti parametra MVF (maksimalno vrijeme fonacije) (ms) uzimala se vrijednost najdužeg mogućeg opuštenog foniranja glasa „a“. Također su se bilježili parametri nepravilnost glasa (engl. *Irregularity*), šumnost glasa (engl. *Noise*).
Izvor: autor

Tablica 5.28. Mjere sredine i raspršenja akustičkih parametara traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze

akustička analiza glasa	medijan (interkvartilni raspon)	raspon minimum – maksimum
frekvencija fonacije / F0 (Hz)	100,7 (88,8 – 137,5)	72,3 – 201,4
glasnoća fonacije (dB)	73 (70 – 78)	60 – 97
maksimalno vrijeme fonacije (MVF) (ms)	7745 (4086 – 12078)	1039 – 34494
<i>jitter</i> (%)	13,2 (10,9 – 15,4)	1,08 – 18,3
<i>shimmer</i> (%)	43,9 (32,5 – 50,4)	18,9 – 134,4

Značajna razlika nije pronađena u vrijednostima F0 fonacije ispitanika prema spolu, vrsti operacije, miotomiji mišića, opsega kirurškog zahvata na vratu, učinjene radioterapije i kemoterapije (Tablica 5.29.).

Tablica 5.29. Povezanost frekvencije fonacije sa spolom, vrstom kirurškog zahvata i disekcijom vrata, radioterapijom i kemoterapijom

	akustička analiza glasa	
	frekvencija fonacije	
	medijan (IQR)	<i>P</i> [†]
spol		
muškarci	101 (89 – 137)	0,86*
žene	98,7 (87,8 – 152)	
vrsta operacije		
totalna laringektomija	101,81 (92,45 – 156,18)	0,13
totalna laringektomija + parcijalna faringektomija - primarno	92,74 (80,55 – 104,62)	
totalna laringektomija + parcijalna faringektomija - režanj	118,42 (89 – 140,5)	
miotomija mišića		
ne	98,82 (88,1 – 145,44)	0,86*
da	100,78 (87,19 – 138,9)	
opseg kirurškog zahvata na vratu		
bez disekcije vrata	85,58 (82,78 – 100,78)	0,11*
disekcija vrata	101,81 (91,6 – 145,9)	
radioterapija		
ne	97,37 (81,77 – 157,51)	0,34*
da	100,74 (94,8 – 134,5)	
kemoterapija		
ne	100,1 (85,48 – 152,59)	0,47*
da	110,63 (100,34 – 132,18)	

IQR: interkvartilni raspon; *Mann Whitney U test; [†]Kruskal Wallisov test

U skupini prema podjeli na učinjenu vrstu operacije i akustički parametar glasnoća fonacije pokazana je značajna razlika u vrsti operacije (Kruskal Wallisov test, $P = 0,03$). Ispitanici kojima je učinjena totalna laringektomija s parcijalnom faringeotomijom i primarnom rekonstrukcijom pokazala se glasnijom u odnosu na ostale dvije promatrane skupine, no bez statistički značajne razlike (Tablica 5.30.).

Tablica 5.30. Povezanost intenziteta ili glasnoće i maksimalnog vremena fonacije sa spolom, vrstom kirurškog zahvata i disekcijom vrata, radioterapijom i kemoterapijom

	akustička analiza glasa			
	glasnoća fonacije	$P^\dagger$	maksimalno vrijeme fonacije	$P^\dagger$
	medijan (IQR)		medijan (IQR)	
spol				
muškarci	73 (70 – 78)	0,56*	7960 (4086 – 12501)	0,30*
žene	72,5 (70 – 86)		5849,5 (4295 – 10104,5)	
vrsta operacije				
totalna laringektomija	73 (70 – 78,5)	0,03^{†‡}	8130 (5272,3 – 12740,3)	0,27 [†]
totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija - primarno	75 (70 – 81)		7389,5 (3718,25 – 10768)	
totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija - režanj	65 (60 – 70)		2840 (1963 – 9723)	
miotomija mišića				
ne	74 (69,5 – 76,25)	0,82*	7325,5 (2823,2 – 14748,2)	0,33*
da	73 (70 – 79)		8531 (5465,5 – 11967,5)	
opseg kirurškog zahvata na vratu				
bez disekcije vrata	74 (70 – 75)	0,88*	5186 (1778 – 8300)	0,11*
disekcija vrata	73 (701 – 79)		8246 (5466 – 12768)	
radioterapija				
ne	73 (70 – 75)	0,49*	7205,5 (4852 – 15221)	0,89*
da	73 (70 – 80)		8300 (4027 – 11821,8)	
kemoterapija				
ne	73 (70 – 78)	0,83*	7468 (3968 – 12289,5)	0,74*
da	74 (69,75 – 80)		9410 (5053,3 – 12495,5)	

IQR: interkvartilni raspon ; *Mann Whitney U test; [†]Kruskal Wallisov test

[‡]na razini $P < 0,05$ značajna razlika (totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija – režanj) vs. ostalo

Također se uočavaju značajno više vrijednost *jittera* i *shimmera* kod ispitanika koji nisu proveli radioterapiju (Mann Whitney U test, $P < 0,001$) i niže vrijednosti parametra *shimmer* kod ispitanika koji su proveli kemoterapiju kao dodatno liječenje osnovne bolesti (Mann Whitney U test, $P = 0,008$) (Tablica 5.31.).

Tablica 5.31. Povezanost parametara *jitter* i *shimmer* sa spolom, vrstom kirurškog zahvata i disekcijom vrata, radioterapijom i kemoterapijom

	akustička analiza glasa			
	<i>jitter</i> (%)	<i>P</i> [†]	<i>shimmer</i> (%)	<i>P</i> [†]
	medijan (IQR)		medijan (IQR)	
spol				
muškarci	13,7 (11,1 – 15,4)	0,32*	45,9 (36,2 – 60,9)	0,10*
žene	10,5 (3,6 – 15,5)		32,3 (24,5 – 51,1)	
vrsta operacije				
totalna laringektomija	13,67 (10,11 – 15,12)	0,42 [†]	46,47 (36,1 – 60,85)	0,50 [†]
totalna laringektomija + parcijalna faringektomija - primarno	11,9 (9,85 – 15,65)		37,83 (31,62 – 56,01)	
totalna laringektomija + parcijalna faringektomija - režanj	15,11 (12,27 – 17,42)		41,16 (30,65 – 57,78)	
miotomija mišića				
ne	11,01 (6,7 – 14,5)	0,12*	42,16 (29,82 – 50,62)	0,21*
da	13,68 (11,23 – 15,5)		46,98 (32,5 – 60,85)	
opseg kirurškog zahvata na vratu				
bez disekcije vrata	11,11 (8,5 – 15,66)	0,54*	41,55 (35,68 – 56,45)	0,51*
disekcija vrata	13,67 (11,1 – 15,3)		46 (32,5 – 60,9)	
radioterapija				
ne	15,02 (12,95 - 16)	<0,001*	57,96 (43,89 – 71,4)	<0,001*
da	11,3 (8,4 – 13,7)		41,2 (31,3 – 49,9)	
kemoterapija				
ne	13,68 (11,01 – 15,45)	0,32*	46,98 (37,21 – 60,99)	0,008*
da	11,51 (5,1 – 15,37)		31,57 (23,29 – 45,58)	

*Mann Whitney U test; [†]Kruskal Wallisov test; IQR: interkvartilni raspon

Nema značajne povezanost parametara akustičke analize i logopedске procjene zamjenskog glasa (Tablica 5.32.).

Tablica 5.32. Povezanost parametara akustičke analize i logopedске subjektivne procjene traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze

	Spearmanov koeficijent korelacije Rho (P vrijednost)		
	subjektivne procjene po logopedu		
	tečnost (fluentnost) govora	grgljavost u glasu	cjelokupna kvaliteta zamjenskim glasom
frekvencija fonacije	- 0,048 (0,73)	- 0,145 (0,29)	- 0,154 (0,26)
glasnoća fonacije	- 0,089 (0,52)	0,119 (0,39)	- 0,041 (0,76)
maksimalno vrijeme fonacije	0,216 (0,11)	0,057 (0,68)	0,249 (0,07)
<i>jitter</i>	- 0,024 (0,86)	- 0,142 (0,30)	- 0,094 (0,50)
<i>shimmer</i>	- 0,062 (0,65)	- 0,235 (0,08)	- 0,138 (0,31)

Značajno je povezana ukupna kvaliteta upitnika SECEL:HR s osnovnom frekvencijom fonacije ($Rho = 0,328$) s većim *jitterom* ($Rho = 0,311$) i većim *shimmerom* ($Rho = 0,360$). Veće zadovoljstvo općom podskalom upitnika, povezano je s osnovnom frekvencijom fonacije ($Rho = 0,283$), dok su podskale okoline i stavova u značajnoj i pozitivnoj vezi s osnovnom frekvencijom fonacije, vrijednostima *jittera* i *shimmera* (Tablica 5.33.).

Tablica 5.33. Povezanost parametara akustičke analize i upitnika SECEL:HR

	Spearmanov koeficijent korelacije Rho (P vrijednost)			
	SECEL ukupno	opća podskala	podskala okoline	podskala stavova
frekvencija fonacije (Hz)	0,328 (0,01)	0,283 (0,04)	0,278 (0,04)	0,328 (0,01)
glasnoća fonacije (dB)	- 0,104 (0,45)	- 0,016 (0,91)	- 0,111 (0,42)	- 0,104 (0,45)
maksimalno vrijeme fonacije (MVF) (ms)	0,082 (0,55)	0,050 (0,72)	0,024 (0,86)	0,145 (0,29)
<i>jitter</i> (%)	0,311 (0,02)	0,119 (0,39)	0,325 (0,02)	0,294 (0,03)
<i>shimmer</i> (%)	0,360 (0,01)	0,238 (0,08)	0,334 (0,01)	0,353 (0,01)

SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba

5.2.4. Analiza videosnimki fonatornog gibanja faringoezofagealnog segmenta laringektomiranih osoba

Snimanje HSV kamerom učinjeno je na cjelokupnom uzorku od 55 ispitanika. Dobiveno i pohranjeno je 55 videosnimki koje su se dalje koristile u sljedećim fazama istraživanja. Postizanje dobrog prikaza FES-a dobiveno je u 38 (69 %) ispitanika u odnosu na cjelokupni uzorak, u 16 (29%) ispitanika umjeren, a samo kod jednog (2%) ispitanika snimak je kvalificiran kao loš. Lokalna anestezija u obliku spreja (koncentracija 100 mg/ml; po potisku 0.1ml lidokaina) korištena je kod 2 ispitanika (4 %). Većina ispitanika, njih 53 (96 %) pokazala je dobru suradljivost. Jasna vizualizacija FES-a postignuta je kod 42 (76 %) ispitanika (Tablica 5.34.).

Tablica 5.34. Raspodjela videosnimki učinjenih ultrabrzom videoendoskopijom prema kvaliteti

HSV	broj (%) ispitanika
potreban broj pokušaja za adekvatnu snimku [medijan (interkvartilni raspon)]	2 (1 – 3) 1 – 6
procjena suradljivosti pacijenta	
dobra	53 (96)
umjerena	2 (4)
korištenje lokalne anestezije	2 (4)
postizanje adekvatnog prikaza	
dobra	38 (69)
umjerena	16 (29)
loša	1 (2)
kvaliteta vizualizacije	
dobra	34 (62)
umjerena	19 (34)
loša	2 (4)
pojačani refleksi prilikom snimanja	9 (16)
vizualizacija FES	
vidljiv	42 (76)
nevidljiv	1 (2)
djelomično vidljiv	12 (22)

Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); FES: faringoezofagealni segment

S obzirom na vrednovanje karakteristika FES-a, prisutnost (količina) sline u najvećem postotku rangirana je pod pojmom „malo“ kod 26 (47 %) ispitanika, a kada je opisivana gustoća kod 36 (65 %) ispitanika ocijenjena je kao rijetka. Lokacija vidljive sline u odnosu na FES najčešće je bila iznad samog ušća FES-a kod 25 (59 %) ispitanika. Prema obliku FES-a najzastupljeniji je oblik razdvojen sa strane na stranu (engl. *split side to side*), zatim kružni (cirkularni) oblik, razdvojen naprijed-nazad (engl. *split anterior-posterior*), a najmanje triangularan ili trokutasti oblik FES-a. Lokacija vidljive vibracije sluznice FES-a u najvećem postotku mogla se vidjeti na svim zidovima kod 22 (40 %) ispitanika, no također u velikom postotku vibracije sluznice su pronađene i naprijed-straga kod 21 (38 %) ispitanika. Većina vibracija je bila jaka i pravilna te je u najvećem postotku otvoreno/zatvorena faza FES-a u odnosu na kompletan ciklus vibracija jednako trajala (Tablica 5.35.).

Tablica 5.35. Raspodjela karakteristika FES-a u HSV snimkama

HSV	broj (%) ispitanika
količina sline	
nema	13 (23)
malo	26 (47)
umjereno	13 (24)
dosta	3 (6)
opis sline	
gusta	6 (11)
rijetka	36 (65)
nema	13 (24)
lokacija sline	
unutar FES-a	11 (27)
iznad ušća FES-a	25 (59)
ispunjava cijeli FES	6 (14)
oblik FES-a tijekom otvorene faze	
kružni (cirkularni)	21 (38)
trokutasti (triangularan)	4 (7)
razdvojen sa strane na stranu (engl. <i>split side to side</i>)	23 (42)
razdvojen naprijed-nazad (engl. <i>split anterior - posterior</i>)	7 (13)
lokacija vidljive vibracije	
naprijed-straga	21 (38)
lijevo-desno	12 (22)
na svim zidovima	22 (40)
prisutnost sluzničkog vala (engl. <i>mucosal wave</i>)	
jak	39 (71)
slab	16 (29)
pravilnost vibracija	
pravilna	42 (76)
nepravilna	13 (24)
zatvorenost faze	
predominira otvorena faza	9 (16)
jednako	35 (64)
predominira zatvorena faza	9 (16)
ne može se procijeniti	2 (4)

Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); FES: faringoezofagealni segment

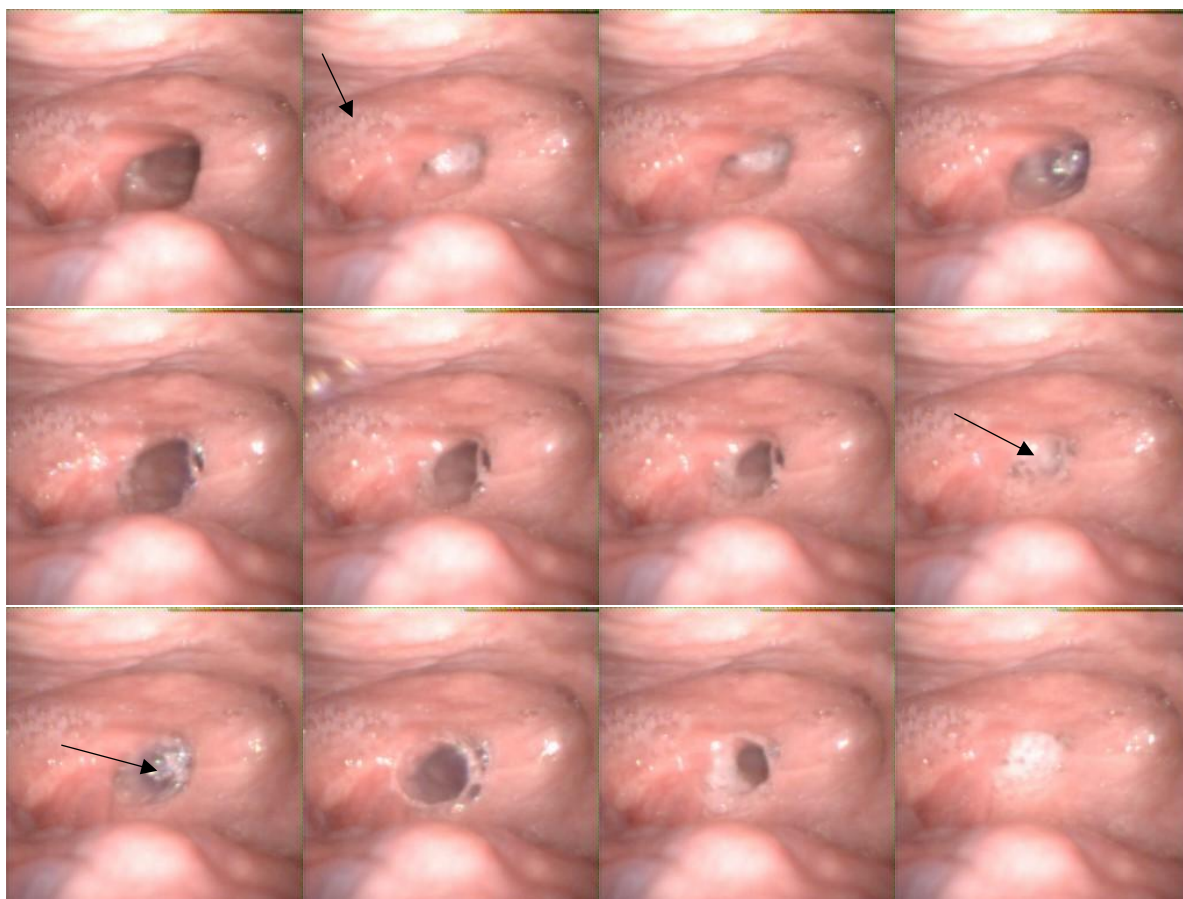
Frekvencija fonacije prilikom snimanja pomoću HSV sustava (integriranim mikrofonom u HSV sustavu) u većine ispitanika mjerene su u visokim frekvencijama (medijan 210 Hz, interkvartilni raspon između 105 – 409 Hz) (Tablica 5.36.).

Tablica 5.36. Mjere sredine i raspršenja frekvencije traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze i jačine fonacije mjereni mikrofonom integriranim u sustav HSV

HSV	medijan (interkvartilni raspon)	raspon minimum – maksimum
frekvencija fonacije prilikom snimanja (Hz)	210 (105 – 409)	82 – 502
intenzitet (glasnoća) prilikom snimanja (dB)	79 (75 – 88)	65 – 100

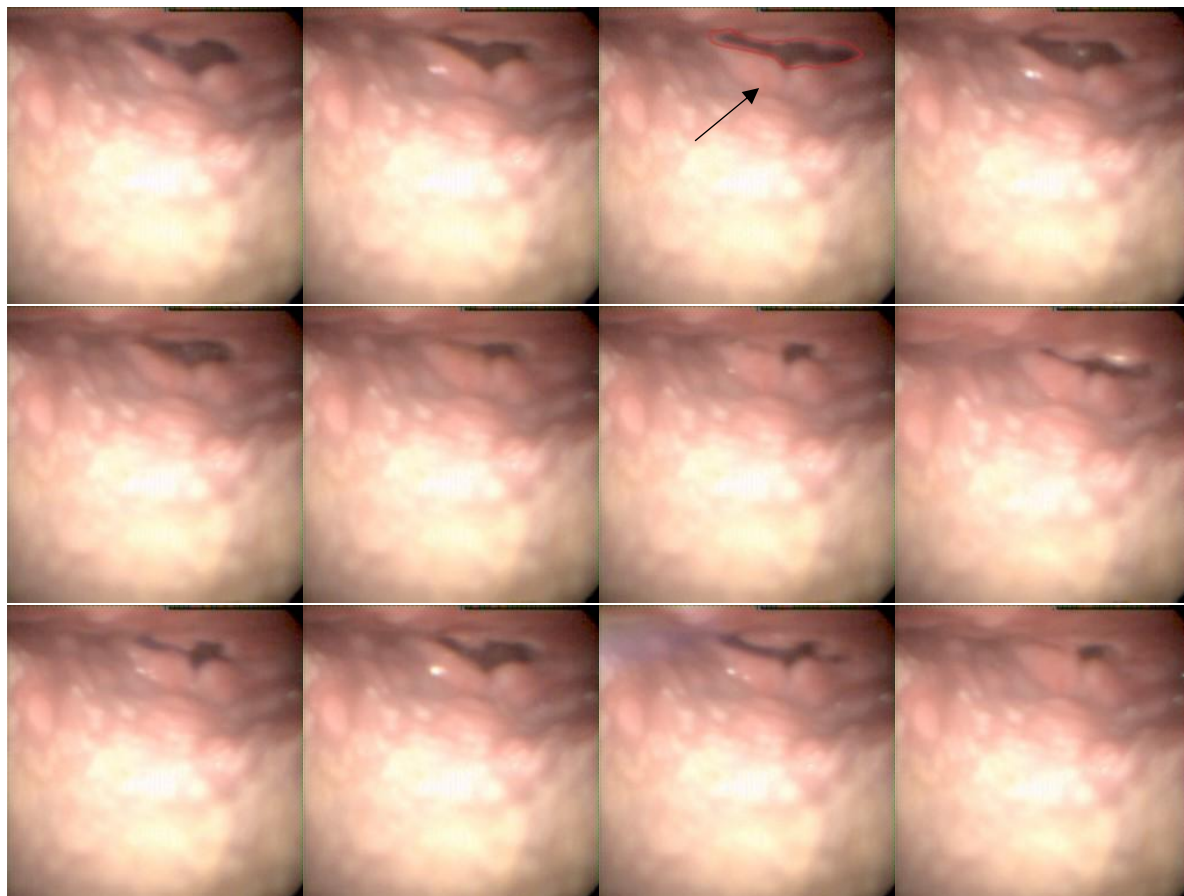
Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV)

Različiti oblici izgleda FES-a i promjene veličine tijekom fonacije prikazani su na slikama 5.2. do 5.5. s pripadajućom frekvencijom fonacije i glasnoćom fonacije.



Slika 5.2. Prikaz promjene veličine kružnog otvora faringoezofagealnog segmenta tijekom fonacije

Na slici je prikaz slijeda videosnimaka iz videozapisa snimljenih pomoću ultrabrze videoendoskopije. Prikazana je promjena veličine kružnog otvora (oblika) faringoezofagealnog segmenta laringektomirane osobe tijekom fonacije. Vidljiva je manja količina slin rijetke konzistencije (na slici označeno strelicama). Frekvencija fonacije 100,74 Hz, glasnoća fonacije 73 dB. Izvor: autor



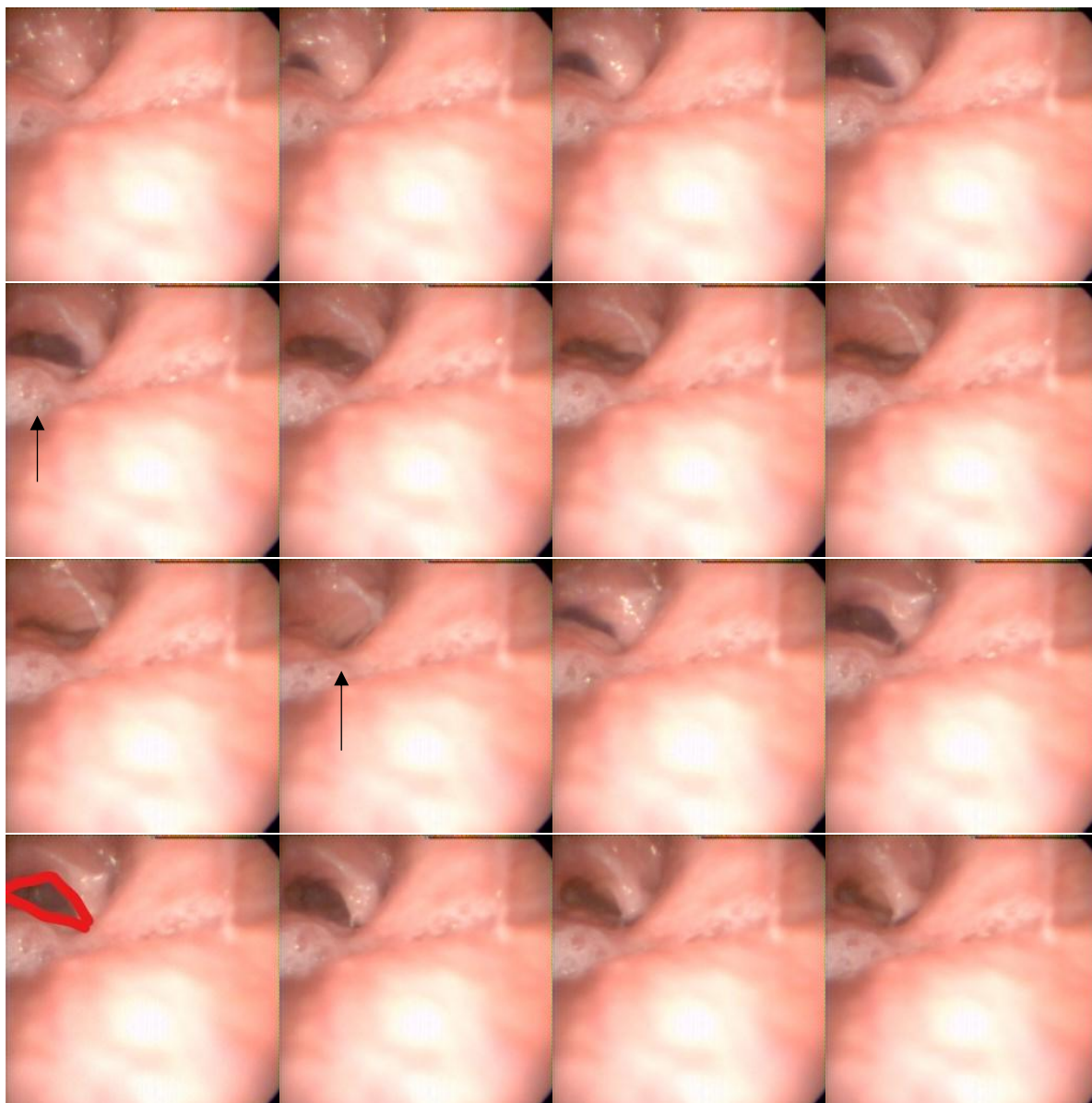
Slika 5.3. Prikaz promjene veličine oblika razdvojen sa strane na stranu faringoezofagealnog segmenta tijekom fonacije

Na slici je prikaz slijeda videosnimaka iz videozapisa snimljenih pomoću ultrabrze videoendoskopije. Prikazana je promjena veličine otvora (oblika) faringoezofagealnog segmenta razdvojen sa strane na stranu (engl. *split side to side*) laringektomirane osobe tijekom fonacije (na slici izdvojeno crvenom bojom i označeno strelicom). Prilikom fonacije nema vidljive sline. Frekvencija fonacije 100,25 Hz, glasnoća fonacije 72 dB. Izvor: autor



Slika 5.4. Prikaz promjene veličine oblika razdvojen naprijed-straga faringozofagealnog segmenta tijekom fonacije

Na slici je prikaz slijeda videosnimaka iz videozapisa snimljenih pomoću ultrabrze videoendoskopije. Prikazana je promjena veličine otvora (oblika) faringozofagealnog segmenta razdvojen naprijed-straga (engl. *split anterior-posterior*) laringektomirane osobe tijekom fonacije (na slici crnom strelicom označeno je mjesto vibracije). Prilikom fonacije primijećena je manja količina rijetke slinje prisutne unutar ušća (označeno crvenom strelicom). Operacija koja je učinjena na ovom primjeru je totalna laringektomija s parcijalnom farinkektomijom i primarnom rekonstrukcijom. Frekvencija fonacije je 117,33 Hz, glasnoća fonacije 75 dB. Izvor: autor



Slika 5.5. Prikaz promjene veličine trokutastog otvora faringoezofagealnog segmenta tijekom fonacije

Na slici je prikaz slijeda videosnimaka iz videozapisa snimljenih pomoću ultrabrze videoendoskopije. Prikazana je promjena veličine trokutastog otvora (oblika) faringoezofagealnog segmenta laringektomirane osobe tijekom fonacije (na slici označeno crvenom bojom - otvorena faza fonacije). Prilikom fonacije primijećena je veća količina rijetke sline iznad ušća faringoezofagealnog segmenta (označeno crnom strelicom). Frekvencija fonacije je 97,25 Hz, glasnoća fonacije 68 dB. Izvor: autor

Jaka prisutnost sluzničkog vala značajno je veća kod muškog spola u odnosu na ženski spol (77 % vs. 38 %) (Fisherov egzaktni test, $P = 0,03$). Pravilnije vibracije gibanja sluznice FES-a vidljive su značajnije više kod muškog spola u odnosu na ženski spol (83 % vs. 38 %) (Fisherov egzaktni test, $P = 0,01$). Lokacija sline iznad ušća FES-a u značajno je prisutnija kod muškog spola nego kod ženskog (66 % vs. 29 %) (Fisherov egzaktni test, $P = 0,04$). FES tijekom otvorene faze kod muškog spola najčešće je bio oblika – razdvojen sa strane na stranu, a kod žena u jednakom postotku kružni oblik i razdvojen sa strane na stranu, no bez značajne razlike u odnosu na spol (Tablica 5.37.).

Tablica 5.37. Karakteristike FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om u odnosu na spol ispitanika

	broj (%) ispitanika			P^*
	muškarci	žene	ukupno	
količina sline				
nema	12 (26)	1 (13)	13 (24)	0,72
malo	22 (47)	4 (50)	26 (47)	
umjereno	10 (21)	3 (38)	13 (24)	
dosta	3 (6)	0	3 (5)	
opis sline				
gusta	6 (13)	0	6 (11)	0,61
rijetka	29 (62)	7 (88)	36 (65)	
nema	12 (26)	1 (13)	13 (24)	
lokacija sline				
unutar FES-a	9 (26)	2 (29)	11 (26)	0,04
iznad ušća FES-a ($n = 1$)	23 (66)	2 (29)	25 (60)	
ispunjava cijeli FES	3 (9)	3 (43)	6 (14)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze				
kružni (cirkularni)	18 (38)	3 (38)	21 (38)	0,87
trokutasti (triangularan)	3 (6)	1 (13)	4 (7)	
razdvojen sa strane na stranu	20 (43)	3 (38)	23 (42)	
razdvojen naprijed-nazad	6 (13)	1 (13)	7 (13)	
lokacija vidljive vibracije				
naprijed-straga	18 (38)	3 (38)	21 (38)	0,89
lijevo-desno	11 (23)	1 (13)	12 (22)	
na svim zidovima	18 (38)	4 (50)	22 (40)	
prisutnost sluzničkog vala				
jak	36 (77)	3 (38)	39 (71)	0,03
slab	11 (23)	5 (63)	16 (29)	
pravilnost vibracija				
pravilna	39 (83)	3 (38)	42 (76)	0,01
nepravilna	8 (17)	5 (63)	13 (24)	

Ultrabrzna videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); FES: faringoezofagealni segment;

*Fisherov egzaktni test

Nema značajne razlike u raspodjeli ispitanika prema vrsti operacije (totalna laringektomija, totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija – primarna rekonstrukcija i rekonstrukcija pomoću reznja) i karakteristika FES-a analizom videosnimki dobivenih HSV-om (Tablica 5.38.).

Tablica 5.38. Raspodjela karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om prema vrsti operacije

	broj (%) ispitanika prema vrsti operacije			ukupno	P*
	totalna laringektomija	totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija – primarno	totalna laringektomija + parcijalna faringeotomija – reznj		
količina sline					
nema	10 (24)	3 (30)	0	13 (24)	0,88
malo	20 (48)	4 (40)	2/3	26 (47)	
umjereno	10 (24)	2 (20)	1/3	13 (24)	
dosta	2 (5)	1 (10)	0	3 (5)	
opis sline					
gusta	5 (12)	0	1/3	6 (11)	0,51
rijetka	27 (64)	7 (70)	2 (67)	36 (65)	
nema	10 (24)	3 (30)	0	13 (24)	
lokacija sline					
unutar FES-a	8 (25)	3 (43)	0	11 (26)	0,48
iznad ušća FES-a (n = 1)	20 (63)	3 (43)	2/3	25 (60)	
ispunjava cijeli FES	4 (13)	1 (14)	1/3	6 (14)	
vizualizacija FES-a					
vidljiv	34 (81)	7 (70)	1/3	42 (76)	0,08
nevidljiv	0	1 (10)	0	1 (2)	
djelomično vidljiv	8 (19)	2 (20)	2/3	12 (22)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze					
kružni (cirkularni)	17 (40)	3 (30)	1/3	21 (38)	0,92
trokutasti (triangularan)	3 (7)	1 (10)	0	4 (7)	
razdvojen sa strane na stranu	17 (40)	4 (40)	2 / 3	23 (42)	
razdvojen naprijed-nazad	5 (12)	2 (20)	0	7 (13)	
lokacija vidljive vibracije					
naprijed-straga	15 (36)	4 (40)	2 / 3	21 (38)	0,96
lijevo-desno	10 (24)	2 (20)	0	12 (22)	
na svim zidovima	17 (40)	4 (40)	1 / 3	22 (40)	
prisutnost sluzničkog vala					
jak	30 (71)	8 (80)	1 / 3	39 (71)	0,29
slab	12 (29)	2 (20)	2 / 3	16 (29)	
pravilnost vibracija					
pravilna	32 (76)	8 (80)	2 / 3	42 (76)	>0,99
nepravilna	10 (24)	2 (20)	1 / 3	13 (24)	

Ultrabrz videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); FES: faringoezofagealni segment;

*Fisherov egzaktni test

Analizirana je raspodjela ispitanika prema učinjenoj miotomiji mišića (DA/NE) i karakteristika FES-a dobivenih analizom videosnimki. Postoji značajna razlika u raspodjeli ispitanika prema vizualizaciji FES-a u odnosu na učinjenu miotomiju. Kod ispitanika kojima je učinjena miotomija, FES je snimanjem jasno prikazan, odnosno vidljiv (Fisherov egzaktni test, $P = 0,03$) (Tablica 5.39.).

Tablica 5.39. Raspodjela karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om prema učinjenoj miotomiji mišića

	broj (%) ispitanika prema miotomiji			P^*
	ne	da	ukupno	
količina sline				
nema	4 (29)	9 (22)	13 (24)	0,90
malo	7 (50)	19 (46)	26 (47)	
umjereno	3 (21)	10 (24)	13 (24)	
dosta	0	3 (7)	3 (5)	
opis sline				
gusta	2 (14)	4 (10)	6 (11)	0,71
rijetka	8 (57)	28 (68)	36 (65)	
nema	4 (29)	9 (22)	13 (24)	
lokacija sline				
unutar FES-a	3 (30)	8 (25)	11 (26)	0,67
iznad ušća FES-a (n = 1)	5 (50)	20 (63)	25 (60)	
ispunjava cijeli FES	2 (20)	4 (13)	6 (14)	
vizualizacija FES-a				
vidljiv	14 (100)	28 (68)	42 (76)	0,03
nevidljiv	0	1 (2)	1 (2)	
djelomično vidljiv	0	12 (29)	12 (22)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze				
kružni (cirkularni)	6 (43)	15 (37)	21 (38)	0,83
trokutasti (triangularan)	0	4 (10)	4 (7)	
razdvojen sa strane na stranu	6 (43)	17 (41)	23 (42)	
razdvojen naprijed-nazad	2 (14)	5 (12)	7 (13)	
lokacija vidljive vibracije				
naprijed-straga	4 (29)	17 (41)	21 (38)	0,68
lijevo-desno	3 (21)	9 (22)	12 (22)	
na svim zidovima	7 (50)	15 (37)	22 (40)	
prisutnost sluzničkog vala				
jak	12 (86)	27 (66)	39 (71)	0,19
slab	2 (14)	14 (34)	16 (29)	
pravilnost vibracija				
pravilna	12 (86)	30 (73)	42 (76)	0,48
nepravilna	2 (14)	11 (27)	13 (24)	

Ultrabrz videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); FES: faringozofagealni segment;

*Fisherov egzaktni test

Nema značajne razlike u raspodjeli ispitanika prema provedenoj radioterapiji i kemoterapiji i karakteristika FES-a dobivenih analizom videozapisa HSV-om (Tablice 5.40. i 5.41.).

Tablica 5.40. Raspodjela karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om prema provedenoj radioterapiji

	broj (%) ispitanika u odnosu na radioterapiju				P*
	ne	prije operacije	nakon operacije	ukupno	
količina sline					
nema	7 (32)	0	6 (20)	13 (24)	0,56
malo	11 (50)	1/3	14 (47)	26 (47)	
umjereno	3 (14)	2/3	8 (27)	13 (24)	
dosta	1 (5)	0	2 (7)	3 (5)	
opis sline					
gusta	2 (9)	0	4 (13)	6 (11)	0,77
rijetka	13 (59)	3/3	20 (67)	36 (65)	
nema	7 (32)	0	6 (20)	13 (24)	
lokacija sline					
unutar FES-a	5 (33)	0	6 (25)	11 (26)	0,86
iznad ušća FES-a	8 (53)	3/3	14 (58)	25 (60)	
ispunjava cijeli FES	2 (13)	0	4 (17)	6 (14)	
vizualizacija FES-a					
vidljiv	14 (64)	2/3	26 (87)	42 (76)	0,19
nevidljiv	1 (5)	0	0	1 (2)	
djelomično vidljiv	7 (32)	1/3	4 (13)	12 (22)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze					
kružni (cirkularni)	9 (41)	1/3	11 (37)	21 (38)	0,69
trokutasti (triangularan)	1 (5)	0	3 (10)	4 (7)	
razdvojen sa strane na stranu	8 (36)	1/3	14 (47)	23 (42)	
razdvojen naprijed-nazad	4 (18)	1/3	2 (7)	7 (13)	
lokacija vidljive vibracije					
naprijed-straga	9 (41)	1/3	11 (37)	21 (38)	0,97
lijevo-desno	5 (23)	1/3	6 (20)	12 (22)	
na svim zidovima	8 (36)	1/3	13 (43)	22 (40)	
prisutnost sluzničkog vala					
jak	16 (73)	3/3	20 (67)	39 (71)	0,63
slab	6 (27)	0	10 (33)	16 (29)	
pravilnost vibracija					
pravilna	17 (77)	3/3	22 (73)	42 (76)	0,89
nepravilna	5 (23)	0	8 (27)	13 (24)	

Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); FES: faringoezofagealni segment

*Fisherov egzaktni test

Tablica 5.41. Raspodjela karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om prema provedenoj kemoterapiji

	broj (%) ispitanika u odnosu na kemoterapiju			P*
	ne	da	ukupno	
količina sline				
nema	13 (29)	0	13 (24)	0,19
malo	20 (44)	6 (60)	26 (47)	
umjereno	10 (22)	3 (30)	13 (24)	
dosta	2 (4)	1 (10)	3 (5)	
opis sline				
gusta	5 (11)	1 (10)	6 (11)	0,13
rijetka	27 (60)	9 (90)	36 (65)	
nema	13 (29)	0	13 (24)	
lokacija sline				
unutar FES-a	9 (28)	2 (20)	11 (26)	0,77
iznad ušća FES-a	19 (59)	6 (60)	25 (60)	
ispunjava cijeli FES	4 (13)	2 (20)	6 (14)	
vizualizacija FES-a				
vidljiv	35 (78)	7 (70)	42 (76)	0,73
nevidljiv	1 (2)	0	1 (2)	
djelomično vidljiv	9 (20)	3 (30)	12 (22)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze				
kružni (cirkularni)	17 (38)	4 (40)	21 (38)	0,61
trokutasti (triangularan)	3 (7)	1 (10)	4 (7)	
razdvojen sa strane na stranu	18 (40)	5 (50)	23 (42)	
razdvojen naprijed-nazad	7 (16)	0	7 (13)	
lokacija vidljive vibracije				
naprijed-straga	17 (38)	4 (40)	21 (38)	>0,99
lijevo-desno	10 (22)	2 (20)	12 (22)	
na svim zidovima	18 (40)	4 (40)	22 (40)	
prisutnost sluzničkog vala				
jak	32 (71)	7 (70)	39 (71)	>0,99
slab	13 (29)	3 (30)	16 (29)	
pravilnost vibracija				
pravilna	34 (76)	8 (80)	42 (76)	>0,99
nepravilna	11 (24)	2 (20)	13 (24)	

Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); FES: faringozofagealni segment

*Fisherov egzaktni test

Značajno su stariji ispitanici s vidljivom lokacijom vibracije naprijed-straga u odnosu na lijevo-desno (Kruskal Wallisov test, $P = 0,01$). Također, postoji značajna razlika u vremenu od učinjene operacije s obzirom na predominaciju zatvorene faze (Kruskal Wallisov test, $P = 0,007$) (Tablica 5.42.).

Tablica 5.42. Povezanost karakteristika FES-a analizom videosnimki dobivenih HSV-om prema dobi ispitanika i vremenu u mjesecima od učinjenog operativnog zahvata

	obilježja ispitanika			
	dob		vrijeme od učinjene operacije	
	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$
količina sline				
nema	68 (64 – 72)	0,36	20 (14 – 39)	0,11
malo	67 (62 – 71)		41 (21 – 94)	
umjereno	65 (59 – 67)		18 (15 – 48)	
dosta	67 (66 – 83)		22 (15 – 29)	
opis sline				
gusta	66 (62 – 77)	0,61	15 (12 – 41)	0,09
rijetka	66 (62 – 69)		32 (18 – 90)	
nema	68 (64 – 72)		20 (14 – 39)	
lokacija sline				
unutar FES-a	68 (61 – 71)	0,35	65 (22 – 109)	0,42
iznad ušća FES-a (n = 1)	67 (63 – 72)		28 (15 – 61)	
ispunjava cijeli FES	63 (60 – 65)		25 (16 – 67)	
vizualizacija FES-a				
vidljiv	67 (62 – 69)	0,38	37 (16 – 68)	0,06
nevidljiv (n = 1)	72 (72 – 72)		10 (10 – 10)	
djelomično vidljiv	67 (63 – 75)		20 (15 – 28)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze				
kružni (cirkularni)	66 (63 – 68)	0,18	24 (16 – 73)	0,53
trokutasti (triangularan)	61 (57 – 66)		23 (16 – 34)	
razdvojen sa strane na stranu	68 (62 – 74)		33 (19 – 59)	
razdvojen naprijed-nazad	68 (66 – 72)		15 (12 – 42)	
lokacija vidljive vibracije				
naprijed-straga	68 (65 – 75)	0,01[‡]	33 (16 – 69)	0,87
lijevo-desno	63 (57 – 66)		26 (14 – 67)	
na svim zidovima	67 (62 – 69)		22 (16 – 63)	
prisutnost sluzničkog vala				
jak	67 (62 – 71)	0,81*	36 (16 – 62)	0,41*
slab	67 (62 – 70)		21 (15 – 50)	
pravilnost vibracija				
pravilna	67 (63 – 71)	0,38*	28 (15 – 58)	0,49*
nepravilna	65 (61 – 69)		33 (19 – 93)	
zatvorenost faze				
predominira otvorena faza	67 (61 – 70)	0,47	58 (40 – 135)	0,007[§]
jednako	67 (62 – 72)		21 (14 – 37)	
predominira zatvorena faza	65 (59 – 68)		63 (30 – 92)	
ne može se odrediti	71 (67 – 74)		16 (12 – 20)	

Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); FES: faringozofagealni segment; IQR: interkvartilni raspon

*Mann Whitney U test; [†]Kruskal Wallisov test

[‡]na razini $P < 0,05$ značajna razlika (naprijed-straga vs. (lijevo-desno)

[§]na razini $P < 0,05$ značajno se razlikuju svi međusobno

Analizom ocjene logopedске procjene zamjenskog glasa u odnosu na karakteristike FES-a dobivenih analizom videosnimki HSV-om, uočeno je značajno više nekontroliranih zvukova odnosno veći slušni fenomen grgljivosti u zamjenskog glasu (na VAS skali manji broj) kod ispitanika s gustom slinom (Kruskal Wallisov test, $P = 0,02$), kod ispitanika s vidljivim FES-om u odnosu na djelomično vidljiv (Kruskal Wallisov test, $P = 0,03$) te kod jakog sluzničkog vala (Mann Whitney U test, $P = 0,04$). Značajne su razlike između ispitanika ako promatramo tečnost (fluentnost) zamjenskog glasa. Značajno su bolje ocijenjeni ispitanici s prisutnošću jakog vibracijskog vala (Mann Whitney U test, $P = 0,006$) i pravilnih vibracija (Mann Whitney U test, $P = 0,003$). Ako promatramo cjelokupnu kvalitetu zamjenskog glasa ocijenjenog prema logopedskoj procjeni značajno su bolje ocijenjeni (viša ocjena na VAS skali) ispitanici s vidljivim FES-om (Kruskal Wallisov test, $P = 0,01$), jakog sluzničkog vala (Mann Whitney U test, $P = 0,02$) te pravilnih vibracija (Mann Whitney U test, $P = 0,005$) (Tablica 5.43.).

Rješavajući SECEL:HR upitnik ispitanici su svoj glas značajno bolje ocijenili kroz podskalu okoline (Kruskal Wallisov test, $P = 0,03$) i kroz ukupni rezultat SECEL:HR upitnika kod FES-a koji je jasno vidljiv analizom videosnimki (Kruskal Wallisov test, $P = 0,04$). Ostala promatrana svojstva karakteristika FES-a i SECEL:HR upitnika nisu statistički značajna (Tablica 5.44., Tablica 5.45.).

Tablica 5.43. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om i logopedске ocjene traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze

HSV	subjektivna procjena po logopedu					
	tečnost (fluentnost) govora		grgljavost u glasu		cjelokupna kvaliteta zamjenskim glasom	
	medijan (IQR)	<i>P</i> †	medijan (IQR)	<i>P</i> †	medijan (IQR)	<i>P</i> †
količina sline						
nema	8 (6,5 – 9)	0,53	8 (6,5 – 8,5)	0,19	8 (7 – 9)	0,78
malo	8 (7 – 9)		7 (7 – 8)		8 (8 – 9)	
umjereno	8 (7 – 9)		7 (6 – 8,5)		8 (7 – 9)	
dosta	7 (6 – 8)		5 (5 – 7)		8 (7 – 8)	
opis sline						
gusta	8 (6,5 – 8,25)	0,79	5,5 (4,3–6,5)	0,02‡	8 (6,75 – 8)	0,26
rijetka	8 (7 – 9)		7 (7 – 8)		8 (8 – 9)	
nema	8 (6,5 – 9)		8 (6,5 – 8,5)		8 (7 – 9)	
lokacija sline						
unutar FES-a	8,5 (7 – 9)	0,26	7,5 (7 – 8,25)	0,11	8,5 (7,8 – 9,3)	0,24
iznad ušća FES-a (n = 1)	5		7		6	
ispunjava cijeli FES	8 (7 – 8)		7 (6 – 8)		8 (7,5 – 9)	
vizualizacija FES-a						
vidljiv	8 (7 – 9)	0,08	8 (7 – 8,25)	0,03§	8 (8 – 9)	0,01§
nevidljiv	8		8		8	
djelomično vidljiv	7,5 (6 – 8)		7 (5,25 – 7)		7 (7 – 8)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze						
kružni (cirkularni)	8 (6,5 – 9)	0,46	7 (5,5 – 8)	0,07	8 (7 – 9)	0,35
trokutasti (triangularan)	8,5 (8 – 9,75)		8 (6,5 – 8,75)		8,5 (8 – 9,8)	
razdvojen sa strane na stranu	8 (7 – 9)		7 (7 – 8)		8 (7 – 9)	
razdvojen naprijed-nazad	8 (7 – 10)		8 (7 – 9)		8 (8 – 10)	
lokacija vidljive vibracije						
naprijed-straga	8 (7 – 8,5)	0,05	7 (6,5 – 8)	0,12	8 (8 – 9)	0,06
lijevo-desno	9 (8 – 9,75)		8 (7 – 9)		9 (81 – 0)	
na svim zidovima	8 (6 – 8,25)		7 (5,75 – 8)		8 (6,75 – 9)	
prisutnost sluzničkog vala						
jak	8 (8 – 9)	0,006*	8 (6 – 9)	0,04*	8 (8 – 9)	0,02*
slab	7 (7 – 8)		7 (6,25 – 7)		8 (7 – 8)	
pravilnost vibracija						
pravilna	8 (8 – 9)	0,004*	7,5 (6,8 – 8,3)	0,06*	8 (8 – 9)	0,005
nepravilna	7 (5,5 – 8)		7 (5,5 – 7,5)		8 (6,5 – 8)	
zatvorenost faze						
predominira otvorena faza	8 (7,51 – 0)	0,37	8 (6 – 9)	0,66	8 (8 – 10)	0,58
jednako	8 (7 – 9)		7 (6 – 8)		8 (7 – 9)	
predominira zatvorena faza	7 (5,5 – 8,5)		7 (7 – 8)		8 (6,5 – 8,5)	
ne može se procijeniti	8 (6 – 7,75)		6,5 (4,5 – 7)		8 (6 – 7,8)	

Ultrabrzna videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); FES: faringoezofagealni segment; IQR: interkvartilni raspon;

*Mann Whitney U test; †Kruskal Wallisov test

‡na razini $P < 0,05$ značajna razlika (gusta) vs. ostalo

§na razini $P < 0,05$ značajna razlika (vidljiv) vs. (djelomično vidljiv)

Tablica 5.44. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om i rezultata SECEL:HR upitnika – opća podskala i podskala okoline

	SECEL-HR			
	opća podskala		podskala okoline	
	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$
količina sline				
nema	4 (1,5 – 6)	0,51	11 (6 – 14)	0,70
malo	4 (2 – 5,25)		11 (5 – 18)	
umjereno	11 (7 – 21)		5 (3 – 7)	
dosta	19 (8 – 25)		9 (3 – 14)	
opis sline				
gusta	4,5 (3,75 – 6,25)	0,53	13 (7 – 20,5)	0,80
rijetka	4 (2 – 5)		10,5 (5,25 – 18)	
nema	4 (1,5 – 6)		11 (6 – 14)	
lokacija sline				
unutar FES-a	3 (2 – 5)	0,33	8 (6 – 17)	0,37
iznad ušća FES-a (n = 1)	4 (3 – 6)		13 (8 – 21,5)	
ispunjava cijeli FES	2,5 (1 – 5,25)		6 (4,25 – 23)	
vizualizacija FES-a				
vidljiv	3,5 (2 – 5,25)	0,37	9,5 (6,75 – 14)	0,03
nevidljiv (n = 1)	5		14	
djelomično vidljiv	5 (3,3 – 6)		22,5 (8 – 25)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze				
kružni (cirkularni)	4 (2 – 6)	0,55	15 (8 – 24)	0,06
trokutasti (triangularan)	2,5 (1,25 – 3,75)		6 (1,25 – 10,75)	
razdvojen sa strane na stranu	4 (2 – 6)		12 (5 – 18)	
razdvojen naprijed-nazad	5 (1 – 6)		9 (6 – 11)	
lokacija vidljive vibracije				
naprijed-straga	4 (2 – 5,5)	0,78	8 (5 – 18,5)	0,50
lijevo-desno	4,5 (2 – 5,75)		11 (7 – 14)	
na svim zidovima	4 (2,75 – 6)		12 (7,75 – 23,5)	
prisutnost sluzničkog vala				
jak	4 (2 – 5)	0,29*	10 (5 – 14)	0,09*
slab	5 (2,25 – 6)		16,5 (7,25 – 22,75)	
pravilnost vibracija				
pravilna	4 (2 – 5,25)	0,69*	10 (5 – 17,25)	0,15*
nepravilna	5 (2,5 – 6)		15 (7,5 – 23,5)	
zatvorenost faze				
predominira otvorena faza	4 (3 – 6)	0,69	8 (6 – 16)	0,30
jednako	4 (2 – 6)		11 (7 – 17)	
predominira zatvorena faza	4 (0 – 5)		13 (5 – 20)	
ne može se procijeniti	3,5 (1,5 – 5,5)		23,5 (17,25 – 19,8)	

FES: faringoezofagealni segment; Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba; IQR: interkvartilni raspon

*Mann Whitney U test; † Kruskal Wallisov test

‡ na razini $P < 0,05$ značajna razlika (vidljiv) vs. (djelomično vidljiv)

Tablica 5.45. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om i rezultata SECEL:HR upitnika – podskala stavova i ukupni rezultat

	SECEL:HR			
	podskala stavova		SECEL:HR ukupno	
	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$
količina sline				
nema	4 (0 – 14,5)	0,68	19 (10,5 – 35)	0,64
malo	3,5 (1,75 – 9)		17,5 (10,75 – 30,25)	
umjereno	19 (14,5 – 34)		5 (5 – 7)	
dosta	39 (16 – 40)		64 (45,75 – 59,31)	
opis sline				
gusta	5,5 (3,75 – 15,25)	0,51	22,5 (14,75 – 42,5)	0,61
rijetka	4,5 (2 – 9)		17,5 (11,3 – 32,75)	
nema	4 (0 – 14,5)		19 (10,5 – 35)	
lokacija sline				
unutar FES-a	4 (2 – 9)	0,93	17 (12 – 27)	0,43
iznad ušća FES-a (n = 1)	5 (3 – 9)		20 (14 – 36,5)	
ispunjava cijeli FES	4,5 (1,75 – 14,75)		13 (6,5 – 43,5)	
vizualizacija FES-a				
vidljiv	4 (1,75 – 6,25)	0,05	17 (11 – 26,25)	0,04[‡]
nevidljiv (n = 1)	15		34	
djelomično vidljiv	10 (3 – 20,5)		38,5 (13,5 – 49,8)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze				
kružni (cirkularni)	6 (3,5 – 11,5)	0,09	27 (16 – 39,5)	0,08
trokutasti (triangularan)	1,5 (0,25 – 4,25)		9,5 (5 – 17)	
razdvojen sa strane na stranu	3 (2 – 11)		17 (12 – 36)	
razdvojen naprijed-nazad	3 (0 – 6)		17 (10 – 21)	
lokacija vidljive vibracije				
naprijed-straga	3 (1,5 – 7,5)	0,49	16 (10,5 – 31,5)	0,57
lijevo-desno	6 (2,25 – 8,75)		18,5 (12,5 – 32,25)	
na svim zidovima	5,5 (1,75 – 14,75)		22 (12,5 – 41,5)	
prisutnost sluzničkog vala				
jak	3 (1 – 6)	0,06*	17 (11 – 27)	0,08*
slab	7,5 (3,25 – 17,75)		26,5 (16,25 – 45,5)	
pravilnost vibracija				
pravilna	3,5 (1,75 – 8,25)	0,06*	17 (11 – 30,25)	0,12*
nepravilna	7 (3,5 – 19)		26 (15,5 – 48,5)	
zatvorenost faze				
predominira otvorena faza	5 (2 – 7,5)	0,88	14 (12 – 30,5)	0,45
jednako	4 (2 – 9)		18 (12 – 34)	
predominira zatvorena faza	6 (1 – 16,5)		19 (6,5 – 42)	
ne može se procijeniti	12 (2,25 – 17,5)		39 (21,75 – 38,5)	

FES: faringozofagealni segment; Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); SECEL:HR: Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba; IQR: interkvartilni raspon

*Mann Whitney U test; [†]Kruskal Wallisov test

[‡]na razini $P < 0,05$ značajna razlika (vidljiv) vs. (djelomično vidljiv)

Prilikom analize povezanosti karakteristika FES-a laringektomiranih osoba analizom videozapisa dobivenih HSV-om i određenih parametara akustičke analize lingWAVES programom, uočava se da su značajno višu F0 postigli ispitanici s vidljivom vibracijom sluznice FES-a po svim zidovima u odnosu na naprijed-straga (Kruskal Wallisov test, $P = 0,007$) i slabim sluzničkim valom (Kruskal Wallisov test, $P = 0,04$). Značajne statističke razlike nisu pronađene s karakteristikama FES-a i glasnoće fonacije ispitanika (Tablica 5.46.).

Više vrijednosti *jittera* imali su ispitanici s djelomično vidljivim FES-om u odnosu na vidljivi (Mann Whitney U test, $P = 0,04$), dok među vrijednostima *shimmer* nije bilo statističke povezanosti s karakteristikama FES-a dobivenih analizom videozapisa HSV-om (Tablica 5.47.).

Tablica 5.46. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om i parametara akustičke analize zamjenskog glasa – frekvencija fonacije i glasnoća fonacije

	akustička analiza glasa			
	frekvencija fonacije (F0)		glasnoća fonacije	
	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$	medijan (IQR)	$P^{\dagger}$
količina sline				
nema	100,78 (89,1 – 161,13)	0,31	74 (71,5 – 76,5)	0,93
malo	96,53 (84,73 – 124,44)		72 (70 – 80)	
umjereno	118,42 (95,1 – 166,35)		71 (69,5 – 79,5)	
dosta	100,38 (80,5 – 116,39)		75 (70 – 80)	
opis sline				
gusta	120,59 (89,75 – 186,1)	0,35	70 (66,75 – 82)	0,78
rijetka	100,38 (85,43 – 128,4)		72,5 (70 – 79,5)	
nema	100,78 (89,1 – 161,13)		74 (71,5 – 76,5)	
lokacija sline				
unutar FES-a	93,96 (85,38 – 137,46)	0,28	75 (70 – 80)	0,58
iznad ušća FES-a (n = 1)	100,38 (85,8 – 123,62)		71 (70 – 76,5)	
ispunjava cijeli FES	118,42 (98,47 – 167,5)		72,5 (68,2 – 86)	
vizualizacija FES-a				
vidljiv	100,29 (88,95 – 131,2)	0,23	73 (70 – 80)	0,34
nevidljiv (n = 1)	81,7		74,0	
djelomično vidljiv	120,44 (89,2 – 160,7)		70 (67,75 – 75)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze				
kružni (cirkularni)	116,39 (100,3 – 166,4)	0,09	73 (70 – 76,5)	0,93
trokutasti (triangularan)	98,63 (90,88 – 118,62)		74,5 (66 – 83)	
razdvojen sa strane na stranu	95,08 (80,79 – 130,42)		74 (70 – 80)	
razdvojen naprijed-nazad	85,38 (81,77 – 123,64)		74 (72 – 78)	
lokacija vidljive vibracije				
naprijed-straga	93,27 (80,67 – 117,88)	0,007[‡]	70 (70 – 75)	0,78
lijevo-desno	100,58 (84,82 – 128,7)		73,5 (71,5 – 78,7)	
na svim zidovima	129,17 (99,39 – 183,5)		75 (70 – 81,25)	
prisutnost sluzničkog vala				
jak	100,1 (84,31 – 123,64)	0,04*	73 (70 – 78)	0,91*
slab	127,94 (91,8 – 169,36)		72,5 (70 – 79,5)	
pravilnost vibracija				
pravilna	100,38 (84,8 – 125,34)	0,12*	73 (70 – 78,5)	0,78*
nepravilna	124,79 (91,5 – 173,57)		75 (70 – 79,5)	
zatvorenost faze				
predominira otvorena faza	95,8 (91,64 – 129,17)	0,71	75 (68,5 – 80)	0,08
jednako	100,38 (81,77 – 140,5)		74 (70 – 80)	
predominira zatvorena faza	100,74 (88,9 – 140,71)		70 (70 – 74)	
ne može se procijeniti	138,18 (91,8 – 124,49)		64 (45,8 – 59,31)	

FES: faringoezofagealni segment; Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); IQR: interkvartilni raspon

*Mann Whitney U test; [‡]Kruskal Wallisov test;

[‡]na razini $P < 0,05$ značajna razlika (naprijed – straga) vs. (na svim zidovima)

Tablica 5.47. Povezanost karakteristika FES-a analizom videozapisa dobivenih HSV-om i parametara akustičke analize zamjenskog glasa – *jitter* i *shimmer*

	akustička analiza glasa			
	<i>jitter</i> (%)		<i>shimmer</i> (%)	
	medijan (IQR)	<i>P</i> [†]	medijan (IQR)	<i>P</i> [†]
količina sline				
nema	15,02 (13,42 – 15,8)	0,35	45,77 (36,53 – 59,31)	0,57
malo	12,03 (9 – 14,78)		42,92 (31,95 – 56,71)	
umjereno	11,9 (10,1 – 15,09)		50,85 (36,83 – 72,33)	
dosta	13,71 (11,11 – 15,97)		58,41 (31,67 – 60,85)	
opis sline				
gusta	13,05 (11,22 – 14,51)	0,23	54,63 (38,74 – 63,48)	0,64
rijetka	11,9 (9,13 – 14,94)		43,37 (32,21 – 57,71)	
nema	15,02 (13,42 – 15,8)		45,77 (36,53 – 59,31)	
lokacija sline				
unutar FES-a	12,15 (6,68 – 14,59)	0,74	45,96 (31,45 – 60,85)	0,94
iznad ušća FES-a (n = 1)	11,9 (10,75 – 14,48)		42,67 (32,5 – 57,43)	
ispunjava cijeli FES	15,09 (5,48 – 17,64)		56,05 (23,41 – 87,12)	
vizualizacija FES-a				
vidljiv	12,7 (9,15 – 14,62)	0,04*	43,37 (32,5 – 56,94)	0,35
nevidljiv (n = 1)	16,09		68,8	
djelomično vidljiv	15,31 (11,37 – 17,28)		54,17 (31,88 – 60,29)	
oblik FES-a tijekom otvorene faze				
kružni (cirkularni)	13,66 (11,11 – 15,45)	0,70	43,89 (37,21 – 62,8)	0,68
trokutasti (triangularan)	12,12 (4,71 – 14,23)		38,62 (24,46 – 71,25)	
razdvojen sa strane na stranu	11,9 (9,16 – 15,11)		45,96 (32,11 – 57,5)	
razdvojen naprijed-nazad	13,71 (9,12 – 16,09)		52,27 (40,23 – 68,82)	
lokacija vidljive vibracije				
naprijed-straga	13,71 (11,05 – 15,64)	0,46	46,98 (31,98 – 60,85)	0,90
lijevo-desno	11,63 (6,54 – 14,98)		46,91 (27,08 – 67,73)	
na svim zidovima	13,67 (11,1 – 15,14)		43,73 (36,53 – 53,73)	
prisutnost sluzničkog vala				
jak	13,12 (10,91 – 15,02)	0,28*	43,57 (32,5 – 60,85)	0,38*
slab	13,77 (9,53 – 16,11)		52,58 (40,46 – 58,25)	
pravilnost vibracija				
pravilna	13,7 (11,06 – 15,45)	0,32*	45,87 (34,89 – 59,02)	0,31*
nepravilna	12,15 (7,92 – 14,66)		41,16 (31,46 – 55,99)	
zatvorenost faze				
predominira otvorena faza	11,08 (7,61 – 14,97)	0,12	35,68 (28,19 – 50,26)	0,23
jednako	13,68 (11,11 – 15,11)		45,77 (32,5 – 58,41)	
predominira zatvorena faza	12,27 (8,94 – 15)		42,67 (33,85 – 72,11)	
ne može se procijeniti	17,21 (12,63 – 22,25)		64,5 (43,13 – 62,69)	

FES: faringoezofagealni segment; Ultrabrza videoendoskopija (engl. *High speed videoendoscopy*, HSV); IQR: interkvartilni raspon

*Mann Whitney U test; †Kruskal Wallisov test

‡na razini $P < 0,05$ značajna razlika (vidljiv) vs. (djelomično vidljiv)

5.2.5. Analiza i jednadžbe parametara dobivenih obradom PEAW – analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba računalnom obradom slike

Nakon obrade podataka dobivenih videozapisa snimljenih HSV-om (detaljno opisano u poglavlju 4.3.3.) dobiven je višedimenzionalni vremenski slijed kontrakcija sluznice FES-a u obliku širine otvora segmenta promatranog pod različitim kutovima za svaku sliku vremenskog slijeda videozapisa. Opisanim koracima izražen je pojam PEAW (engl. *pharyngoesophageal area waveform*) koji određuje promjenu FES-a tijekom vremena (tj. otvaranja i zatvaranja vibrirajuće sluznice FES-a). Prikazom valnog oblika PEAW možemo preciznije promatrati faze otvaranja i zatvaranja te određene parametre od interesa koristiti za daljnju korelacijsku analizu.

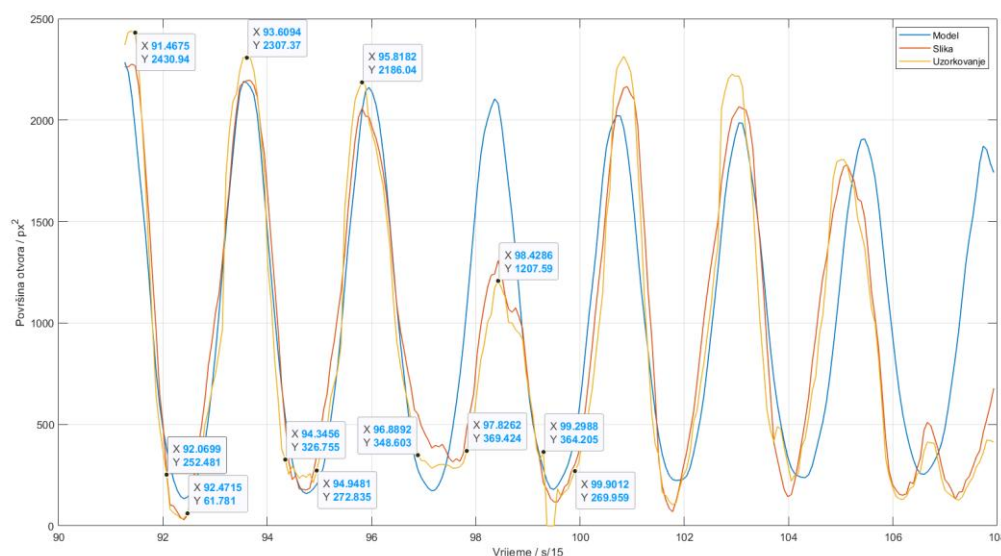
Iz ove faze istraživanja od ukupnog broja ispitanika uključenih u studiju ($n = 55$) isključeno je ukupno 13 ispitanika odnosno učinjenih HSV snimki laringektomiranih osoba. Glavni uzrok isključenja bila je tehnički neadekvatna snimka zbog:

1. FES prenisko/previsoko u odnosu na položaj kamere te posljedično tome FES nije u kadru što daje ne fokusiran snimak i time je nepodoban za daljnju analizu
2. previše sline koja ometa algoritam za obradu slike
3. kraći snimak, a time i nedovoljno otvorenih/zatvorenih perioda ciklusa FES za analizu.

Slika 5.6. pokazuje primjer dobrog valnog oblika PEAW iz HSV snimki. Označene točke predstavljaju maksimalno i minimalno otvaranje FES (Y-vrijednosti – površina otvora; pikseli), vrijeme maksimalnog i minimalnog otvaranja (X-vrijednosti – sekunde) te početak i kraj zatvorene faze (X-vrijednosti – sekunde). Jasno se mogu vidjeti periodične izmjene i razdvojenost faza. Točke na krivulji PEAW označavale su se ručno, a tako označene upisane su u tablicu pomoću kojih su se dalje izražavali ostali parametri. Kao što je ranije spomenuto u poglavlju 4. prikazana su četiri perioda ciklusa otvoreno-zatvoreno, rezolucija videa je 15 sličica u sekundi, odnosno obrađeno je 16,67 sekundi svakog videa. Kod manjeg broja ispitanika zbog loše kvalitete snimke uzeto je manje od 250 slika te je PEAW tada drugačijeg izgleda (Slika 5.7).

Na slikama 5.6. i 5.7. također se mogu vidjeti tri uzastopna valna oblika: plavi valni oblik ili izlaz modela biomehaničkog oscilatora, narančasti valni oblik – identifikacija otvora (FES-a) tijekom vremena dobivena očitavanjem slika i žuti valni oblik kao upotpunjena

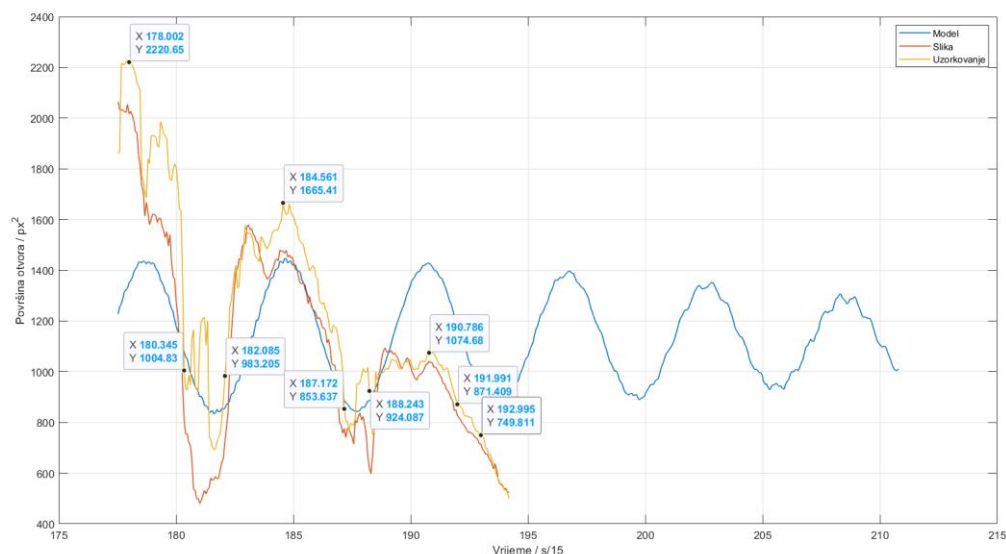
narančasta krivulja znanjem stručnjaka medicinske struke (ručno odabrana točka interesa, engl. *benchmark* otvaranja FES-a) dobivena točkastim uzorkovanjem kao odabirom broja osi i uzimanjem lijevih širina otvora, a zatim izračunom površine tako nastalih poligona, kao što je ranije opisano.



Slika 5.6. Prikaz pravilnog valnog oblika PEAW – otvaranje i zatvaranje vibrirajuće sluznice faringoezofagealnog segmenta tijekom vremena.

Na slici je prikazan primjer pravilnog valnog oblika PEAW (engl. *Pharyngoesophageal area waveform*). Označene točke predstavljaju maksimalno i minimalno otvaranje faringoezofagealnog segmenta (Y-vrijednosti – površina otvora; pikseli), vrijeme maksimalnog i minimalnog otvaranja (X-vrijednosti – sekunde) te početak i kraj zatvorene faze (X-vrijednosti – sekunde). Na slici možemo vidjeti tri uzastopna valna oblika: plavi valni oblik ili izlaz modela biomehaničkog oscilatora, narančasti valni oblik – identifikacija otvora (FES-a) tijekom vremena dobivena očitavanjem slika i žuti valni oblik kao upotpunjena narančasta krivulja znanjem stručnjaka medicinske struke (ručno odabrana točka interesa, engl. *benchmark* otvaranja FES-a) dobivena točkastim uzorkovanjem kao odabirom broja osi i uzimanjem lijevih širina otvora, a zatim izračunom površine tako nastalih poligona. Izvor: autor

Funkcija valnog oblika FES omogućila nam je izračunavanje perioda ciklusa, trajanja otvorene i zatvorene faze (s), osnovne frekvencije (Hz), *mean shimmer* (dB), *relative shimmer* (%), *mean jitter* (s), *relative jitter* (%). Za izračunavanje ovih vrijednosti koristile su se iste formule opisane od strane P. Schlegel et al. u svojim studijama samo primijenjene na FES (92, 93). Parametri se izračunavaju pomoću formula izravno iz akustičnog signala i valnog oblika područja FES-a odnosno PEAW-a.



Slika 5.7. Prikaz lošijeg valnog oblika PEAW – otvaranje i zatvaranje vibrirajuće sluznice faringozofagealnog segmenta tijekom vremena

Na slici je prikazan primjer lošijeg valnog oblika PEAW (engl. *Pharyngoesophageal area waveform*). Označene točke predstavljaju maksimalno i minimalno otvaranje faringozofagealnog segmenta (Y-vrijednosti – površina otvora; pikseli), vrijeme maksimalnog i minimalnog otvaranja (X-vrijednosti – sekunde) te početak i kraj zatvorene faze (X-vrijednosti – sekunde). Na slici možemo vidjeti tri uzastopna valna oblika: plavi valni oblik ili izlaz modela biomehaničkog oscilatora, narančasti valni oblik – identifikacija otvora (FES-a) tijekom vremena dobivena očitavanjem slika i žuti valni oblik kao upotpunjena narančasta krivulja znanjem stručnjaka medicinske struke (ručno odabrana točka interesa, engl. *benchmark* otvaranja FES-a) dobivena točkastim uzorkovanjem kao odabirom broja osi i uzimanjem lijevih širina otvora, a zatim izračunom površine tako nastalih poligona. Izvor: autor.

Prisjetimo se slike 4.6. (poglavlje 4.3.3.) koja prikazuje shematski prikaz za jedan GAW ciklus odnosno početak s otvaranjem glasnica i završetak s kratkim intervalom tijekom kojeg glasnice ostaju zatvorene (92). Ako to primijenimo na PEAW dobivamo parametre pomoću kojih izračunavamo akustičke parametre od interesa.

Za izračunavanje parametara srednje varijacije amplitude (engl. *mean shimmer*) izražene u dB korištena je formula preuzeta iz članka Schlegel et al. (92).

$$\vec{A} = (A_0, \dots, A_{N-1}) \rightarrow \frac{20}{N-1} \sum_{i=0}^{N-2} \left| \log_{10} \frac{A_i}{A_{i+1}} \right| \quad (5-1)$$

Za izračunavanje parametra srednje varijacije perioda (engl. *mean jitter*), izražene u s, korištena je formula preuzeta iz članka Schlegel et al. (92).

$$\vec{T} = (T_0, \dots, T_{N-1}) \rightarrow \frac{\sum_{i=1}^{N-1} |T_i - T_{i-1}|}{N-1}. \quad (5-2)$$

Parametar osnovne frekvencije (eng. *fundamental frequency*), izražene u Hz, izračunat je kao inverzija prosjeka trajanja tri uzastopna perioda pomnožen s frekvencijom ultrabrze videoendoskopije 4000 i podijeljen s rezolucijom dobivenog videozapisa od 15 sličica u sekundi, prema formuli:

$$\vec{f}_0 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N-2} \left| \frac{T_{i-1} + T_i + T_{i+1}}{3} \right|} \frac{4000}{15}. \quad (5-3)$$

Također, moguće je koristiti i kvocijente otvorenosti i zatvorenosti FES-a kao dodatne veličine za usporedbu, redom dane formulama:

$$\bar{T}_{\text{open}}^i = \frac{t_{\text{open}}^i}{T_i}, \quad (5-4)$$

$$\bar{T}_{\text{closed}}^i = \frac{t_{\text{closed}}^i}{T_i}, \quad (5-5)$$

Sljedeći korak je upisivanje rezultata u tablicu te analiza parametara dobivenih PEAW računalnom obradom slike.

Mjere sredine i raspršenja vrijednosti dobivenih PEAW računalnom obradom slike, ukazuju da je fundamentalna frekvencija iznosila 80,76 Hz (interkvartilnog raspona 66,57 – 104,88 Hz). Među izraženim parametrima također možemo vidjeti veliki raspon između minimuma i maksimuma vrijednosti F0 kao i kod akustičke analize traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze lingWAVES programom (Tablica 5.48.).

Tablica 5.48. Mjere sredine i raspršenja parametara dobivenih obradom PEAW – analiza računalnom obradom slike

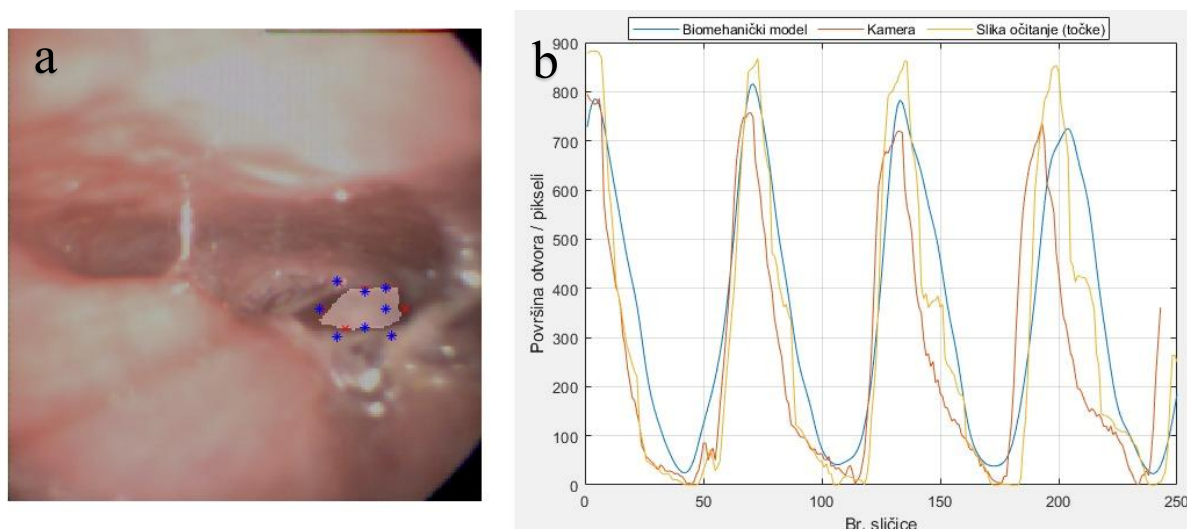
	medijan (interkvartilni raspon)	raspon minimum – maksimum
obrada slike – PEAW		
postotak vremena otvorenosti FES-a (%)	0,69 (0,54 – 0,84)	0,32 – 1
postotak vremena zatvorenosti FES-a (%)	0,33 (0,21 – 0,42)	0,1 – 0,64
<i>shimmer</i> (dB)	1,36 (0,68 – 3,14)	0,16 – 12,27
<i>jitter</i> (s)	0,47 (0,19 – 1,07)	0 – 6,88
<i>shimmer</i> (%)	2,28 (1,15 – 6,27)	0,21 – 35,36
<i>jitter</i> (%)	14,71 (6,69 – 47,34)	0 – 183,56
osnovna frekvencija (Hz)	80,76 (66,57 – 104,88)	45,27 – 186

PEAW (engl. *pharyngoesophageal area waveform, PEAW*); FES: faringozofagealni segment

5.2.6. Analiza i jednadžbe fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba pomoću višemasenog spregnutog biomehaničkog modela

U ovoj fazi istraživanja od ukupnog broja ispitanika koji je uključen u studiju ($n = 55$) isključeno je ukupno njih 11, odnosno HSV snimki laringektomiranih osoba. Glavni uzrok isključenja također bila je tehnički neadekvatna snimka, identično kao što je opisano u prethodnom poglavlju, no za razliku od računalne obrade slike, obrada pomoću višemasenog spregnutog biomehaničkog modela dala je bolje rezultate.

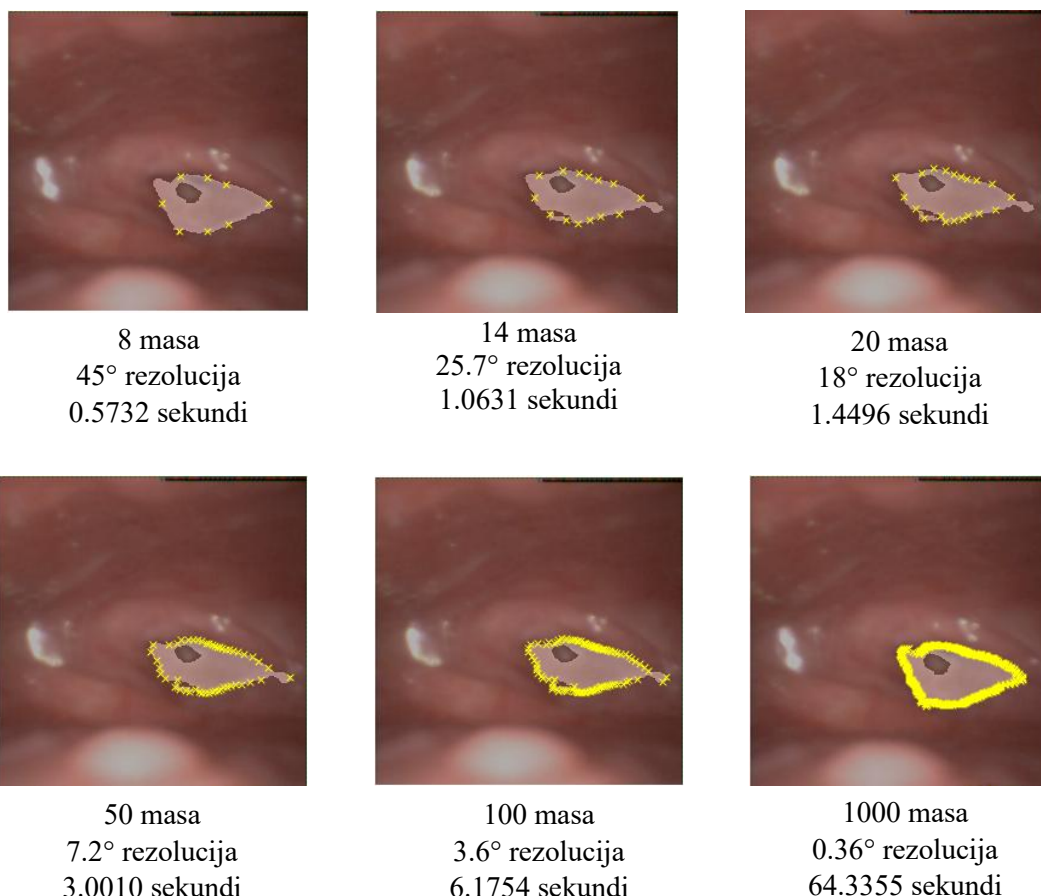
Ako se prisjetimo poglavlja 4.3.4. i opisa obrade pomoću višemasenog spregnutog biomehaničkog modela dobivamo površinu otvora u pikselima. Na slici 5.8. možemo vidjeti postupak stvaranja takvog valnog oblika (detaljno opisan u navedenom poglavlju). Na lijevoj strani slike vidimo FES u trenutku najvećeg otvora koji je odabran iz videa i ručno označen, odnosno izdvojena je točka interesa ili „*benchmark*“ otvaranja FES-a. Bijelo obojena površina je računalni vid, auto-očitavanje slike izraženo je crveno u nekoliko točaka, a plavo je biomehanički model (Kelvinov model s 2D spregom). Na desnoj strani slike prikazana je površina otvora u pikselima za ta tri slučaja. U ovom poglavlju pratimo plavu krivulju odnosno valni oblik višemasenog spregnutog biomehaničkog modela.



Slika 5.8. Višemaseni spregnuti biomehanički model.

Slika prikazuje postupak stvaranja valnog oblika višemasenog spregnutog biomehaničkog modela. Na slici (a) vidimo FES u trenutku najvećeg otvora koji je odabran iz videa i ručno označen, odnosno izdvojena je točka interesa otvaranja FES-a. Bijelo obojena površina na slici (a) je računalni vid. Auto-očitavanje slike izraženo je crveno u nekoliko točaka, a plavo je biomehanički model (Kelvinov model s 2D spregom). Na slici (b) prikazana je površina otvora u pikselima za ta tri slučaja. Plava krivulja prikazuje valni oblik višemasenog spregnutog biomehaničkog modela. Izvor: autor i V. Lešić

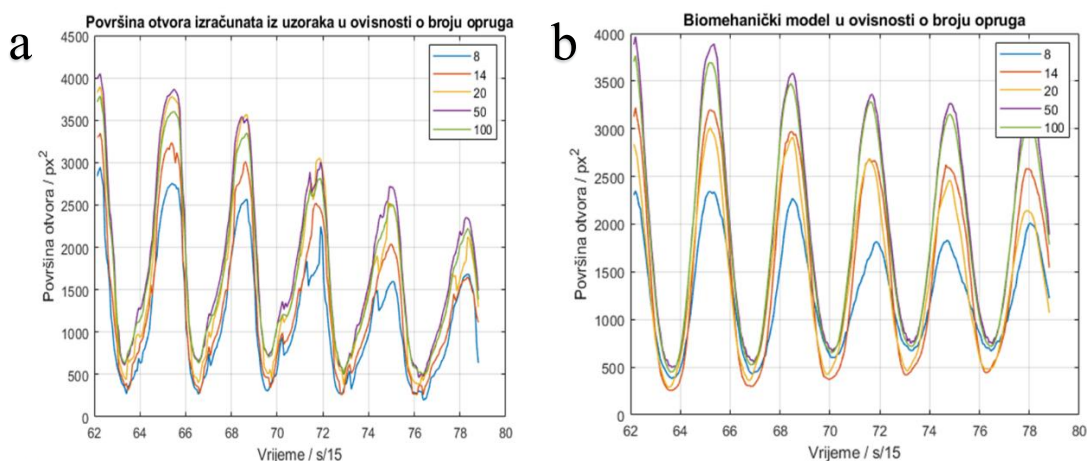
Višemaseni spregnuti biomehanički model koji analizira ne-stacionarne vibracije tkiva promatra se iz perspektive dvodimenzionalnog presjeka FES-a. Svaki element modela ima dominantnu dinamiku pretpostavljenu kao Kelvinov model oscilatora, kojeg čini opruga i prigušni element te sporedne dinamike koje su odabrane kao opruge i modeliraju spregu sa susjednim fleksibilnim segmentima tkiva. Slika 5.9. prikazuje trenutak najvećeg faringoezofagealnog otvora obuhvaćen s različitim brojem jedinica mase (opruga) kao uzoraka. Uz slike je dana rezolucija u obliku kutova te vrijeme potrebno za identifikaciju parametara modela. Na slici je prikazano vrijeme i izračunata površina ako koristimo različiti broj opruga u modelu. Ako koristimo 1000 opruga i prigušnika i sprege između susjednih fleksibilnih tkiva potrebno je duže vrijeme za identifikaciju traženih parametara. U ovom istraživanju koristilo se uglavnom 8 opruga, a za zahtjevnije odnosno nepravilnije oblike FES-a 14 opruga.



Slika 5.9. Faringoezofagealni segment obuhvaćen s različitim brojem jedinica mase (opruga) kao uzoraka.

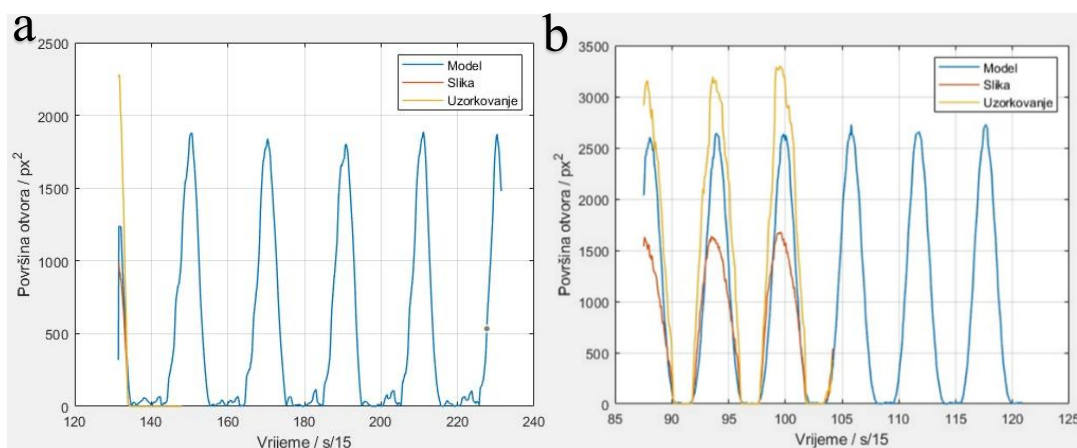
Slika prikazuje trenutak najvećeg faringoezofagealnog otvora obuhvaćen s različitim brojem jedinica mase (opruga) kao uzoraka. Na slici je prikazano vrijeme i izračunata površina ako koristimo različiti broj opruga u modelu. Izvor: autor i V. Lešić

Prednosti biomehaničkog modela naspram identifikacije otvora dobivene samo očitanjem slika vidljiva su na slikama 5.10. i 5.11. Prikaz površine otvora FES-a iz uzorka (HSV snimka) i pomoću biomehaničkog modela u ovisnosti o broju opruga i točnosti samih izračuna parametara prikazani su na slici 5.10. Bojama su prikazane količine opruga koje se mogu koristiti (8, 14, 20, 50, 100 opruga). Jasno je vidljiva pravilnost i ujednačenost vala kod modela naspram samo računalne obrade slike. Slika 5.11. prikazuje bolju iskoristivost parametara biomehaničkog modela nego što se uspjelo postići računalnom obradom slike. Jasno je prikazana prednost biomehaničkog modela kada je videosnimak neiskoristiv (lijevo) ili kada je snimak dobar, ali ima nedovoljno faza otvoreno/zatvoreno za izračun željenih parametara (desno).



Slika 5.10. Prikaz površine otvora faringoezofagealnog segmenta iz uzorka (a) i pomoću biomehaničkog modela (b).

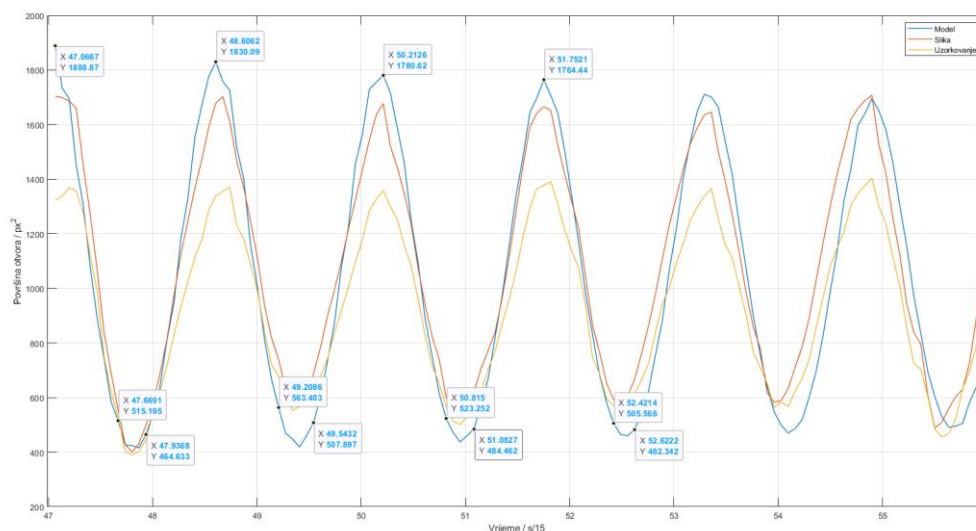
Prikaz površine otvora FES-a iz uzorka (HSV snimka) i pomoću biomehaničkog modela u ovisnosti o broju opruga. Bojama su prikazane količine opruga koje se mogu koristiti (8, 14, 20, 50, 100 opruga). Jasno je vidljiva pravilnost i ujednačenost vala kod modela (b) naspram samo računalne obrade slike (a). Izvor: autor i V. Lešić



Slika 5.11. Prikaz bolje iskoristivosti parametara za korelaciju između biomehaničkog modela i računalne obrade slike.

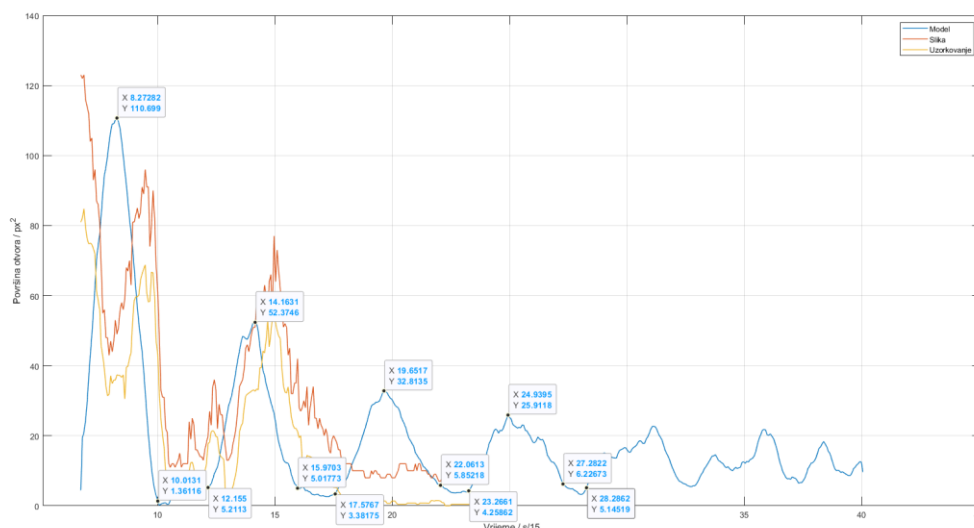
Prednost biomehaničkog modela pomoću kojega uspijevamo dobiti parametre za korelaciju kada je video snimak neiskoristiv (a) ili kada je dobar, ali ima nedovoljno faza otvoreno/zatvoreno za izračun željenih parametara (b). Valni oblik ili izlaz modela biomehaničkog oscilatora označen je plavom bojom, narančasti valni oblik – identifikacija otvora (FES-a) tijekom vremena dobivena očitavanjem slike i žuti valni oblik kao upotpunjena narančasta krivulja znanjem stručnjaka medicinske struke (ručno odabrana točka interesa, engl. *benchmark* otvaranja FES-a). Izvor: autor

Slika 5.12. prikazuje primjer pravilne površine faringoezofagealnog otvora dobivenog iz biomehaničkog modela, a slika 5.13 prikaz lošijeg valnog oblika PEAW dobivenog računalnom obradom slike i superiornije krivulje površine FES-a dobivenog biomehaničkim modelom. U ovom poglavlju pratimo plavi valni oblik koji označava krivulju biomehaničkog modela. Označene točke označavaju se i znače isto kao i kod izračunavanja računalne obrade slike i predstavljaju maksimalno i minimalno otvaranje FES-a (Y-vrijednosti – površina otvora; pikseli), vrijeme maksimalnog i minimalnog otvaranja (X-vrijednosti – sekunde) te početak i kraj zatvorene faze (X-vrijednosti – sekunde). Jasno se mogu vidjeti periodične izmjene i razdvojenost faza. Točke se također označavaju ručno, i unose za to posebno osmišljenu tablicu. Za izračunavanje željenih parametara, trajanja otvorene i zatvorene faze (%), osnovne frekvencije (Hz), *mean shimmer* (dB), *relative shimmer* (%), *mean jitter* (s), *relative jitter* (%) korištene su iste formule opisane u poglavlju 5.2.5. koji su ranije opisane u istraživanju P. Schlegel et al. samo primijenjene na FES (92, 93).



Slika 5.12. Primjer pravilne površine faringoezofagealnog otvora dobivenog iz biomehaničkog modela.

Označene točke na slici predstavljaju maksimalno i minimalno otvaranje faringoezofagealnog segmenta (Y-vrijednosti – površina otvora; pikseli), vrijeme maksimalnog i minimalnog otvaranja (X-vrijednosti – sekunde) te početak i kraj zatvorene faze (X-vrijednosti – sekunde). Na slici možemo vidjeti tri uzastopna valna oblika: plavi valni oblik ili izlaz modela biomehaničkog oscilatora, narančasti valni oblik – identifikacija otvora (FES-a) tijekom vremena dobivena očitavanjem slike i žuti valni oblik kao upotpunjena narančasta krivulja znanjem stručnjaka medicinske struke (ručno odabrana točka interesa, engl. benchmark otvaranja FES-a) dobivena točkastim uzorkovanjem kao odabirom broja osi i uzimanjem lijevih širina otvora, a zatim izračunom površine tako nastalih poligona. Na slici se mogu vidjeti periodične izmjene i jasna razdvojenost faza. Izvor: autor.



Slika 5.13. Prikaz lošijeg valnog oblika PEAW dobivenog računalnom obradom slike i superiornije krivulje površine FES dobivenog biomehaničkim modelom.

Slika prikazuje valni oblik PEAW (engl. *Pharyngoesophageal area waveform*) dobivenog računalnom obradom slike (narančasta krivulja) i superiornije krivulje površine FES-a dobivenog biomehaničkim modelom (plava krivulja). Označene točke predstavljaju maksimalno i minimalno otvaranje FES (Y-vrijednosti – površina otvora; pikseli), vrijeme maksimalnog i minimalnog otvaranja (X-vrijednosti – sekunde) te početak i kraj zatvorene faze (X-vrijednosti – sekunde). Izvor: autor.

Mjere sredine i raspršenja podataka dobivenih obradom višemasenim spregnutim biomehaničkim modelom prikazani su u tablici 5.49.

Tablica 5.49. Mjere sredine i raspršenja parametara fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba dobivenih višemasenim spregnutim biomehaničkim modelom

	medijan (interkvartilni raspon)	raspon minimum – maksimum
višemaseni spregnuti biomehanički model		
postotak vremena otvorenosti FES-a (%)	0,77 (0,68 – 0,83)	0,44 – 0,9
postotak vremena zatvorenosti FES-a (%)	0,36 (0,33 – 0,42)	0,21 – 0,56
shimmer (dB)	0,63 (0,36 – 1,24)	0,01 – 6,08
jitter (s)	0,1 (0,07 – 0,19)	0 – 1,03
shimmer (%)	0,99 (0,64 – 2,16)	0,01 – 18,93
jitter (%)	2,94 (1,55 – 4,98)	0 – 18,75
osnovna frekvencija (Hz)	81,37 (59,17 – 102,09)	13,07 – 186

FES: faringoezofagealni segment

5.2.7. Povezanost parametara dobivenih računalnom obradom slike (PEAW) i višemasenog spregnutog biomehaničkog modela

Najveća povezanost parametara dobivenih jednadžbama ekstrahiranih iz računalne obrade slike i višemasenog spregnutog biomehaničkog modela uočava se u postotku otvorenosti FES-a (Spearmanov koeficijent korelacije $Rho = 0,541$) i parametra *shimmer* (dB) (Spearmanov koeficijent korelacije $Rho = 0,493$) (Tablica 5.50.).

Tablica 5.50. Povezanost dobivenih parametara PEAW i višemasenog spregnutog biomehaničkog modela (otvorenost/zatvorenost FES, *shimmer* (dB), *jitter* (s))

višemaseni spregnuti biomehanički model	Spearmanov koeficijent korelacije Rho (P vrijednost)			
	PEAW			
	postotak vremena otvorenosti FES	postotak vremena zatvorenosti FES	<i>shimmer</i> (dB)	<i>jitter</i> (s)
% vremena otvorenosti FES (%)	0,541 (< 0,001)	0,265 (0,09)	- 0,049 (0,77)	0,09 (0,57)
% vremena zatvorenosti FES (%)	0,305 (0,05)	0,214 (0,17)	0,09 (0,58)	0,220 (0,16)
<i>shimmer</i> (dB)	0,057 (0,72)	- 0,01 (0,95)	0,384 (0,01)	0,202 (0,20)
<i>jitter</i> (s)	0,196 (0,21)	0,272 (0,08)	0,279 (0,08)	0,112 (0,48)
<i>shimmer</i> (%)	- 0,001 (0,99)	- 0,015 (0,93)	0,493 (< 0,001)	0,216 (0,17)
<i>jitter</i> (%)	0,197 (0,21)	0,234 (0,14)	0,370 (0,02)	0,031 (0,84)
osnovna frekvencija (Hz)	0,001 (> 0,99)	- 0,214 (0,17)	0,166 (0,31)	- 0,290 (0,06)

PEAW (engl. *pharyngoesophageal area waveform*); FES: faringoezofagealni segment

Značajna je i jaka pozitivna veza osnovne frekvencije dobivene pomoću višemasenog modela i računalne obrade slike (Spearmanov koeficijent korelacije $Rho = 0,973$) (Tablica 5.51.).

Tablica 5.51. Povezanost PEAW parametara i parametara višemasenog spregnutog biomehaničkog modela (*shimmer* %, *jitter* %, osnovna frekvencija)

višemaseni spregnuti biomehanički model	Spearmanov koeficijent korelacije Rho (P vrijednost)		
	PEAW		
	<i>shimmer</i> (%)	<i>jitter</i> (%)	osnovna frekvencija
postotak vremena otvorenosti FES (%)	- 0,031 (0,85)	0,137 (0,39)	0,246 (0,12)
postotak vremena zatvorenosti FES (%)	0,122 (0,46)	0,246 (0,12)	0,119 (0,45)
<i>shimmer</i> (dB)	0,366 (0,02)	0,182 (0,25)	0,075 (0,64)
<i>jitter</i> (s)	0,290 (0,07)	0,027 (0,86)	- 0,333 (0,03)
<i>shimmer</i> (%)	0,498 (< 0,001)	0,208 (0,19)	0,103 (0,52)
<i>jitter</i> (%)	0,393 (0,01)	- 0,003 (0,99)	- 0,022 (0,89)
osnovna frekvencija (Hz)	0,203 (0,21)	- 0,106 (0,50)	0,973 (< 0,001)

PEAW (engl. *pharyngoesophageal area waveform*); FES: faringoezofagealni segment

5.2.8. Povezanost računalne obrade slike (PEAW) i višemasenog spregnutog biomehaničkog modela te akustičkog zapisa traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze akustičnim programom lingWAVES

Analizom povezanosti parametara PEAW-a dobivenih iz računalne obrade slike i parametara akustičke analize traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze uočena je značajna povezanost glasnoće glasa i parametra *shimmer* (Spearmanov koeficijent korelacije $Rho = 0,324$). Među ostalim vrijednostima nije nađena značajna povezanost, kao niti između akustičkih vrijednosti dobivenih programom lingWAVES i F0 izračunatog pomoću jednadžbi iz računalne obrade slike (Tablica 5.52., Tablica 5.53).

Tablica 5.52. Povezanost parametara PEAW dobivenih računalnom obradom slike i akustičkog zapisa traheoezofagealnog glasa s govornom protezom

akustička analiza	Spearmanov koeficijent korelacije Rho (P vrijednost)			
	PEAW			
	postotak vremena otvorenosti FES	postotak vremena zatvorenosti FES	<i>shimmer</i> (%)	<i>jitter</i> (%)
frekvencija fonacije (Hz)	0,135 (0,39)	- 0,217 (0,17)	0,259 (0,11)	0,025 (0,88)
glasnoća fonacije (dB)	0,192 (0,22)	0,125 (0,43)	0,324 (0,04)	- 0,074 (0,64)
<i>jitter</i> %	0,114 (0,47)	0,125 (0,43)	0,075 (0,65)	0,121 (0,44)
<i>shimmer</i> %	0,084 (0,60)	0,185 (0,24)	0,106 (0,52)	0,055 (0,73)

PEAW (engl. *pharyngoesophageal area waveform*); FES:f aringoezofagealni segment

Tablica 5.53. Povezanost parametara PEAW dobivenih računalnom obradom slike i akustičkog zapisa traheoezofagealnog glasa s govornom protezom – osnovna frekvencija

akustička analiza	Spearmanov koeficijent korelacije Rho (P vrijednost) PEAW
	osnovna frekvencija (F0)
frekvencija fonacije (Hz)	0,191 (0,23)
glasnoća fonacije (dB)	0,125 (0,43)
<i>jitter</i> (%)	0,018 (0,91)
<i>shimmer</i> (%)	- 0,178 (0,26)

PEAW (engl. *pharyngoesophageal area waveform*)

Analizom povezanosti parametara dobivenih pomoću višemasenog spregnutog biomehaničkog modela i parametara akustičke analize traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze uočena je značajna povezanost frekvencije fonacije ispitanika i parametra *shimmer* (Spearmanov koeficijent korelacije Rho = 0,304). Nije nađena značajna povezanost između akustičkih vrijednosti dobivenih programom lingWAVES i F0 dobivenih jednadžbama izračunatih iz višemasenog spregnutog biomehaničkog modela (Tablica 5.54., Tablica 5.55.)

Tablica 5.54. Povezanost parametara dobivenih višemasenim spregnutim biomehaničkim modelom i akustičkog zapisa traheozofagealnog glasa s govornom protezom

akustička analiza	Spearmanov koeficijent korelacije Rho (P vrijednost) višemaseni spregnuti biomehanički model			
	postotak vremena otvorenosti FES	postotak vremena zatvorenosti FES	<i>shimmer</i> (%)	<i>jitter</i> (%)
frekvencija fonacije (Hz)	0,195 (0,20)	0,198 (0,20)	0,304 (0,04)	- 0,130 (0,40)
glasnoća fonacije (dB)	0,015 (0,92)	- 0,148 (0,34)	0,184 (0,23)	0,083 (0,59)
<i>jitter</i> (%)	0,139 (0,37)	0,012 (0,94)	- 0,111 (0,47)	- 0,221 (0,15)
<i>shimmer</i> (%)	- 0,066 (0,67)	- 0,078 (0,62)	- 0,106 (0,49)	- 0,181 (0,24)

FES: faringozofagealni segment

Tablica. 5.55. Povezanost parametara dobivenih višemasenim spregnutim biomehaničkim modelom i akustičkog zapisa traheozofagealnog glasa s govornom protezom – osnovna frekvencija

akustička analiza	Spearmanov koeficijent korelacije Rho (P vrijednost) višemaseni spregnuti biomehanički model	
	osnovna frekvencija (F0)	
frekvencija fonacije (Hz)	0,176 (0,25)	
glasnoća fonacije (dB)	0,161 (0,30)	
<i>jitter</i> (%)	- 0,058 (0,71)	
<i>shimmer</i> (%)	- 0,270 (0,08)	

6. RASPRAVA

6.1. Međukulturalna adaptacija upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba na hrvatski jezik

Gordon W. Blood 1993. godine formira SECEL upitnik kao odgovor na potrebu za instrumentom pomoću kojeg možemo procijeniti svakodnevnu prilagodbu bolesnika na svoj novi glas nakon učinjene totalne laringektomije (55). Pomoću upitnika možemo razlikovati bolesnike koji se prilagođavaju i dobro vladaju novim načinom komunikacije što je zapravo vrlo bitno postoperativno pitanje kada raspravljamo o kvaliteti života nakon učinjenog operativnog zahvata. Potreba za ovakvom vrstom probirnog instrumenta pokazala se i u Hrvatskoj. U ovom dijelu istraživanja ispitana je međukulturalna prilagodba i validacija hrvatske verzije upitnika (SECEL:HR) na ispitanicima s učinjenom totalnom laringektomijom. Također je ispitan odnos između SECEL:HR upitnika i VHI upitnika odnosno indeksa vokalnog oštećenja te odnos s upitnikom SF-36 koji procjenjuje opći utjecaj zdravlja na kvalitetu života. U istom dijelu istraživanja uspoređeni su i rezultati SECEL:HR upitnika kod bolesnika koji se služe traheoezofagealnim glasom pomoću govorne proteze, ezofagealnim glasom i glasom pomoću elektrolarinksa kako bi imali bolji uvid ima li vrsta zamjenskog glasa utjecaj na stupanj prilagodbe komunikacije.

Hrvatska verzija SECEL upitnika razvijena je u skladu sa smjernicama za međukulturalnu prilagodbu i sukladna je s izvornom SECEL verzijom i drugim prevedenim verzijama u formatu, sadržaju i sustavu bodovanja (54, 55, 57, 59, 101, 102). Što se tiče prijevoda, hrvatska verzija prati izvornu verziju na engleskom jeziku, osim u česticama 18-24 koje su jezično i sintaktički strukturno prilagođeni našem govornom području. Koristile su se kraće izjavne rečenice, a ne upitne kao u originalnoj verziji, ali konceptualno su iste. Sljedeća razlika od izvornog oblika odnosi se na prvi dio upitnika u kojem ispitujemo opće podatke o osobi koja ispunjava upitnik. Isključena je stavka koja je ispitivala rasu ispitanika s obzirom da je većinsko stanovništvo u Hrvatskoj bijele rase. Karakteristike ispitanika slične su populacijama u drugim SECEL validacijskim studijima (većinom oženjeni i umirovljeni muškarci prosječne dobi između 63 i 72 godina). U trenutno istraživanje uključeni su ispitanici (n = 50) kojima je učinjeno totalno odstranjenje grkljana radi očuvanja homogenosti skupine.

Jednake skupine u svojim istraživanjima imala su i novija validacijska istraživanja SECEL upitnika (španjolska i bahasa malajska verzija) za razliku od talijanske i portugalske koje su uključivale i ispitanike sa učinjenom djelomičnom laringektomijom (54, 57, 101 – 103). Svi su ispitanici uključeni u istraživanje u potpunosti samostalno ispunili upitnike, sugerirajući da su razumjeli postavljena pitanja, a prema tome može se zaključiti da SECEL:HR nije težak upitnik, lako se primjenjuje i za njegovo je ispunjavanje dovoljno 15 minuta, što zapravo odgovora i rezultatima ranije navedenih drugih validacijskih studija. U istraživanju je sudjelovalo najviše traheoezofagealnih govornika pomoću govorne proteze ($n = 31$) za razliku od ostalih naučenih metoda zamjenskog glasa i govora (ezofagealni $n = 11$, glas pomoću elektrolarinksa $n = 8$). Tako visoka stopa zastupljenosti jedne grupe može predstavljati potencijalno ograničenje i implicirati nedostatak generaliziranosti.

Unutarnja dosljednost i pouzdanost testa – ponovljenog testa pokazali su se visokim za većinu podskala, a pozitivna korelacija između upitnika SECEL:HR i VHI te SF-36 upitnika ukazuje na dobru istodobnu valjanost. Unutarnji koeficijent korelacije ukupne podskale SECEL:HR upitnika (ICC 0,89) i podskala okoline (ICC 0,89) i stavova (ICC 0,842) predstavljaju zadovoljavajuće vrijednosti (ICC $> 0,70$), za razliku od opće podskale koja to nije uspjela zadovoljiti. Koeficijent unutarnje pouzdanosti Cronbach α za ukupni rezultat iznosi 0,892, a za podskalu okoline i stavova također preko 0,8 što se smatra zadovoljavajućim rezultatom pouzdanosti. SECEL upitnik pokazao je dobru unutarnju koherentnost za ukupni rezultat u svim do sada provedenim studijama. Izvorno istraživanje provedeno u Sjedinjenim Američkim Državama pokazalo je vrijednosti Cronbach α 0,91, talijansko istraživanje Cronbach α 0,84, a španjolsko 0,91. Validacija upitnika u Poljskoj kao zadnji validirani upitnik iznosila je 0,92 (54, 55, 102, 104). Za razliku od navedenih rezultata Cronbach α za opću podskalu iznosi tek 0,409, a to se smatra lošom vrijednosti (unutarnja konzistentnost SECEL:HR opće podskale nije uspjela premašiti razinu od 0,70 koja je preporučena za grupne usporedbe). Dobiveni rezultati slični su onima koji su učinjeni u drugim provedenim studijama. Tako Schindler i sur. prijavljuju Cronbach α za opću podskalu 0,58, Guimaraes i sur. 0,45, Mohd Shakri N i sur. dobivaju Cronbach α 0,58 (54, 59, 101). Schindler i sur. u svom istraživanju navode da razlog za takav rezultat može biti povezan s ograničenim brojem čestica u općoj podskali (samo 5), i upravo iz tog razloga Villanueva i sur. prilagođavaju španjolsku verziju upitnika u donosu na originalnu verziju (102). Španjolska se verzija sastoji iz 21 čestice odvojene u dvije podskale umjesto na tri te su pomoću toga dobili bolje vrijednosti koeficijenata

unutarnje povezanosti podskala (102). SECEL:HR rezultati dobiveni u test/ponovljeni test (engl. *test/re-test*) u skladu su s onima koje su objavili Schindler i sur. uz samo neznatnu razliku u podskali stavova (r 0,664) i općoj podskali (r 0,609) (r (P value)). I-SECEL upitnik (talijanska validacija upitnika) izvijestila je u svom istraživanju o visokoj ponovljivosti na podskali stavova (r 0,71) i općoj podskali (r 0,67) (54). Slične rezultate SECEL:HR upitniku prijavljuju Guimaraes et al. u portugalskoj verziji upitnika (EP-SECEL), a kao moguće odstupanje navode korištenu veličinu uzorka korištenu u ispitivanju, samo 25 ispitanika u studiji EP-SECEL i 50 u studiji SECEL:HR u usporedbi s 80 ispitanika u studiji I-SECEL ili 101 ispitanik u S-SECEL (španjolska verzija upitnika) (59, 102).

SF-36 koristan je upitnik koji se u Hrvatskoj široko koristi kao upitnik zdravstvenog statusa i procjene individualne percepcije kvalitete života pojedinca. Većina rezultata podskala upitnika SF-36 u obrnutoj je korelaciji s podskalom stavova i podskalom okoline SECEL:HR upitnika. Najjača korelacija pronađena je s podskalom SF-SF (SF-36: socijalno funkcioniranje), dok su samo umjerene korelacije pronađene između SECEL:HR i preostalih ljestvica SF-36. Ovakvi rezultati ne iznenađuju jer oni pokazuju da SECEL upitnik prvenstveno procjenjuje učinke percipirane disfunkcije socijalne komunikacije, a ne percepcije općeg zdravlja povezane s težinom osnovne bolesti.

U Hrvatskoj se i dalje hrvatska verzija VHI upitnika koristi kao instrument prilikom samoprocjene glasovnih poremećaja i kvalitete života kod disfoničnih bolesnika pa tako i kod bolesnika kojima je odstranjen grkljan, a te dvije skupine bolesnika teško je uspoređivati (87). Do sada samo je nekolicina stranih studija izvijestila o VHI podacima za laringektomirane i istražila odnos između VHI i njihove kvalitete života (105, 106). Pri tome su istaknuli kako VHI rezultat ne pokriva sve probleme s kojima se laringektomirani susreću u svakodnevnim govornim situacijama (106). U ovom istraživanju VHI upitnik korišten je radi usporedbe povezanosti između odgovora u upitniku SECEL i dostupnog upitnika za samoprocjenu vokalnih teškoća. Aritmetička sredina VHI ukupno za ispitanike ove studije iznosi $35,86 \pm$ (SD) 19,9, raspon 1 – 84, što se također podudara s rezultatima drugih provedenih istraživanja (54). Uspoređujući podskale VHI upitnika i SECEL:HR upitnika može se vidjeti da je u trenutnom istraživanju najveća korelacija utvrđena s funkcionalnom podskalom, a najmanja s emocionalnom podskalom. Prema ovim statističkim rezultatima može se zaključiti kako je SECEL:HR upitnik više prilagođen i posebno informativan za razliku od VHI upitnika za

samoprocjenu komunikacije. Rezultate trenutnog istraživanja potkrepljuju i podatci u ranije provedenim međukulturnim adaptacijama SECEL upitnika u drugim zemljama (54, 56, 59, 101 – 104).

Nakon uvođenja postupka formiranja TEF i postavljanja govorne proteze krajem prošlog stoljeća traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze predstavlja zlatni standard u rehabilitaciji bolesnika nakon totalnog odstranjenja grkljana te je među ORL specijalistima i logopedima uvriježeno mišljenje o prednosti i boljem svladavanju prepreka komunikacije u odnosu na druge dvije tehnike rehabilitacije zamjenskog glasa. Do danas su provedena mnoga istraživanja koja su se bavila ezofagealnim glasom i pokazano je da sama tehnika stvaranja ezofagealnog glasa i govora može pokazati ograničenije što zapravo rezultira smanjenom razumljivošću govora (107). MVF i oralna DDK objektivna su mjerenja glasa koja se naširoko koriste za identifikaciju i isključivanje laringektomiranih bolesnika s respiratornim i artikulacijskim poremećajima. U ovom dijelu istraživanja aritmetička sredina MVF je 8,55 (SD 4,2, raspon 2 – 19), a oralna DDK je 8,94 (SD 2,0, raspon 6 – 14). DDK u ovom istraživanju umjereno inverzno korelira sa rezultatima SECEL:HR ukupno. Ovi nalazi su posebno zanimljivi zbog aerodinamičkih promjena u laringektomiranih govornika i ne čudi da postoji recipročan utjecaj između artikulacijskih distorzija koje utječu na razumljivost govora i komunikacijsku disfunkciju. Prema Pearsonovom koeficijentu korelacije r (P value) u rasponu $P < 0,05$ također postoje značajne razlike između tri ispitivane vrste rehabilitacije glasa i MVF i DDK.

Prema originalnom istraživanju SECEL upitnika na 102 ispitanika Gordon W. Blood potvrđuje kako 77 % ($n = 78$) njegovih ispitanika pripada skupini dobro prilagođenih, dok je 23 % ($n = 24$) ispitanika u skupini loše prilagođenih svom zamjenskom glasu i potrebno im je daljnje savjetovanje (55). Slične rezultate prijavljuje i istraživanje Mohd Shakri i sur. sa 78,3 % ($n = 78$) dobro prilagođenih ispitanika (101). Rezultati u pripremnom dijelu istraživanja postavljaju ispitanike u skupinu dobro prilagođenih s visokih 98 % ($n = 49$) što se znatno razlikuje od dobivenih rezultata u navedenim studijama. Na temelju iskustva u Republici Hrvatskoj, dobra prilagodba može biti posljedica odlične postoperativne skrbi koja se provodi u našim centrima od redovnih postoperativnih kontrola, kontinuiranog savjetovanja i logopedске podrške, psihološkog savjetovanja i socijalne podrške preko klubova laringektomiranih što kroničnim bolesnicima može pridonijeti bržem oporavku i pozitivnijoj

rehabilitaciji i ponovnim uključivanjem u društvo. Drugi razlog za tako dobre rezultate je sigurno i jedan od odabranih kriterija uključivanja u studiju odnosno laringektomirani ispitanici koji su završili onkološko liječenje godinu dana prije uključivanja u studiju, za razliku od tri mjeseca u spomenutoj studiji Mohd Shakri i sur. gdje još traje rehabilitacija i zamjenski glas možda nije svladan (101).

Rezultati istraživanja također pokazuju kako ispitanici koji se služe digitalnim mehaničkim pomagalom ili elektrolarinksom imaju nižu kvalitetu glasa, češće se žale na bol, te prijavljuju češću fizičku i emocionalnu slabost u usporedbi s pacijentima s ezofagealnim ili traheoezofagealnim glasom pomoću govorne proteze. Uspoređujući rezultate ispitanika koji su koristili ezofagealni, traheoezofagealni glas ili elektrolarinks te SECEL: HR, VHI i SF-36 upitnika, nismo pronašli statističku značajnost.

6.2. Analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba ultrabrzom videoendoskopijom i primjenom biomehaničkog modela

Unatoč velikom napretku tehnologije u medicini, gibanje sluznice FES-a i dalje je velika nepoznanica. Glas i govor laringektomiranih osoba je izrazito nestabilan, s velikim varijacijama u frekvencijama, s izrazitim aperiodičnim valom što ga čini vrlo nepovoljnim za proučavanje. U prošlom stoljeću FES promatrao se najviše transnazalnom fiberendoskopijom, videofloroskopijom i sredinom 90-tih godina videostroboskopijom (108 – 110). Nažalost, većina istraživanja ističu snimke loše kvalitete i nemogućnost donošenja jasnih zaključaka zbog nepovoljnih karakteristika, odnosno aperiodičnosti gibanja i nestabilnosti osnovne frekvencije.

6.2.1. Karakteristike fonatornog gibanja sluznice faringoezofagealnog segmenta analizom videosnimki dobivenih ultrabrzom videoendoskopijom

Prvi puta u svjetskoj literaturi primjenjivost HSV u proučavanju karakteristika FES-a u bolesnika nakon totalne laringektomije pružili su nam van As i sur. u nizu svojih istraživanja u razdoblju od 1999. do 2005. godine (18, 75, 76). Pružili su nam realne vizualne informacije te razvili standardizirani obrazac za opisivanje karakteristika FES-a. Od tada većih istraživanja na

novijim HSV sustavima, sa slikama u boji, većih rezolucija i veće snage svjetlosti, u proteklih 25 godina, u proučavanju karakteristika oblika i vibracija na laringektomiranim osobama ima vrlo malo. Vođeni navedenim postupcima u proučavanju FES-a, u ovom dijelu istraživanja opisane su karakteristike na 55 laringektomiranih osoba, a dobivene snimke korištene su u sljedećim fazama istraživanja i proučavanja FES-a primjenom biomehaničkog modela.

U istraživanju je obuhvaćeno 55 ispitanika, ali kako je već ranije napomenuto nisu svi ispitanici sudjelovali u svakom dijelu studije. Opis karakteristika FES-a analizom videosnimki dobivenih HSV-om provedeno je na ukupnom broju ispitanika. Sudjelovalo je više ispitanika muškog spola, no broj ispitanica ($n = 8$, 14%) može se smatrati reprezentativnim i u skladu je s stopom incidencije oboljelih od karcinoma grkljana (više muškaraca u odnosu na žene) prema godišnjem izvješću Registra za rak (2).

Prilikom analize snimaka, procjena suradljivosti ispitanika je bila visoka, a postizanje adekvatnog prikaza karakterizirano je kao dobra u 38 ispitanika (69 %) s jasno vidljivim FES-om u 42 ispitanika (76 %) u odnosu na pojam umjerene vizualizacije u 19 ispitanika (34 %) i loše kod samo jednog ispitanika (2 %). Dobiveni su podaci bolji u odnosu na istraživanje van As i sur. koji opisuju samo 22 snimka od učinjenih 44 kao dobra, vjerojatno uslijed slabijeg kapaciteta same HSV (128 x 128 piksela, crno/bijele kvalitete s 2000 slika u sekundi, u odnosu na naš noviji sustav od 4000 slika u sekundi, rezolucije slike 256×256 piksela i slikama u boji) (18). Proučavanjem anatomskih i morfoloških karakteristika fokus je postavljen na opis prisutne sline, mjestu vidljive vibracije i pravilnosti, oblika FES-a i vibriranja sluznice tijekom otvorene faze, prisutnosti sluzničkog vala sluznice. U istraživanju van As i sur. opisan je snažan val vibracija kod većine ispitanika koja se najviše pojavljivala na svim zidovima, s najčešćim oblikom FES-a – razdvojen sa strane na stranu (engl. *split side to side*) (18). Za razliku od van As i sur. 2004. godine provedena je manja studija koja je za promatranje FES-a koristila fleksibilnu endoskopiju spojenu na *high-speed* digitalni sistem i koja opisuje najčešće vibracije FES-a u području stražnje stijenke (111). Nažalost, u navedenoj su studiji sudjelovala samo četiri ispitanika što je nedovoljno i zahtjeva daljnja istraživanja, a što i sami autori naglašavaju. U ovom istraživanju nalazimo jaki sluznički val u najvećem postotku, a najčešći oblik FES-a tijekom otvorene faze razdvojeni je oblik sa strane na stranu ($n = 23$, 42 %) što se slaže s rezultatima van As i sur. Drugi po zastupljenosti oblika FES-a u ovom istraživanju bio je kružni oblik ($n = 21$, 38 %), zatim oblik razdvojen naprijed-nazad ($n = 7$, 13 %) i kod četiri ispitanika

(7 %) trokutasti (triangularni) oblik. Iregularni oblik FES-a i pojam „ne može se procijeniti“ koje opisuju van As i sur. u ovom istraživanju nije pronađen. Također, prilikom promatranja same lokacije vidljive vibracije sa šest različito opisanih pojmova prema van As i sur. (naprijed, nazad, lateralno, na 2 – 3 zida, svim zidovima i ne može se procijeniti) u ovom istraživanju za opis mjesta vidljive vibracije koristila su se četiri pojma, a to su: pretežno mjesto vibracije nalazi se naprijed-straga, lijevo-desno, na svim zidovima i ne može se procijeniti. Za tu odluku odlučili smo se prilikom promatranja samih vibracija po kojima je teško okarakterizirati vibraciju samo naprijed ili nazad već kao val koji se širi po zidu FES-a. U ovom istraživanju u najvećem postotku mjesto vidljive vibracije bilo je na svim zidovima ($n = 22$, 40 %), a zatim naprijed-straga ($n = 21$, 38 %), te u nešto manjem broju ispitanika lijevo-desno ($n = 12$, 22 %). Nije opisano niti u jednom slučaju da se mjesto vidljive vibracije ne može procijeniti. Većinom su vibracije opisane kao pravilne ($n = 42$, 76 %) što se razlikuje od rezultata van As i sur. koji ipak opisuju u najvećem postotku nepravilne vibracije. Jedan od mogućih razloga pravilnijih vibracija i boljih rezultata je vjerojatno sama bolja tehnika HSV sustava tj. bolja rezolucija slike koja nam je omogućila bolje očitavanje.

Proučavanje prisutne sline bazirano je na opisu njezine lokacije i gustoće. Navedeni podatak pokazao se izrazito bitnim za ostale faze istraživanja jer veća količina guste, prisutne sline onemogućavala je računalnom algoritmu obrade ekstrakciju značajki iz slike. Rezultati istraživanja pokazali su da se u većine ispitanika radilo o slini koja se lokacijski najviše nalazila iznad ušća ili ispunjava cijeli FES. Gusta konzistencija sline bila je i jedan od značajnih razloga isključenja 13 ispitanika iz druge faze istraživanja (analize fonatornog gibanja računalnim modelom obrade slike i biomehaničkim modelom).

Promatranjem povezanosti oblika FES-a nije pronađena razlika između spolova ali pokazalo se da je kod muškog spola prisutnost mukoznog vala jaka i pravilnih vibracija. Rezultati se razlikuju od istraživanja van As i sur. koji pravilnije vibracije dobivaju kod ženskog spola, no slažemo se s navedenim autorima da male grupe ispitanika i male podskupine ne dopuštaju donošenje smislenih zaključaka. Isto promatranje trebalo bi provesti na većem uzorku ispitanika i većem uzorku ispitanica.

Od ukupnog broja ispitanika većina je podvrgnuta totalnoj laringektomiji ($n = 42$, 76 %) bez parcijalne faringektomije i rekonstrukcije, a prema postotku postoperacijskih komplikacija veći postotak ipak je bio u korist, bez komplikacija ($n = 35$, 63%) nego s komplikacijama (rane

ili kasne) što govori u prilog dobroj njezi i skrbi naših operiranih ispitanika od strane multidisciplinarnog tima i dobar tijek postoperativnog praćenja (redovne kontrole operatera (eng. *follow-up*), rad s logopedom). U istraživanju nismo pronašli značajnu razliku između opsega izvedenih operacija i oblika FES-a te prisutnosti i jačine vibracija i ostalih karakteristika analizom videosnimki dobivenih HSV-om. Autori van As i suradnici opisuju značajnu razliku kod ispitanika kod kojih je defekt tkiva rekonstruiran pomoću reznja (18). Navode slabije vibracije, iregularni oblik FES-a, što objašnjavaju pretpostavkom velikog nastalog defekta poslije operacije i manjku ostatnog tkiva stražnjeg zida ždrijela. U ovom su istraživanju sudjelovala samo tri ispitanika kojima je učinjena totalna laringektomija i parcijalna faringeotomija uz rekonstrukciju pomoću reznja, što čini malu podskupinu za donošenje smislenih zaključaka. Autori van As i sur. također primjećuju manje opisno zadovoljavajući glas, sporiji govor kod ispitanika kojima je u sklopu operacije učinjena disekcija vrata i koji su primili postoperativnu radioterapiju (18). U ovom istraživanju nisu primijećena takva opažanja.

Već je ranije spomenuto kako za stvaranje adekvatnih vibracija traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze nužno je imati FES primjerenog tonusa što postizemo miotomijom krikofaringealnog mišića ili konstriktora ždrijela ili neurektomijom ogranaka faringealnog pleksusa (13, 112). U ovom istraživanju proučavan je utjecaj miotomije na karakteristike FES-a snimanog pomoću HSV. U istraživanju nije sudjelovao niti jedan ispitanik kojemu je učinjena neurektomija ogranka faringealnog pleksusa. Kod ispitanika kojima je učinjena miotomija mišića, dobivena je značajna razlika u vizualizaciji samog FES-a prilikom snimanja pomoću HSV metode u odnosu na druge podgrupe (nevidljiv-djelomično vidljiv). Također više je ispitanika imalo jaki sluznički val i pravilnije vibracije. Zanimljivo je da van As i sur. opisuju uočenu značajnu povezanost s učinjenom miotomijom mišića i samog oblika FES-a. U skupini ispitanika bez miotomije mišića češće se vidio nepravilni oblik, no potrebno je naglasiti kako je u njihovoj studiji sudjelovalo samo sedam ispitanika s učinjenom miotomijom. Rezultati ove studije nisu pokazali povezanost miotomije s oblikom FES-a. Primijećeno je samo da se trokutasti oblik najmanje opisuje u skupini sa i bez učinjene miotomije mišića, ali podatak nije statistički značajan.

6.2.2. Analiza kvalitete traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze – subjektivnom logopedskom procjenom, akustičkim zapisom i SECEL:HR upitnikom

Od prve opisane totalne laringektomije prije 150 godina, jedan od najvažnijih ciljeva istraživanja bio je nadoknaditi gubitak glasnog laringealnog govora poboljšavajući sveobuhvatnu skrb i rehabilitaciju. Kroz godine istraživanja traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze pokazao se kao trenutno najčešća metoda rehabilitacije ili zlatni standard terapije s 95 % dugoročnom uspješnosti i kvalitetom glasa u rasponu od dobre do izvrsne u većine slučajeva. No, isto tako studije i dalje ističu da je unatoč dobrim rezultatima, područje traheozofagealne glasovne rehabilitacije i dalje nedovoljno istraženo (44, 113 – 115). U ovo istraživanje, svi uključeni ispitanici ($n = 55$) su traheozofagealni govornici koji su nakon operativnog zahvata uključeni u govornu rehabilitaciju glasa koju provodi logoped. Prema našim rezultatima vrijeme koje je logoped proveo s laringektomiranim ispitanicima u prosjeku je 11 mjeseci (raspon od 5 do 12 mjeseci). Razdoblje kada su se regrutirali ispitanici za ovo istraživanje jednim dijelom je i obuhvatilo i rad u izazovnom razdoblju za sve članove multidisciplinarnog tima odnosno vrijeme pandemije COVID-19 virusom. Unatoč tomu, bolesnicima je pružena adekvatna skrb i glasovna rehabilitacija putem on-line sastanaka.

U istraživanju dob bolesnika nije bila odlučujući čimbenik u povezanosti s ocjenom kvalitete zamjenskim glasom, a također nikakve značajne razlike nisu pronađene ni u povezanosti s obzirom na duljinu rada logopeda s pojedincem u odnosu na učinjeni operativni zahvat, provedenu radioterapiju ili kemoterapiju. Rezultati ove studije slažu se s rezultatima provedene studije 2013. godine od strane Cocuzza i sur. koji također navode kako dob bolesnika nije povezana s ocjenom kvalitete zamjenskog glasa (116). Prema logopedskoj procjeni zamjenskog glasa uključenih ispitanika glasovni profil bodovan pomoću VAS skale je procijenjen kod većine ispitanika kao tečan, s malo prisutnih nekontroliranih dodatnih zvukova u glasu (malo grgljavosti zamjenskog glasa) i gotovo odličnom cjelokupnom kvalitetom zamjenskim glasom (ocjena 8 na VAS skali, raspon 8 – 9 od mogućih 10 bodova). Zanimljivi podatak je usporedba učinjene miotomije mišića sa logopedskom procjenom traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze. Dobiveni su rezultati veće grgljavosti kod ispitanika s učinjenom miotomijom. Veći nekontrolirani zvukovi zamjenskog glasa između ostaloga povezivali bi se s većom količinom slina u području FES-a, a s čime se slažu i rezultati ovog istraživanja. Gusta slina, uočena prilikom snimanja pomoću HSV-e, rezultirala je većim

slušnim fenomenom grgljivosti u glasu odnosno manjom ocjenom logopeda na VAS skali (medijan ocjene 5,5, IQR 6,5 – 8,5), lošijom vidljivošću FES-a i slabijim sluzničkim valom, a učinjena miotomija bi trebala služiti u relaksaciji FES-a odnosno postizanju kvalitetnijeg govora. Prema tomu, postavlja se mišljenje o izvršenju miotomije sekundarno samo kod bolesnika s hipertonicitetom, a ne elektivno kod svih bolesnika u sklopu primarnog odstranjenja osnovne bolesti.

Sve više istraživanja za razlikovanje dobro prilagođenih bolesnika svom zamjenskom glasu koristi SECEL upitnik. Kao što je ranije spomenuto, upitnik je ranije međukulturno adaptiran na mnogo jezika, a unazad dvije godine tom su se trendu pridružile Hrvatska, Poljska i Španjolska kao zemlje s posljednjom adaptacijom (86, 102, 104). Ispitanici ovog dijela istraživanja ($n = 55$) većinom su se izjasnili kako spadaju u skupinu umirovljenika po radnom statusu, veći broj ih je u stabilnoj bračnoj zajednici, a po razini obrazovanja većina ih ima završenu srednju stručnu spremu. Bitnost ovih podataka leži u tome da za učenje i postizanje dobrog traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze nije dovoljan samo rad logopeda već i motiviranost bolesnika te potpora obitelji i stabilna financijska sigurnost. Rezultati samoprocjene pomoću SECEL:HR upitnika svrstale su ispitanike ovog dijela istraživanja u dobro prilagođene na svoj zamjenski govor. Dobra prilagodba se ocjenjuje ocjenom SECEL upitnika ≤ 60 . Ukupni rezultat SECEL:HR u ovom dijelu istraživanja iznosi izvrsnih 18 bodova (interkvartilni raspon 11-34), za razliku od novijih istraživanja provedenih pomoću SECEL upitnika gdje je ukupan rezultat bio nešto viši. Rodrigues i sur. navode ukupan rezultat SECEL upitnika $31,4 \pm 6,9$, a Miszczak i sur. $26,91 \pm 14,61$ (104, 117). Dobra prilagodba ispitanika na svoj traheoezofagealni glas, kako je već ranije spomenuto u pripremnom dijelu istraživanja, vjerojatno je posljedica prvenstveno odlične postoperativne skrbi laringektomiranih osoba u našoj zemlji što se može zaključiti i za ovaj dio istraživanja. Također, primjećujemo kako većina ispitanika osim podrške koji primaju u sklopu rehabilitacije od strane zdravstvenog tima, primaju i potporu obiteljske zajednice, a imaju i mogućnost sudjelovati u Klubovima laringektomiranih osoba gdje se još više potiče resocijalizacija i uči kako trenutni hendikep, iskoristiti u prednost. Ispitanici ovog istraživanja u velikom su broju baš dio takve zajednice ($n = 35$ odnosno 64 %). Ako promatramo po podskalama najlošiji rezultati su zabilježeni u podskali okoline (medijan 11 bodova, interkvartilni raspon 7 – 18, ostvarenog raspona bodova 1 – 32) što zapravo ne iznenađuje jer su upravo pitanja iz te podskale fokusirana na to kako ispitanik percipira svoj glas u različitim okruženjima (poteškoće prilikom govora u bučnim

prostorijama, javnim okruženjima, na mobitel i slično). Postoji značajna negativna povezanost cijelog SECEL:HR upitnika i pojedinih skala sa subjektivnom ocjenom prema logopedu. Prema tom podatku možemo zaključiti da su ispitanici opisali bolje zadovoljstvo svojim glasom i govorom što je logoped označio većim brojem cjelokupnu kvalitetu zamjenskim govorom na VAS skali, odnosno podudara se zadovoljstvo rehabilitiranog glasa od strane logopeda i samoprocjene ispitanika SECEL:HR upitnikom. Isto vrijedi i za vizualni prikaz FES-a pomoću HSV. Ispitanici koji su ocijenili bolje zadovoljstvo svojim zamjenskim glasom imali su jasno vidljiv FES, jačih i pravilnijih vibracija. No, unatoč dobrim rezultatima SECEL:HR upitnika i dobrom traheozofagealnom glasu pomoću govorne proteze ne treba zanemariti činjenicu kako su ispitanici ipak u najvećem broju ocijenili kako govore manje nego prije učinjene totalne laringektomije.

Akustičke analize patoloških i alaringealnih glasova i dalje su jedna od najatraktivnijih metoda za procjenu glasovne funkcije. Prednosti leže u njihovoj neinvazivnosti i dostupnosti, a pružaju nam informacije potrebne u procjeni glasovne funkcije. U zadnjih četrdeset godina od kada je predstavljeno formiranje TEF i postavljenje govorne proteze, mnoga su se istraživanja bavila akustičkim parametrima traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze. Dokazana je njihova superiornost u odnosu na ostale zamjenske govore koje se koriste nakon totalne laringektomije u smislu najveće „sličnosti“ akustičkih parametara laringealnom glasu (44, 45, 112, 118). U ovom istraživanju, rezultati akustičkog mjerenja pokazuju veliki raspon i varijabilnost svih mjerenih akustičkih parametara. Mjera sredine osnovne frekvencije od 100,7 Hz dobivene u ovom istraživanju slažu se s dobivenim rezultatima srednje osnovne frekvencije utvrđene u drugim studijama. Deore i sur. prijavljuju 110,3 Hz, van As i sur. 103 Hz, Kazi i sur. 103,8 Hz, Allegra i sur. 119,1 Hz (47, 119 – 121). Sve navedene studije također pokazuju široki raspon minimuma i maksimuma osnovne frekvencije što je dobiveno i u ovom istraživanju (min-max raspon 72,3 – 201,4 Hz). Ovo istraživanje podržava mišljenje van As i sur. da upravo ta varijabilnost leži u anatomskim i morfološkim karakteristikama FES-a (najmanje četiri različita oblika, a svaki daje drugačiji obrazac vibracija u odnosu na laringealni glas postignut vibracijom glasnica) (47). Razlike u F0 između muškog i ženskog traheozofagealnog glasa pomoću govorne proteze u ovom istraživanju nema (muškarci 101 Hz, žene 98,7 Hz). Ako se prisjetimo da je F0 urednog muškog glasa oko 120 Hz, možemo primijetiti kao što navode i ostale ranije spomenute studije da je traheozofagealni glas pomoću govorne proteze u odnosu na ezofagealni glas stvarno približno jednak F0 normalnim govornicima što se tiče muškog

spola, ali da je za ženske govornice F0 puno niža od normalnog ženskog glasa (225 Hz) (45, 47, 119, 122).

Medijan MVF iznosio je 7,7 s, također širokog raspona između minimalnog i maksimalnog (1,5 – 34 s). Deore i sur. navode rezultate MVF 6,87 s, van As i sur. 12,8 s, Allegra i sur. 10,64 s (45, 119, 121). Prema navedenom primjećujemo da su rezultati ove studije nešto kraćeg MVF nego u navedenim studijama. Van As u svojoj doktorskoj disertaciji prikazuje podjelu zamjenskog glasa snimanog akustičkom analizom u četiri kategorije gdje skupinu jedan karakterizira zamjenski glas koji je stabilan, duljine fonacije više od 2 s, stabilnih harmonika, a najlošiju skupinu četiri, karakterizira skupina čija je fonacija trajala manje od 1 s i u kojoj je snimak nedovoljnog trajanja da bi algoritam akustičke analize izmjerio potrebne parametre (45, 47). U svom istraživanju u daljnjim usporedbama van As nije koristila učinjene snimke kategorije tipa četiri, za razliku od ove studije gdje su uvršteni svi učinjeni akustični snimci. Sve gore navedene studije se slažu da je MVF znatno kraće kod traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze u odnosu na zdravu populaciju što se može objasniti činjenicom da traheoezofagealni govornici ipak imaju smanjenu količinu udahnutog zraka zbog različitog propuštanja kroz okludiranu stomu, a ulogu igra i sam mehanizam izmjenjivanja udisanja zraka kroz stomu i okluzije stome prstom da bi proizveli glas, a to uzrokuje sporiji govor i veći napor nego kod urednog govornika. S navedenim se slažu i rezultati i opažanja i u ovom istraživanju. Koristeći ranije navedenu podjelu ispitanika u četiri kategorije van As i sur. pronalaze korelacijske odnose između perceptivne ocjene zamjenskog glasa i učinjenih akustičkih parametara. Ovo istraživanje nije pokazalo takav jasan odnos između subjektivne procjene traheoezofagealnog glasa pomoću govorne proteze prema logopedu. Vrijednosti akustičkih parametara *jitter* (%) i *shimmer* (%) dobivenih pomoću akustičkog programa lingWAVES pokazala su se izrazito višim nego u drugim studijama koje su proučavale navedene parametre zamjenskog glasa. Srednja vrijednost parametra *jitter* u ovom istraživanju iznosila je 13,2 %, a *shimmer* čak 43,9 %. Deore i sur. za akustičku procjenu zamjenskog glasa koristili su program Dr Speech i njihove vrijednosti kretale su se za *jitter* 2,18 %, *shimmer* 6,78 %, a van As i sur. su koristili program Praat i prijavljuju vrijednost *jitter* 6,8 % dok vrijednosti za *shimmer* ne prijavljuju (45, 119). Novije studije i ovo istraživanje potvrđuju da se *jitter* i *shimmer* ne mogu uspoređivati između različitih akustičkih programa, kao i kod laringealnog glasa. Posebno se ističe oprez prilikom donošenja zaključaka na temelju korištenja različitih vrsta akustičkih programa i potiču na daljnja istraživanja kako kod urednog laringealnog glasa tako i kod

patoloških uzoraka (118, 123). Promatranjem povezanosti osnovne frekvencije s dobi, vrsti operacije, miotomiji mišića, radioterapiji i kemoterapiji nismo pronašli značajne razlike što je u skladu s ostalim istraživanjima (47, 112, 119).

U ovom istraživanju pronađeno je nekoliko zanimljivih odnosa između vizualnog prikaza FES-a i akustičkih parametara. Iako rezultat nije statistički značajan niže vrijednosti F_0 primijećene su kod oblika FES-a razdvojen naprijed-nazad (85,38 Hz), u odnosu na kružni oblik FES (116,4 Hz). Van As i sur. prijavljuju drugačije rezultate. Povišene frekvencije prisutne su kod iregularnog oblika (156 Hz), a snižene kod kružnog oblika FES-a (78 Hz). U predmetnom istraživanju značajno povišena frekvencija pronađena je kod FES-a kod kojeg je lokacija vidljive vibracije zabilježena na svim zidovima. Kao što se može očekivati, akustičke mjere bile su bolje uz manju prisutnost sline, a sama vizualizacija FES-a prilikom snimanja pomoću HSV metode dala je bolje rezultate.

6.2.3. Analiza fonatornog gibanja sluznice laringektomiranih osoba primjenom biomehaničkog modela

Dosadašnja istraživanja u području dinamike FES-a opisanog pomoću biomehaničkog modela pomogla su nam u razumijevanju stacionarnih i ne-stacionarnih vibracija FES-a te su izvučeni zaključci o vremenskim karakteristikama krutosti tkiva, oscilirajuće mase i geometrijske distribucije unutar FES-a (78, 79). Proučavanjem anatomskih i morfoloških karakteristika FES-a pomoću HSV metode, spoznali smo kako krutost i oblik utječu na kvalitetu zamjenskog glasa (18, 47, 75, 76). U ovom istraživanju u suradnji sa Zavodom za automatiku i računalno inženjerstvo, Sveučilišta u Zagrebu Fakulteta elektrotehnike i računarstva, vođeni idejama i spoznajama prijašnjih istraživanja, promatrale su se ne-stacionarne vibracije tkiva kao dvodimenzionalni presjek FES-a u kojemu je svaki element modela predstavljen kao dinamični model oscilatora sastavljenog od opruge i prigušivača. Također je predložen kaskadni pristup identifikacije parametara koji se pojedinačno primjenjuje za svakog ispitanika i oslanja se na kliničko znanje medicinskog stručnjaka. Razvijenim računalnim algoritmom, obrađen je videozapis svakog ispitanika te je dobiven više-osni vremenski slijed kontrakcija sluznice FES-a u obliku širine otvora segmenta promatranog pod različitim kutovima. Primjenom matematičkih izračuna opisanih u istraživanju Schlegel i sur., koji se odnose na izračunavanje

parametara od interesa dobivenih iz valnog oblika glotalnog područja u ovom istraživanju izračunalo se trajanje otvorene i zatvorene faze, osnovna frekvencija, *jitter* i *shimmer* samo primjenjiv na valni oblik FES-a (92). Usporedile su se vrijednosti istih prethodno navedenih parametara dobivenih računalnom obradom slike, višemasenim biomehaničkim modelom i akustičkom analizom radi objektivne procjene zamjenskog glasa. Do sada slična istraživanja nisu provedena. Računalna obrada slike analizom videosnimki dobivenih HSV-om počela se razvijati početkom novog milenija kada je krenuo i razvoj novih rezolucijski boljih HSV sustava. Većina istraživanja provedena je na laringealnim ispitanicima, a njihov razvoj traje i danas, dok je razvoj računalne obrade promjene faringoezofagealnog otvora zastupljen u znatno manjem opsegu (66, 91 – 94, 124 – 126).

Prije samog razvoja biomehaničkog modela učinjena je računalna obrada slike. Iz svakog pojedinačnog videozapisa ispitanika izdvojene su značajke od interesa. Za postavljanje referentnog kalupa, odlučeno je prednost dati ručnom odabiranju kalupa za razliku od ranije spomenutih istraživanja. U ovom istraživanju, videozapis svakog ispitanika pregledan je te je odabran najbolji trenutak najvećeg otvaranja FES-a, bez popratnih artefakta kao što je gusta slina kako bi algoritam mogao što vjernije skalirati točke na odabranu veličinu. Od svakog učinjenog videa izabrala su se četiri perioda ciklusa gibanja FES-a, a dio snimki, zbog kratkoće videosnimke ili snimke lošije kvalitete, obrađeno je pomoću tri perioda ili su isključeni iz ove faze istraživanja. Prateći ranije opisane korake algoritma obrade slike već je spomenuto kako je najbitnije kreiranje „maske“ koja izolira ciljne boje i kontraste na slici te ih pretvara u crno-bijele oblike kao kalupe za izdvajanje dijelova snimaka koji su nam dalje od interesa. Ovdje također treba istaknuti ručno odabiranje i kreiranje „maske“ od strane računalnog stručnjaka, oslanjajući se pritom na kliničko iskustvo stručnjaka medicinske struke što nam je u konačnici pružilo vjerodostojnije rezultate.

U prijašnjim istraživanjima, opisano je odabiranje broja osi kao broj jedinica mase koje nadomještaju grupaciju elastičnog tkiva razmatranog FES-a ovisno o obliku otvora (kružni, razdvojeni, trokutasti) (78, 125, 126). Isti pristup je primijenjen i u ovom istraživanju gdje je za pravilne oblike koje smo definirali kao kružni otvor dovoljno bilo izabrati osam osi, dok je za nepravilnije oblike bilo potrebno uzeti više (i do 20 osi) da bi dobili veću točnost površine otvora FES-a. Nakon što je algoritam izdvojio centar otvora FES-a s koordinatama dobivenim kao aritmetičkim sredinama svih točaka, odabrali smo jednodimenzionalni presjek iz kojeg se

izdvajaju dimenzije lijeve i desne širine u odnosu na centar otvora te se pristupa skaliranju dimenzija otvora FES-a dobivenih iz ručno obrađene regije i algoritamski određene regije koja je proizašla kao rezultat primjene maske ranije opisane po koracima. Postupak se dalje primjenjuje pod različitim kutovima zakreta te se navedene dimenzije određuju za odabrani broj jednodimenzionalnih presjeka (osi). Kao završni korak obrade slike opisano je određivanje vremenskog profila promjene veličine otvora. Vremenski interval interesa kao što je ranije spomenuto odabran je kao četiri periode osciliranja (250 slika unutar snimanja) te rezultat su veličine otvora u svim osima i za sve slike koju iskazujemo kao tablicu matričnih elemenata za kružni oblik npr. osam osi, 250 slika. Od ukupnog broja 55 ispitanika u ovom istraživanju, za dvije snimke korišteno je tri ciklusa gibanja. Algoritam računalne obrade slike nije mogao obraditi 13 snimaka zbog loše kvalitete koje su onemogućavale primjenu algoritma, dok algoritam biomehaničkog modela nije mogao prepoznati njih 11. Drugim riječima, za dvije snimke bilo je moguće odrediti biomehanički model iz samo tri periode gibanja FES-a.

Ranije smo spomenuli kako se višemaseni spregnuti biomehanički model promatra iz perspektive dvodimenzionalnog presjeka FES-a, koji je načinjen od elemenata gdje svaki element modelira dio segmenta elastičnog tkiva oko faringozofagealnog otvora. Svaki taj element modela ima dominantnu dinamiku oscilatora kojeg čini opruga i prigušni element, te još dodatno sporednu dinamiku kao opruge koje su u sprezi sa susjednim fleksibilnim segmentima tkiva. Za razliku od Shwartz i sur. koji u svom istraživanju opisuju postupak određivanja parametara potrebnih za identifikaciju modela (5 parametara za dominantnu dinamiku i tri parametra za dinamiku svake pojedine sprege) koristeći pristup iz genetskih algoritama koji pronalaze približno točno rješenje za probleme optimizacije i pretraživanja, u ovom je istraživanju predložen kaskadni pristup identifikacije koji je manje računski zahtjevan, a omogućuje gotovo neograničeni broj parametara (97). Kako je ranije opisano algoritam određivanja parametara odnosno identifikacije modela sastoji se iz pet koraka kako bi se dobio matematički model za sve točke tijekom vremenskog intervala za sve osi. Za većinu ispitanika u ovom istraživanju identificirano je 88 parametara modela, odnosno za svaku os utvrđeno je 11 parametara (za 8 jedinica mase). Za rad modela potreban je i vremenski odziv kao vremenski promjenjivi položaj točkasti oblik mase segmenta tkiva te je model potrebno postaviti u koordinatni sustav. Pomoću jednadžbi, skup svih izračunatih točaka modela prilagođavao se tako da se dobije poligon s točkastim koordinatama modela kao vrhovima pojedinih osi. Pomoću računalnog paketa MATLAB za dobiveni poligon izračunata je njegova površina za

svaku sliku videozapisa te je dobiven profil površine traheoezofagealnog otvora u ovisnosti o vremenu kojeg je moguće usporediti s površinom dobivenom iz analize slike. Navedeno je prikazano pomoću slike 5.8..

Prilikom analize videosnimaka dobivenih pomoću HSV sustava u prvom dijelu istraživanja (na odjelu fonijatrije) na svih 55 videosnimki mogla se učiniti anatomska i morfološka analiza i opisati karakteristike vibracije i oblika FES-a tijekom otvorene i zatvorene faze. Samo jedan snimak je okarakteriziran kao loš, no i na njemu FES je bio djelomično vidljiv i time pogodan za analizu. U sljedećim koracima ovog istraživanja (izrada biomehaničkog modela), ipak smo se susreli sa snimkama koje smo morali odbaciti jer algoritam nije mogao prepoznati ručno označeni otvor. Naime, tijekom snimanja ponekad smo dobili FES koji je položen prenisko ili previsoko u odnosu na kameru te smo s time dobili ne fokusiran snimak odnosno algoritam nije mogao izolirati ciljane boje i kontraste i pretočiti ih u crno-bijele oblike. Problem je bio isti ako se iznad ušća nalazila veća količina guste sline. Kod nekih ispitanika samo vrijeme foniranja slova „a“ bilo je izrazito kratko i zbog toga snimak je bio kraćeg trajanja i time algoritam nije bio u mogućnosti izolirati dovoljan broj otvoreno/zatvorenih perioda ciklusa FES-a za analizu. Ipak u ovom istraživanju uspjeli smo prikazati jasnu ujednačenost i pravilnost dobivenog vala površine FES-a u odnosu na vrijeme (PEAW) kod višemasnog spregnutog biomehaničkog modela i to u više slučajeva nego kod računalne obrade slike, a time u konačnici i bolju iskoristivost parametara za korelaciju. Zanimljivo je istaknuti da možemo primijeniti različiti broj opruga u modelu. Primjer je prikazan na slici 5.9. (faringoezofagealni segment obuhvaćen s različitim brojem jedinica mase (opruga) kao uzoraka) koji prikazuje izgled modela ako koristimo 1000 opruga i prigušnika, te sprege između susjednih fleksibilnih tkiva za razliku od uobičajenih 8, 14 i 20 opruga (masa) koje su većinom korištene u ovom istraživanju. Razlika je jedino u dužini vremena potrebnog za identificiranje traženih parametara. U prijašnjim istraživanjima najčešće se koristilo samo 6 opruga (78, 79). Prednost biomehaničkog modela u odnosu na računalnu obradu slike možemo vidjeti i na superiornijoj krivulji na kojoj se jasno mogu vidjeti početak i kraj zatvorene faze te je lakše označiti val točkama koje definiraju varijable korištene za izračunavanje trajanja otvorenog/zatvorenog ciklusa i daljnje izračunavanje akustičkih parametara od interesa pomoću jednadžbi opisanih u poglavlju 5.2.5.. Isto tako dokazana je i bolja iskoristivost lošijeg PEAW-a koju smo dobili kod nekoliko snimaka računalne obrade slike ako je videosnimak neiskoristiv odnosno kada ima tri ciklusa umjesto zatražena četiri koja su se najviše koristila u ovom istraživanju. Biomehanički

model je u takvim slučajevima nadomjestio prekratko trajanje snimaka i posljedično premali broj perioda ciklusa.

U ovom istraživanju uspoređivani su željeni parametri dobiveni računalnom obradom slike i višemasenim spregnutim biomehaničkim modelom (92). Najveća međusobna povezanost varijabli dobivenih računalnim jednadžbama uočava se u postotku otvorenosti FES-a i parametra shimmer (dB). Mjera osnovne frekvencije dobivena analizom računalne obrade slike iznosila je 80,76 Hz a biomehaničkog modela 81,37 Hz. Usporedbom oba pristupa, dobivena je značajna i jaka pozitivna sveza osnovnih frekvencija, a dobiveni rezultati nam pokazuju povezanost ova dva pristupa.

Jedan od glavnih ciljeva ovog istraživanja bio je povezati iste parametre dobivene akustičkom analizom i biomehaničkim modelom te na temelju toga ispitati može li se biomehanički model koristiti kao objektivna mjera kvalitete zamjenskog glasa. Istraživanjem je dokazana povezanost samo nekoliko ispitivanih parametara. Usporedbom osnovne frekvencije dobivene akustičkom analizom i biomehaničkim modelom nije dokazana pozitivna sveza. Postoji samo značajna povezanost između osnovne frekvencije dobivene akustičkom analizom i parametra *shimmer* dobivenog biomehaničkim modelom. Već u prvom dijelu istraživanja bilo je jasno kako je traheoezofagealni glas pomoću govorne proteze, iako najbolji po kvaliteti govora među zamjenskim glasovima nakon odstranjenja grkljana, ipak s višim stupnjem nepravilnosti i buke u usporedbi s normalnim laringealnim glasom. Prema tome i akustički parametri dobiveni na programima koji su prvenstveno dizajnirani za laringealne govornike donose u konačnici široki raspon minimalnih i maksimalnih raspona akustičkih parametara što ih čini raspršenijim prilikom statističke analize. Zadnjih godina u svjetskoj literaturi intenzivno se raspravlja o navedenom i sve više se inzistira na podjeli zamjenskog glasa u kategorije prema njihovoj stabilnosti fonacije (44, 118). Već 2006. godine promišljanja o ovoj temi započela je van As-Brooks kroz svoje istraživanje gdje i predlaže navedenu podjelu zamjenskog glasa u četiri kategorije (45). Istraživanja na razvoju specifičnog akustičnog programa dizajniranog za zamjenske glasove koji će se preciznije i pouzdanije prilagoditi pacijentima s alaringealnim glasovima traje još i sada. Prema navedenom istraživanju iz 2006. godine stvoren je TEVA program integriran u akustičku platformu PRAAT specijaliziran isključivo za alaringelani glas, a istraživanja za poboljšanje navedenog programa i dalje su u tijeku (44, 46, 118). Do sada je pronađeno da navedeni program u odnosu na dosad

uspoređivane programe specijalizirane za laringealne glasove daje niže vrijednosti osnovne frekvencije manjeg međusobnog raspona između minimuma i maksimuma, te manje varijacije frekvencije i amplitude (*jitter i shimmer*) (118). Prema navedenom možemo samo pretpostaviti da bi i rezultati ovog istraživanja možda bili ujednačeniji i statistički povezaniji da se koristio prilagođen akustički program specijalizirani za zamjenski glas i govor.

6.2.4. Prednosti i ograničenja istraživanja

Prednost ovog istraživanja za razliku od dosad učinjenih na FES-u, leži u novijem sustavu koji se koristio prilikom opisivanja anatomskih i morfoloških karakteristika FES-a. Korišten je HSV sustav s 4000 slika u sekundi, rezolucije 256×256 piksela. Prema tomu, dobivene su slike u boji, bolje kvalitete na kojima su se mogli preciznije pratiti vibracijski ciklusi i sluznički val. No, u tome leži i jedno od ograničenja ovog istraživanja. U Republici Hrvatskoj postoje samo dva HSV sustava u otorinolaringološkim ambulantama, a jedan je u Zagrebu gdje je i provedeno ovo istraživanje. S obzirom na navedeni podatak veličina uzorka ograničena je brojem laringektomiranih ispitanika koji su gravitirali baš tom području, a dolazili su na redovne kontrole i proveli rehabilitaciju po logopedu, te završili onkološko liječenje šest mjeseci prije uključivanja u studiju. Dodatnu poteškoću u uključivanju ispitanika u istraživanje stvarala je pandemija COVID-19 infekcije, pa su bolesnici u to vrijeme rjeđe dolazili na liječničke kontrole te nije provedena redovita logopedska terapija.

Prednost ovog istraživanja je u novo osmišljenom višemasenom biomehaničkom modelu fonatornog gibanja FES-a koji se zasniva na kaskadnom pristupu identifikacije parametara za razliku od ranije opisanih modela u dosadašnjoj literaturi. Predloženi način je računski manje zahtjevniji i omogućuje izračunavanje neograničenog broja parametara u kraćem vremenskom roku, a time i precizniji opis nepravilnih otvora FES-a. Također, po prvi puta je učinjena usporedba računalne obrade slike i višemasenog biomehaničkog modela kako bi usporedili točnost i međusobnu povezanost. Jasno je prikazana superiornost biomehaničkog modela u odnosu na pristup računalne obrade slike kako u samoj obradi čak i neadekvatnog videosnimka, tako i izračuna adekvatnijih otvoreno/zatvorenih faza i točaka koje su nam bile potrebne za matematičku obradu parametara od interesa.

Uz prikazane rezultate, ovim istraživanjem otvorena su mnoga pitanja koja se prvenstveno odnose na problem akustičkog programa i obrade podataka. Moguće da bi rezultati

usporedbe akustičkog zapisa zamjenskog glasa i biomehaničkog modela bili ujednačeniji da se koristio specijalizirani program u akustičkom snimanju zamjenskog glasa, no to ne možemo tvrditi sa sigurnošću. Iako je napravljen iskorak u ovakvom promatranju FES-a i kvalitete zamjenskog glasa, jedan od sljedećih smjerova u kojem treba ići je podjela zamjenskog glasa prema kvaliteti akustičkog zapisa u kategorije te prema tome sastavljati grupe za statističku analizu i usporedbu. Za takvu vrstu usporedbe bilo bi potrebno i proširenje istraživanja na veći uzorak. Sljedeće bi se također eventualno moglo uključiti i larigektomirane ispitanike koji se koriste ezofagealnim govorom.

Sljedeći smjer u kojem bi buduća istraživanja trebalo postaviti je i razvoj trodimenzionalnog modeliranja biomehaničkog modela odnosno kombinacija s akustičkim zapisom integriranim u HSV sustav, koji bi nam vjerojatno dao još kvalitetnije rezultate nego trenutno opisani dvodimenzionalni biomehanički model u ovom istraživanju.

7. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima koji su dobiveni ovim istraživanjima, može se zaključiti slijedeće:

1. Usporedbom osnovne frekvencije dobivene akustičkom analizom i biomehaničkim modelom nije dokazana pozitivna sveza. Postoji samo značajna povezanost između osnovne frekvencije dobivene akustičkom analizom i parametra *shimmer* dobivenog biomehaničkim modelom.
2. Međukulturno je adaptiran i validiran upitnik Samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba na hrvatski jezik – SECEL:HR dobrih metrijskih karakteristika.
3. Analiza traheozofagealnog glasa i govora SECEL:HR upitnikom, subjektivnom procjenom logopeda te akustičkom analizom pokazala je dobru rehabilitiranost ispitanika
4. Vizualizacija FES-a HSV-om bila je bolja među ispitanicima koji su bolje ocijenili svoj glas i čiji je glas ocjenjen kao bolji od strane logopeda te u ispitanika kojima je učinjena miotomija.
5. Najčešći oblik FES-a tijekom otvorene faze na videozapisima HSV-a je razdvojen sa strane na stranu. Ranije opisivani iregularni oblik FES-a nije pronađen.
6. Za analizu mjesta vibracije na zidovima FES-a predloženo je novo nazivlje naprijed-straga, lijevo-desno, na svim zidovima i ne može se procijeniti
7. Vibracija FES-a može se kvantificirati kao funkcija površine faringozofagealnog otvora tijekom vremena, odnosno kao valni oblik faringozofagealnog otvora koji smo nazvali PEAW. Pomoću PEAW promatramo faze otvaranja i zatvaranja sluznice faringozofagealnog otvora i dalje ih koristimo za matematički izračun parametara od interesa.
8. Osmišljen je višemaseni biomehanički model fonatornog gibanja FES-a koji se zasniva na kaskadnom pristupu identifikacije parametara. Predloženi je način računski manje zahtjevniji i omogućuje izračunavanje neograničenog broja parametara u kraćem vremenskom roku, a time i precizniji opis nepravilnih otvora FES-a.
9. Prikazana je superiornost biomehaničkog modela u odnosu na računalnu obradu slike

8. SAŽETAK

Cilj istraživanja: Jedan od velikih izazova onkološke kirurgije u području glave i vrata danas nije samo uklanjanje tumora, već i pružanje dobre kvalitete života nakon operativnog zahvata i postizanje uspješne glasovno-govorne rehabilitacije zamjenskog glasa. Cilj ovog istraživanja je cjelovita procjena glasa i komunikacijskih iskustava, istraživanje međuovisnosti akustičnih i slikovnih prikaza fonatornog gibanja faringoezofagealnog segmenta (FES) i razvoj biomehaničkog modela.

Nacrt studije: U prvom dijelu provedena je međukulturalna adaptacija i validacija upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba na hrvatski jezik (SECEL:HR). U drugom dijelu presječnog istraživanja analizirani su videozapisi ultrabrze videoendoskopije (HSV) i opisane karakteristike FES-a. Analizirane su značajke vibracija sluznice višemasenim spregnutim biomehaničkim modelom i učinjena je analiza povezanosti s akustičkim zapisom i boljom ili lošijom postoperativnom prilagodbom i zadovoljstvom zamjenskim glasom.

Ispitanici i metode: Proces validacije odvijao se prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije za međukulturalnu prilagodbu mjernog instrumenta. U istraživanju je sudjelovalo 50 ispitanika. U analizi korišten je upitnik o procjeni glasovnog oštećenja, upitnik subjektivne ocjene zdravlja i SECEL:HR upitnik. U drugom dijelu istraživanja sudjelovalo je 55 ispitanika kojima je učinjena totalna laringektomija i koji se služe traheoezofagealnim glasom pomoću govorne proteze. Analiza kvalitete glasa i govora procijenjena je subjektivnom logopedskom procjenom, akustičkom analizom, ispunjavanjem SECEL:HR upitnika, analizom videozapisa HSV-om. Razvijen je višemaseni spregnuti biomehanički model kao višedimenzionalni vremenski slijed kontrakcija sluznice FES-a u obliku širine otvora promatranog pod različitim kutovima za svaku sličicu vremenskog slijeda videozapisa.

Rezultati: Međukulturalno je adaptiran i validiran upitnik SECEL:HR dobrih metrijskih karakteristika. Analiza traheoezofagealnog glasa SECEL:HR upitnikom, subjektivnom procjenom logopeda i akustičkom analizom pokazala je većinu bolesnika kao dobro rehabilitirane i zadovoljne svojim glasom. Za analizu mjesta vibracije na zidovima FES-a predloženo je novo nazivlje naprijed-straga, lijevo-desno, na svim zidovima i ne može se procijeniti. Najčešći oblik FES-a tijekom otvorene faze na videozapisima HSV-a je razdvojen

sa strane na stranu. Dokazana je samo značajna povezanost fundamentalne frekvencije (F0) dobivene akustičkom analizom i shimmera dobivenog biomehaničkim modelom, dok su ostali parametri nepovezani .

Zaključak: Ovim je istraživanjem po prvi puta učinjena usporedba računalne obrade slike i biomehaničkog modela. Jasno je prikazana superiornost biomehaničkog modela u odnosu na računalnu obradu slike u samom postupku, tako i u izračunu preciznijih otvoreno/zatvorenih faza i točaka za matematičku obradu parametara od interesa: F0, jitter, shimmer. Iako nije dokazana povezanost parametara, daljnja istraživanja trebaju uključiti druge programe akustičke analize i istovremeno snimanje audio i video zapisa. SECEL:HR upitnikom možemo jednostavno procijeniti prilagodbu bolesnika na svoj zamjenski glas.

Ključne riječi: akustička analiza glasa; alaringealni glas; biomehanički model; fonacija; laringektomija; ultrabrza videoendoskopija

9. SUMMARY

Objectives: One of the main challenges in oncological surgery of the head and neck region nowadays is not only tumor removal, but also ensuring a good quality of life post-surgery and achieving successful voice - speech rehabilitation of the substitute voice. The aim of this research is to conduct a comprehensive evaluation of voice and communication experiences, analyze the interdependence between acoustic and imaging representations of phonatory motion in the pharyngoesophageal segment (PES), and construct a biomechanical model.

Study Design: The initial stage of the study focused on cross-cultural adaptation and validation of the Self-Evaluation of Communication Experiences After Laryngectomy (SECEL) questionnaire in Croatian (SECEL:HR). The second stage was a cross-sectional study that analyzed high-speed videoendoscopy (HSV) recordings and described the characteristics of the PES. A multi-mass coupled biomechanical model was used to examine vibratory features of the mucosa. Their correlation with acoustic recordings was examined along with better or poorer postoperative adaption and satisfaction with the substitute voice.

Participants and Methods: The validation process followed the WHO guidelines for cross-cultural adaptation of measurement instruments. The study included 50 participants. The analysis employed a Voice Handicap Index (VHI), the Short Form Health Survey (SF-36), and the SECEL questionnaire. The second part of the study comprised 55 participants who had undergone total laryngectomy and used tracheoesophageal voice with voice prosthesis. Voice and speech quality were evaluated using subjective assessment by a speech-language pathologist (SLP), acoustic analysis, the SECEL questionnaire, and analysis of HSV recordings. A multi-mass coupled biomechanical model was built as a multidimensional time sequence of PES mucosal contractions, represented by the width of the opening observed at different angles for each frame of the video sequence.

Results: The SECEL questionnaire was successfully cross-culturally adapted and validated, exhibiting good metric properties. Analysis of tracheoesophageal voice performed using the SECEL:HR questionnaire, subjective evaluation by SLP, and acoustic analysis showed that the majority of patients were well-rehabilitated and satisfied with their voice. A new terminology was proposed to describe the vibration locations on PES walls, categorizing them as anterior-posterior, left-right, all walls, or not assessable. The most common PES shape during the open

phase in HSV recordings was split side-to-side. A significant correlation was identified only between the fundamental frequency (F0) obtained through the acoustic analysis and shimmer obtained using the biomechanical model, with no correlations found for the other parameters.

Conclusion: This research is the first to compare biomechanical modeling and image processing. The biomechanical model demonstrated superiority over image processing, not only in the process itself, but also in providing more precise calculations of open/closed phases and reference points for the mathematical analysis of key parameters, including F0, jitter, and shimmer. Future studies should examine the use of alternative acoustic analysis software and simultaneous audio-video recordings, even though correlations between these parameters were not found. The SECEL:HR questionnaire proves to be an effective tool for evaluating patient adaptation to their substitute voice.

Key words: alaryngeal voice production; endoscopy; laryngectomy; model,computer; phonation; speech acoustics

10. LITERATURA

1. Bilić M, Vagić D. Smjernice za karcinom larinksa. Med Jadertina. 2020;50(3):163-168.
2. Hrvatski zavod za javno zdravstvo. Registar za rak. Dostupno na adresi: <https://www.hzjz.hr/tag/registar-za-rak/>. Datum pristupa: 19. 6. 2024.
3. Prgomet D, Tićac R. Rani stadij tumora grkljana. U: Prgomet D i sur. Tumori glave i vrata. 1. izd. Zagreb: Medicinska naklada; 2019. str. 201-218.
4. Strong MS, Jako GJ. Laser surgery in the larynx. Early clinical experience with continuous CO 2 laser. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1972; 81(6):791-798
5. Remacle M, Eckel HE, Antonelli A, Brasnu D, Chevalier D, Friedrich G, et al. Endoscopic cordectomy. A proposal for a classification by the Working Committee, European Laryngological Society. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2000; 257(4):227-231.
6. Remacle M, Van Haverbeke C, Eckel H, Bradley P, Chevalier D, Djukic V, et al. Proposal for revision of the European Laryngological Society classification of endoscopic cordectomies. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2007; 264(5):499-504.
7. Paleri V, Thomas L, Basavaiah N, Drinnan M, Mehanna H, Jones T. Oncologic outcomes of open conservation laryngectomy for radiorecurrent laryngeal carcinoma: a systematic review and meta-analysis of English-language literature. Cancer. 2011; 117(12):2668-2676.
8. Thomas L, Drinnan M, Natesh B, Mehanna H, Jones T, Paleri V. Open conservation partial laryngectomy for laryngeal cancer: a systematic review of English language literature. Cancer Treat Rev. 2012;38(3):203-211.
9. Starčević R, Kontić M, Lukinović J. Tumori grkljana - uznapredovali stadij. U: Prgomet D i sur. Tumori glave i vrata. 1. izd. Zagreb: Medicinska naklada; 2019. str. 219-227.
10. Gussenbauer C. Ueber die erste durch Th. Billroth am Menschen ausgefuerte Kehlkopf-Extirpation und die Anwendung eines kuenstlichen Kehlkopfes. Arch Klein Chir. 1874;17:343-356.
11. Folz BJ, Silver CE, Rinaldo A, Ferlito A. Themistocles Gluck: biographic remarks emphasising his contributions to laryngectomy. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2011; 268(8):1175-1179.

12. Smith RV, Fried MP. Advanced Cancer of the Larynx. In: Bailey BJ, Johnson JT, Newlands, SD. Head & Neck Surgery - Otolaryngology, Volume II. (4th ed). Lippincott Williams & Wilkins; 2006:1757-1777
13. Singer MI, Blom ED. Selective myotomy for voice restoration after total laryngectomy. Arch Otolaryngol. 1981; 107(11):670-673.
14. Singer MI, Blom ED, Hamaker RC. Pharyngeal plexus neurectomy for alaryngeal speech rehabilitation. Laryngoscope. 1986; 96(1):50-54.
15. Lewin JS, Bishop-Leone JK, Forman AD, Diaz EM Jr. Further experience with Botox injection for tracheoesophageal speech failure. Head Neck. 2001;23(6):456-460.
16. van Weissenbruch R, Kunnen M, Albers FW, van Cauwenberge PB, Sulter AM. Cineradiography of the pharyngoesophageal segment in postlaryngectomy patients. Ann Otol Rhinol Laryngol. 2000; 109(3):311-319.
17. Hilgers FJ, van As-Brooks CJ, Polak RM, Bing TI. Surgical improvement of hypotonicity in tracheoesophageal speech. Laryngoscope. 2006; 116(2):345-348.
18. van As CJ, Tigges M, Wittenberg T, Op de Coul BM, Eysholdt U, Hilgers FJ. High-speed digital imaging of neoglottic vibration after total laryngectomy. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 1999; 125(8):891-897.
19. Fagan JJ, Lentin R, Oyarzabal MF, Isaacs S, Sellars SL. Tracheoesophageal speech in a developing world community. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 2002;128(1):50-53.
20. Liu H, Ng ML. Electrolarynx in voice rehabilitation. Auris Nasus Larynx. 2007; 34(3):327-332.
21. Đanić Hadžibegović A, Živković Ivanović T, Šimić I. Funkcionalna rehabilitacija bolesnika s tumorima glave i vrata. U: Prgomet D i sur. Tumori glave i vrata. 1.izd. Zagreb: Medicinska naklada; 2019. str. 383-397.
22. Chen HC, Kim Evans KF, Salgado CJ, Mardini S. Methods of voice reconstruction. Semin Plast Surg. 2010; 24(2):227-232.
23. Kubert HL, Stepp CE, Zeitels SM, Gooley JE, Walsh MJ, Prakash SR, et al. Electromyographic control of a hands-free electrolarynx using neck strap muscles. J Commun Disord. 2009; 42(3):211-25.
24. Wan C, Wang E, Wu L, Wang S, Wan M. Design and evaluation of an electrolarynx with tonal control function for Mandarin. Folia Phoniatr Logop. 2012; 64(6):290-296.
25. Seeman, M. Speech and voice without larynx. Cas Lek Cesk. 1922; 61:369-372.

26. Akbulut S, Betka J, Chrobok V, Czerniejewska-Wolska H, de Jong F, Denizoglu I, et al. Rehabilitation and Prognosis of Voice Disorders. In: am Zehnhoff-Dinnesen A, Wiskirska-Woznica B, Neumann K, Nawka T, editors. *Phoniatics I: Fundamentals - Voice Disorders - Disorders of Language and Hearing Development*. Berlin Heidelberg: Springer; 2020:435-536.
27. Singer MI, Blom ED. An endoscopic technique for restoration of voice after laryngectomy. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1980; 89(6 Pt 1):529-533.
28. Stajner-Katusić S, Horga D, Musura M, Globlek D. Voice and speech after laryngectomy. *Clin Linguist Phon*. 2006; 20(2-3):195-203.
29. Šegec I, Rosso M, Vranješ Ž, Maksimović Z, Šegec A, Šegec B. Život nakon totalne laringektomije. *Med Vjesn*. 2010; 42(2):71-74.
30. Crnković I, Rukavina M, Ostrogonac K. The quality of life after laryngectomy. *JAHS*. 2015; 1(2):107-118.
31. Nalbadian M, Nikolaou A, Nikolaidis V, Petridis D, Themelis C, Daniilidis I. Factors influencing quality of life in laryngectomized patients. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2001; 258(7):336-340.
32. Massaro N, Verro B, Greco G, Chianetta E, D'Ecclesia A, Saraniti C. Quality of Life with Voice Prosthesis after Total Laryngectomy. *Iran J Otorhinolaryngol*. 2021; 33(118):301-309.
33. Raquel ACS, Buzaneli EP, Silveira HSL, Simões-Zenari M, Kulcsar MAV, Kowalski LP, Nemr K. Quality of life among total laryngectomized patients undergoing speech rehabilitation: correlation between several instruments. *Clinics (Sao Paulo)*. 2020; 11(75):e2035.
34. Babin E, Heutte N, Humbert M, Laccourreye O. Sex-related quality of life after total laryngectomy for cancer. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*. 2023; 140(3):121-126.
35. Vlachsis K, Tsetsos N, Sotiroudi S, Stavrakas M, Fyrmipas G, Nikolaou A. Quality of Life After Total Laryngectomy: A Retrospective Study. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2022; 74(3):4982-4990.
36. Vilaseca I, Chen AY, Backscheider AG. Long-term quality of life after total laryngectomy. *Head Neck*. 2006; 28(4):313-320.
37. Akbulut S, Zehnhoff-Dinnesen A, de Jong F, Echternach M, Eysholdt U, et al. Basic of Voice Disorders. In: am Zehnhoff-Dinnesen A, Wiskirska-Woznica B, Neumann K,

- Nawka T, editors. *Phoniatrics I: Fundamentals - Voice Disorders - Disorders of Language and Hearing Development*. Berlin Heidelberg: Springer; 2020:193-238.
38. van Sluis KE, van der Molen L, van Son RJJH, Hilgers FJM, Bhairosing PA, van den Brekel MWM. Objective and subjective voice outcomes after total laryngectomy: a systematic review. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2018; 275(1):11-26.
 39. Kotby MN, Hegazi MA, Kamal I, Gamal El Dien N, Nassar J. Aerodynamics of the pseudo-glottis. *Folia Phoniatr Logop*. 2009; 61(1):24-28.
 40. Yamaguchi H, Shrivastav R, Andrews ML, Niimi S. A comparison of voice quality ratings made by Japanese and American listeners using the GRBAS scale. *Folia Phoniatr Logop*. 2003; 55(3):147-57.
 41. Dejonckere PH, Obbens C, de Moor GM, Wieneke GH. Perceptual evaluation of dysphonia: reliability and relevance. *Folia Phoniatr (Basel)*. 1993; 45(2):76-83.
 42. Moerman M, Martens JP, Crevier-Buchman L, de Haan E, Grand S, Tessier C, et al. The INFVo perceptual rating scale for substitution voicing: development and reliability. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2006; 263(5):435-439.
 43. Živković-Ivanović T, Babić E, Šimić I. Akustičke osobine traheozofagealnog i ezofagealnog glasa. *Liječ Vjesn*. 2023; 145(1-2):12-17
 44. Klein-Rodríguez A, Cabo-Varela I, Vázquez de la Iglesia F. Acoustic Characterization of the Voice With a Tracheoesophageal Speech in Laryngectomized Patients. Similarities and Differences With the Laryngeal Voice. *J Voice*. 2023; 37(1):144.e9-144.e14.
 45. van As-Brooks CJ, Koopmans-van Beinum FJ, Pols LC, Hilgers FJ. Acoustic signal typing for evaluation of voice quality in tracheoesophageal speech. *J Voice*. 2006; 20(3):355-368.
 46. Atos Medical. NKI TE-VOICE Analysis tool. Dostupno na adresi: https://www.fon.hum.uva.nl/rob/NKI_TEVA/. Datum pristupa: 2. 7. 2024.
 47. van As CJ. *Tracheoesophageal Speech. A Multidimensional Assessment of Voice Quality [PhD thesis]*, University of Amsterdam. Budde-Elinkwijk Grafische Producties; 2001.
 48. Krizmanić, M i Kolesarić V. Pokušaj konceptualizacije pojma „kvaliteta života“. *Primijenjena psihologija* 1989;10:179-184

49. DeSanto LW, Olsen KD, Perry WC, Rohe DE, Keith RL. Quality of life after surgical treatment of cancer of the larynx. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1995;104(10 Pt 1):763-769.
50. Aaronson NK, Ahmedzai S, Bergman B, Bullinger M, Cull A, Duez NJ, et al. The European Organization for Research and Treatment of Cancer QLQ-C30: a quality-of-life instrument for use in international clinical trials in oncology. *J Natl Cancer Inst*. 1993;85(5):365-376.
51. Gliklich RE, Goldsmith TA, Funk GF. Are head and neck specific quality of life measures necessary? *Head Neck*. 1997;19(6):474-480.
52. List MA, Ritter-Sterr C, Lansky SB. A performance status scale for head and neck cancer patients. *Cancer*. 1990; 66(3):564-569.
53. Jacobson BH, Johnson A, Grywalski C, Silbergleit A, Jacobson G, Benninger MS, et al. The voice handicap index (VHI) development and validation. *Am J Speech Lang Pathol*. 1997; 6(3):66-70.
54. Schindler A, Mozzanica F, Brignoli F, Maruzzi P, Evitts P, Ottaviani F. Reliability and validity of the Italian self-evaluation of communication experiences after laryngeal cancer questionnaire. *Head Neck*. 2013; 35(11):1606-1615.
55. Blood GW. Development and Assessment of a Scale Addressing Communication Needs of Patients with Laryngectomies. *Am J Speech Lang Pathol*. 1993;2(3):82-90.
56. Evitts PM, Kasapoglu F, Demirci U, Miller JS. Communication adjustment of patients with a laryngectomy in Turkey: analysis by type of surgery and mode of speech. *Psychol Health Med*. 2011; 16(6):650-660.
57. Fahl GB, Goulart BNG de. Adaptação transcultural do Self-Evaluation of Communication Experiences after Laryngectomy (SECEL) para o Português Brasileiro. *Audiol Comm Res*. 2016; 21(0):e1678.
58. Finizia C, Palmé C, Bergman B. A longitudinal study of the Swedish Self-Evaluation of Communication Experiences after Laryngeal Cancer questionnaire in patients treated for laryngeal cancer. *Acta Oncol*. 2002; 41(3):262-268.
59. Guimarães I, Torrejano G, Aires R, Gonçalves F, Freitas SV, Correia P, et al. Self-evaluation of communication experiences after laryngectomy (SECEL): translation and psychometric properties in European Portuguese. *Logoped Phoniatr Vocol*. 2020; 45(2):66–72.

60. Woo P. Evaluation and Management of the Dysphonic Patient. In: Fried MP, Tan M. *Clinical Laryngology: The Essentials*. New York: Thieme Publishers; 2014:59-94.
61. Woo P. Objective measures of laryngeal imaging: what have we learned since Dr. Paul Moore. *J Voice*. 2014; 28(1):69-81.
62. Kendall KA. High-speed digital imaging of the larynx: recent advances. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2012; 20(6):466-471.
63. Deliyski DD, Petrushev PP, Bonilha HS, Gerlach TT, Martin-Harris B, Hillman RE. Clinical implementation of laryngeal high-speed videoendoscopy: challenges and evolution. *Folia Phoniatr Logop*. 2008; 60(1):33-44
64. Poburka BJ, Patel RR, Bless DM. Voice-Vibratory Assessment with Laryngeal Imaging (VALI) Form: Reliability of Rating Stroboscopy and High-speed Videoendoscopy. *J Voice*. 2017; 31(4):513.e1-513.e14.
65. Timcke R, von Leden H, Moore P. Laryngeal vibrations: measurements of the glottic wave. I. The normal vibratory cycle. *AMA Arch Otolaryngol*. 1958; 68(1):1-19.
66. Kist AM, Gómez P, Dubrovskiy D, Schlegel P, Kunduk M, Echternach M, et al. A Deep Learning Enhanced Novel Software Tool for Laryngeal Dynamics Analysis. *J Speech Lang Hear Res*. 2021; 64(6):1889-1903.
67. Inwald EC, Döllinger M, Schuster M, Eysholdt U, Bohr C. Multiparametric analysis of vocal fold vibrations in healthy and disordered voices in high-speed imaging. *J Voice*. 2011; 25(5):576-590.
68. Ahmad K, Yan Y, Bless DM. Vocal fold vibratory characteristics in normal female speakers from high-speed digital imaging. *J Voice*. 2012; 26(2):239-253.
69. Patel RR, Liu L, Galatsanos N, Bless DM. Differential vibratory characteristics of adductor spasmodic dysphonia and muscle tension dysphonia on high-speed digital imaging. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2011; 120(1):21-32.
70. Chen W, Woo P, Murry T. Vibratory Onset of Adductor Spasmodic Dysphonia and Muscle Tension Dysphonia: A High-Speed Video Study. *J Voice*. 2020; 34(4):598-603.
71. Yousef AM, Deliyski DD, Zacharias SRC, Naghibolhosseini M. Deep-Learning-Based Representation of Vocal Fold Dynamics in Adductor Spasmodic Dysphonia during Connected Speech in High-Speed Videoendoscopy. *J Voice*. 2022:S0892-1997(22)00263-6.

72. Yousef AM, Deliyski DD, Zacharias SRC, de Alarcon A, Orlikoff RF, Naghibolhosseini M. Spatial Segmentation for Laryngeal High-Speed Videoendoscopy in Connected Speech. *J Voice*. 2023; 37(1):26-36.
73. Yousef AM, Deliyski DD, Zayernouri M, Zacharias SRC, Naghibolhosseini M. Deep Learning-Based Analysis of Glottal Attack and Offset Times in Adductor Laryngeal Dystonia. *J Voice*. 2023; S0892-1997(23)00319-3.
74. Naghibolhosseini M, Deliyski DD, Zacharias SRC, de Alarcon A, Orlikoff RF. Temporal Segmentation for Laryngeal High-Speed Videoendoscopy in Connected Speech. *J Voice*. 2018; 32(2):256.e1-256.e12.
75. Van As CJ, Op De Coul BM, Eysholdt U, Hilgers FJ. Value of digital high-speed endoscopy in addition to videofluoroscopic imaging of the neoglottis in tracheoesophageal speech. *Acta Otolaryngol*. 2004; 124(1):82-89.
76. van As-Brooks CJ, Hilgers FJ, Koopmans-van Beinum FJ, Pols LC. Anatomical and functional correlates of voice quality in tracheoesophageal speech. *J Voice*. 2005;19(3):360-372.
77. Nikolić V, Hudec M i sur. Principi biomehanike. Zagreb: Naklada Ljevak; 2011.
78. Schwarz R, Huttner B, Döllinger M, Luegmair G, Eysholdt U, Schuster M, et al. Substitute voice production: quantification of PE segment vibrations using a biomechanical model. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2011; 58(10):2767-2776.
79. Hüttner B, Luegmair G, Patel RR, Ziethe A, Eysholdt U, Bohr C, et al. Development of a time-dependent numerical model for the assessment of non-stationary pharyngoesophageal tissue vibrations after total laryngectomy. *Biomech Model Mechanobiol*. 2015; 14(1):169-184.
80. Marušić Matko i sur. Uvod u znanstveni rad u medicini. 6. izd. Zagreb: Medicinska naklada; 2019.
81. Žuvela L. Procjena zadovoljstva komunikacijom nakon laringektomije [Diplomski rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet; 2017. Dostupno na adresi: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:158:105288>. Datum pristupa: 6. 7. 2022.
82. Benšić A. Povezanost objektivne procjene glasa i samoprocjene zadovoljstva komunikacijom nakon laringektomije [Diplomski rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet; 2019. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:158:485500>. Datum pristupa: 6. 7. 2022.

83. Beaton DE, Bombardier C, Guillemin F, Ferraz MB. Guidelines for the process of cross-cultural adaptation of self-report measures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000; 25(24):3186-3191.
84. Franic DM, Bothe AK. Psychometric evaluation of condition-specific instruments used to assess health-related quality of life, attitudes, and related constructs in stuttering. *Am J Speech Lang Pathol*. 2008;17(1):60-80.
85. WHO (2022). Process of translation and adaptation of instruments. Dostupno na adresi: http://www.who.int/substance_abuse/research_tools/translation/en/. Datum pristupa: 6. 7. 2022.
86. Laksar Klarić Ž, Danic Hadzibegovic A, Včeva A, Karadža Lapić L, Babler D, Kralik K, et al. Validation and Cross-Cultural Adaptation of Croatian Self-Evaluation of Communication Experiences after Laryngectomy Questionnaire. *Folia Phoniatr Logop*. 2023; 75(5):273-283.
87. Bonetti A, Bonetti L. Cross-cultural adaptation and validation of the Voice Handicap Index into Croatian. *J Voice*. 2013; 27(1):130.e7-130.e14.
88. Ware JE Jr. SF-36 health survey update. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000; 25(24):3130-3139.
89. Juresa V, Ivanković D, Vuletić G, Babić-Banaszak A, Srcek I, Mastilica M, et al. The Croatian Health Survey--SF-36: I. General quality of life assessment. *Coll Antropol*. 2000; 24(1):69-78.
90. Maslić Sersić D, Vuletić G. Psychometric evaluation and establishing norms of Croatian SF-36 health survey: framework for subjective health research. *Croat Med J*. 2006; 47(1):95-102.
91. Lohscheller J, Döllinger M, Schuster M, Eysholdt U, Hoppe U. The laryngectomee substitute voice: image processing of endoscopic recordings by fusion with acoustic signals. *Methods Inf Med*. 2003; 42(3):277-281.
92. Schlegel P, Stingl M, Kunduk M, Kniesburges S, Bohr C, Döllinger M. Dependencies and Ill-designed Parameters Within High-speed Videoendoscopy and Acoustic Signal Analysis. *J Voice*. 2019; 33(5):811.e1-811.e12.
93. Schlegel P, Kist AM, Kunduk M, Dürr S, Döllinger M, Schützenberger A. Interdependencies between acoustic and high-speed videoendoscopy parameters. *PLoS One*. 2021; 16(2):e0246136.

94. Schlegel P, Kniesburges S, Dürr S, Schützenberger A, Döllinger M. Machine learning based identification of relevant parameters for functional voice disorders derived from endoscopic high-speed recordings. *Sci Rep.* 2020; 10(1):10517.
95. Schlegel P, Kunduk M, Stingl M, Semmler M, Döllinger M, Bohr C, et al. Influence of spatial camera resolution in high-speed videoendoscopy on laryngeal parameters. *PLoS One.* 2019; 14(4):e0215168.
96. Jensen JS. Phononic band gaps and vibrations in one-and two-dimensional mass-spring structures. *J Sound Vibr.* 2003; 266(5):1053-1078.
97. Schwartz R. Model-Based Quantification of Pathological Voice [PhD thesis]. Der Technischen Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg; 2007
98. Daniel W.W. Biostatistics: a foundation for analysis in the health sciences. John Wiley & Sons, Inc. 2012.
99. Armitage P, Perry G. Statistical methods in medical research. Wiley-Blackwell. 2001
100. EQUATOR Network | Enhancing the QUALity and Transparency of Health Research. Dostupno na: <https://www.equator-network.org/>. Datum pristupa 10. 10. 2024
101. Mohd Shakri N, Mat Baki M, Mohamed AS, Azman M. Adaptation and Validation of the Self-Evaluation of Communication Experiences after Laryngectomy (SECEL) Questionnaire into Bahasa Malaysia. *J Voice.* 2023; 37(5):803.e11-803.e21
102. Villanueva E, Fernández MP, Arena G, Llorente JL, Rodrigo JP, López F, et al. Validation of "Self-Evaluation of Communication Experiences after Laryngectomy" (SECEL) Questionnaire for Spanish-Speaking Laryngectomized Patients. *Cancers (Basel).* 2022; 14(14):3347.
103. Finizia C, Bergman B, Lindström J. A cross-sectional validation study of Self-Evaluation of Communication Experiences after Laryngeal Cancer-a questionnaire for use in the voice rehabilitation of laryngeal cancer patients. *Acta Oncol.* 1999; 38(5):573-80.
104. Miszczak K, Rzepakowska A. "Validation of the Polish version of the Self-Evaluation of Communication Experience after Laryngectomy (SECEL) questionnaire. *Pol Otorhinolaryngol Rev.* 2024; 13(1):1-13.
105. Lundström E, Hammarberg B, Munck-Wikland E. Voice handicap and health-related quality of life in laryngectomees: assessments with the use of VHI and EORTC questionnaires. *Folia Phoniatr Logop.* 2009; 61(2):83-92.

106. Moerman M, Martens JP, Dejonckere P. Application of the Voice Handicap Index in 45 patients with substitution voicing after total laryngectomy. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2004; 261(8):423-428.
107. Globlek D, Stajner-Katusic S, Musura M, Horga D, Liker M. Comparison of alaryngeal voice and speech. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2004; 29(2):87-91.
108. Mohri M, Yoshifuji M, Kinishi M, Amatsu M. Neoglottic activity in tracheoesophageal phonation. *Auris Nasus Larynx.* 1994; 21(1):53-58.
109. Omori K, Kojima H, Nonomura M, Fukushima H. Mechanism of tracheoesophageal shunt phonation. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 1994; 120(6):648-652.
110. Isman KA, O'Brien CJ. Videofluoroscopy of the pharyngoesophageal segment during tracheoesophageal and esophageal speech. *Head Neck.* 1992; 14(5):352-358.
111. Lundström E, Hammarberg B. High-speed imaging of the voicing source in laryngectomees during production of voiced-voiceless distinctions for stop consonants. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2004; 29(1):31-40.
112. Albirmawy OA, El-Guindy AS, Elsheikh MN, Saafan ME, Darwish ME. Effect of primary neopharyngeal repair on acoustic characteristics of tracheoesophageal voice after total laryngectomy. *J Laryngol Otol.* 2009; 123(4):426-433.
113. Brown DH, Hilgers FJ, Irish JC, Balm AJ. Postlaryngectomy voice rehabilitation: state of the art at the millennium. *World J Surg.* 2003; 27(7):824-831.
114. Sparks F, Coffey M, Dipper L, Morgan S, Hilari K. Tracheoesophageal Voice Therapy in Postlaryngectomy Rehabilitation: A Systematic Review. *J Voice.* 2023; S0892-1997(23)00355-7.
115. Maniaci A, La Mantia I, Mayo-Yáñez M, Chiesa-Estomba CM, Lechien JR, Iannella G, et al. Vocal rehabilitation and quality of life after total laryngectomy: State-of-the-art and systematic review. *Prosthesis.* 2023; 5(3):587-601.
116. Cocuzza S, Bonfiglio M, Grillo C, Maiolino L, Malaguarnera M, Martines F, et al. Post laryngectomy speech rehabilitation outcome in elderly patients. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2013; 270(6):1879-1884.
117. Rodrigues A, Alves de Sousa F, Casanova MJ, Silva A, Feliciano T, Vaz Freitas S, et al. Laryngectomy: Phonation Alternatives and Their Impact on the Quality of Life. *Cureus.* 2023;1 5(5):e39093.
118. Klein-Rodríguez A, Cabo-Varela I, Vázquez-de la Iglesia F, Chiesa-Estomba CM, Mayo-Yáñez M. Comparison of TEVA vs. PRAAT in the Acoustic Characterization of

- the Tracheoesophageal Voice in Laryngectomized Patients. *J Clin Med*. 2024; 13(13):3748.
119. Deore N, Datta S, Dwivedi RC, Palav R, Shah R, Sayed SI, et al. Acoustic analysis of tracheo-oesophageal voice in male total laryngectomy patients. *Ann R Coll Surg Engl*. 2011; 93(7):523-527.
 120. Kazi R, Kiverniti E, Prasad V, Venkitaraman R, Nutting CM, Clarke P, et al. Multidimensional assessment of female tracheoesophageal prosthetic speech. *Clin Otolaryngol*. 2006; 31(6):511-517.
 121. Allegra E, La Mantia I, Bianco MR, Drago GD, Le Fosse MC, Azzolina A, et al. Verbal performance of total laryngectomized patients rehabilitated with esophageal speech and tracheoesophageal speech: impacts on patient quality of life. *Psychol Res Behav Manag*. 2019; 12:675-681.
 122. Bellandese MH, Lerman JW, Gilbert HR. An acoustic analysis of excellent female esophageal, tracheoesophageal, and laryngeal speakers. *J Speech Lang Hear Res*. 2001; 44(6):1315-1320.
 123. Mohammed AA, Nagy A. Fundamental Frequency and Jitter Percent in MDVP and PRAAT. *J Voice*. 2023; 37(4):496-503.
 124. Reddy NK, Schlegel P, Lee Y, Chhetri DK. 3D Reconstruction of Phonatory Glottal Shape and Volume: Effects of Neuromuscular Activation. *Laryngoscope*. 2023; 133(2):357-365.
 125. Schuster M, Rosanowski F, Schwarz R, Eysholdt U, Lohscheller J. Quantitative detection of substitute voice generator during phonation in patients undergoing laryngectomy. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2005 Nov;131(11):945-952.
 126. Lohscheller J, Döllinger M, Schuster M, Schwarz R, Eysholdt U, Hoppe U. Quantitative investigation of the vibration pattern of the substitute voice generator. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2004; 51(8):1394-1400.

11. ŽIVOTOPIS

Opći podatci

Ime i prezime: Željka Laksar Klarić

Datum i mjesto rođenja: 2. lipnja 1980., Osijek

Zvanje: doktorica medicine, specijalist otorinolaringolog, uži specijalist fonijatar

Adresa: Bakarska 5, 31000 Osijek

e-mail: zeljka.l.klaric@gmail.com

Telefon: +38598666494

Zaposlenje: Klinika za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata Kliničkog bolničkog centra Osijek

Obrazovanje:

- **30. studenoga 2017. – 30. siječnja 2020.** liječnik specijalist na užoj specijalizaciji iz fonijatrije; Specijalistički ispit iz uže specijalnosti otorinolaringologije – fonijatrije položen 6. veljače 2020 (KLASA: UP/I-133-02/20-01/05; UR. BROJ: 534-04-2-2/3-20-4)
- **28. rujna 2015. – danas:** doktorand, Poslijediplomski studij Biomedicina i zdravstvo, Medicinski fakultet Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska
- **11. prosinca 2008. – 2. listopada 2014.** – specijalističko obrazovanje iz otorinolaringologije temeljem dekreta Ministarstva zdravstva; specijalistički ispit položen 18. studenoga 2014. (KLASA: UP/I-133-02/14-01/427; UR. BROJ: 534-07-1-2-2/2-14-4)
- **listopad 2012. – srpanj 2013.** – Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, Poslijediplomski specijalistički studij Otorinolaringologija i kirurgija glave i vrata
- **24. listopada 2007.** položen državni ispit; odobrenje za samostalni rad br.: 16474-20326, Zagreb, Hrvatska
- **listopad 2000. – lipanj 2006.** – studentica Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Osijeku. Položen diplomski ispit 14. lipnja 2006. godine.
- **rujan 1995. – lipanj 1999.** – III. Gimnazija Osijek, Prirodoslovno-matematički smjer
- **rujan 1987. – lipanj 1995.** – Osnovna škola Vladimira Becića, Osijek

- **rujan 1987. – lipanj 1995.** – Glazbena škola Franje Kuhača, Osijek. Instrumenti flauta i klavir, prvi i drugi pripremni razred glazbenog teoretičara, završena baletna škola

Radno iskustvo:

- **25. listopada 2021. – danas:** naslovno suradničko zvanje asistentice iz znanstvenog područja Biomedicina i zdravstvo, znanstvenog polja kliničke medicinske znanosti (znanstvena grana otorinolaringologija) u Katedri za otorinolaringologiju i maksilofacijalnu kirurgiju na Medicinskom fakultetu u sastavu Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku
- **6. veljače 2020. – danas:** liječnik specijalist uže specijalnosti otorinolaringologije – fonijatrije, Klinika za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata KBC Osijek
- **18. studenoga 2014. – 5. veljače 2020.** – liječnik specijalist otorinolaringologije, Klinika za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata, KBC Osijek
- **3. studenoga 2008. – 17. studenoga 2014.** – liječnik specijalizant otorinolaringologije, Klinika za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata, KBC Osijek
- **15. studenoga 2007. – 2. studenoga 2008.** liječnik u timu hitne medicinske pomoći, Zavod za hitnu medicinu Osječko baranjske županije
- **14. kolovoza 2006. – 13. kolovoza 2007.** liječnik pripravnik, Klinički bolnički centar Osijek, Osijek

Stručne i znanstvene aktivnosti:

- Ana Đanić Hadžibegović, **Željka Laksar Klarić**, Tamara Živković Ivanović, Luka Jelić, Vinko Lešić: Analysis of pharyngoesophageal mucosa vibration in laryngectomised patients based on high-speed videoendoscopy: preliminary report; 2nd BLA/UEP joint meeting, 25. svibnja 2024., Zagreb, Hrvatska; Usmeno izlaganje
- **Željka Laksar Klarić**, Ana Đanić Hadžibegović, Andrijana Včeva, Ljerka Čulav, Danijela Babler, Kristina Kralik, Ana Bonetti, Anja Benšić: Validacija upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba (SECEL:HR); 13. kongres Hrvatskog društva za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata, 4. – 7. listopada 2023., Pula, Hrvatska; Usmeno izlaganje

- **Željka Laksar Klarić**, Ana Đanić Hadžibegović, Andrijana Včeva, Vinko Jelić, Tamara Živković, Željko Zubčić, Ratko Prstačić: Analysis of Pharyngoesophageal Mucosa Vibration in Laryngectomised Patients Based on High-speed Videoendoscopy; 30. kongres Europskog udruženja fonijatara, (30th Congress of Union of the European Phoniaticians), 27. – 30. travnja 2023., Antalya, Turska; Usmeno izlaganje
- **Željka Laksar Klarić**: Operacije dobroćudnih promjena larinksa; impozij; Moderne operacijske tehnike u kirurgiji glave i vrata KBC-a Osijek. 17. ožujka 2023., Osijek, Hrvatska; pozvano predavanje
- Završen Poslijediplomski tečaj stalnog medicinskog usavršavanja I. kategorije Život s vrtoglavicom, 10. i 11. veljače 2023. godine
- **Željka Laksar Klarić**, Ivana Kukučka: Dijagnostika i oštećenje sluha predškolske i školske dobi; Simpozij, Rano otkrivanje, dijagnostika i liječenje oštećenja sluha u dječjoj i adolescenskoj dobi. 26. studenoga 2022, Osijek, Hrvatska; pozvano predavanje
- Završen tečaj trajne izobrazbe liječnika UZV vrata i štitnjače, 20. i 21. listopada 2022. godine
- **Željka Laksar Klarić**, Hrvoje Mihalj, Darija Birtić, Mirjana Grebenar Čerkez: Uloga otorinolaringologa u dijagnostici i liječenju poremećaja gutanja tijekom pandemije COVID – 19; “13. Štamparovi dani”, Međunarodni tečaj 1. kategorije, 10. – 12. prosinca 2021.; usmeno izlaganje.
- **Željka Laksar Klarić**, Ana Đanić Hadžibegović, Andrijana Včeva, Tamara Živković Ivanović: Characteristics of pharyngoesophageal mucosa movement in laryngectomised patient; 50. godišnjica Europskog udruženja fonijatara (50th Anniversary celebration of UEP), 9. – 11. prosinca 2021., Beograd, Srbija; poster izlaganje
- **Ž. Laksar Klarić**, D. Birtić, M. Grebenar Čerkez: Ramsay Hunt sindrom – značaj rane dijagnostike i liječenja. Prikaz slučaja; 12. kongres Hrvatskog društva za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata, 7. – 8. svibnja 2021., Split, Hrvatska; usmeno izlaganje
- Završen 5. EAP međunarodni tečaj (5th EAP course) „Oropharyngeal dysphagia – diagnosis and management, 28. studenoga – 1. prosinca 2019. godine, Zagreb, Hrvatska
- Završena Internacionalna radionica (International Workshop): In office laryngeal procedures and one day laryngeal surgery, 8. – 9. veljače 2019. godine, Zagreb, Hrvatska

- U sklopu specijalističkog usavršavanja 4 tjedna edukacije u Fonijatrijskom centru, Klinike za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata, UKC Ljubljana, pod mentorstvom prof. Irene Hočevar Boltežar (studeni 2018. i svibanj 2019. godine.).
- **Laksar Klarić Željka**, Birtić Darija. Significance of Pepsin from Saliva in Diagnosis and Treatment of Laryngopharyngeal Reflux; 29. kongres Europskog udruženja fonijatara, (29th Congress of Union of the European Phoniaticians). 13. – 16. lipnja 2018., Helsinki, Finska; poster izlaganje
- Završen Poslijediplomski tečaj trajne izobrazbe liječnika I. kategorije Dječja otorinolaringologija – najčešće nedoumice i prijemori, 1. prosinca 2017. godine, Osijek, Hrvatska
- Završen I. tečaj trajne medicinske izobrazbe „Vestibularna rehabilitacija“, 28. listopada 2017. godine, Vukovar, Hrvatska
- 10. kongres Hrvatskog društva za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata, 24. – 27. svibnja 2017., Šibenik, Hrvatska. 1. **Ž. Laksar Klarić**, M. Rosso, B. Dmitrović i K. Marjanović: Papilarni karcinom u tiroglosalnoj cisti vrata – prikaz bolesnika; 2. D. Birtić, L. Kovač Bilić, M. Grebenar, **Ž. Laksar Klarić**: Farmakološko i nefarmakološko liječenje boli nakon operacije krajnika: poster izlaganje
- Godišnji sastanak Hrvatskog društva za ORL i kirurgiju glave i vrata, 7. – 8. svibnja 2010. u Sv. Martinu na Muri predavanje u okviru specijalizantske sekcije; TBC u ORL – bolest prošlosti u sadašnjosti (**Ž. Laksar**, A. Včeva)
- prosinac 2016. radionica za mentore (Workshop for mentors)
- Završen tečaj I. kategorije “Laringomikroskopska hirurgija“, 26. – 27. ožujka 2015. godine, Novi Sad, Srbija
- rujan 2008. usavršavanje engleskog i njemačkog jezika, AD HOC, Osijek
- kolovoz 2008. Europska računalna diploma (ECDL Certificate), Zavod za informatiku, Osijek

Znanstveni radovi

1. **Laksar Klarić, Željka**; Đanić Hadžibegović, Ana; Včeva, Andrijana; Karadža Lapić, Ljerka; Babler, Danijela; Kralik, Kristina; Bonetti, Ana; Benšić, Anja. Validation and Cross-cultural Adaptation of Croatian Self-Evaluation of Communication Experiences

- After Laryngectomy Questionnaire. *Folia Phoniatica et Logopaedica*. 2023;75(5):273-83.
2. Mihalj H., Mihalj M., Zubčić Ž., Včeva A., **Laksar Ž.**, Maleš J.: Exploring possibilities in nasal polyposis treatment at one Croatian hospital [Mogućnosti liječenja nosne polipoze u jednoj hrvatskoj bolnici]. *Medicinski glasnik*. 2012;9(1):61-5.
 3. Birtić, D., Rezo, M., Grigić, J., **Laksar Klarić, Ž.**, Grebenar Čerkez, M. The impact of national lockdown due to COVID-19 pandemic on frequency of occurrence of secretory otitis media in children-our experience [Utjecaj nacionalnog zatvaranja uslijed pandemije bolesti COVID-19 na učestalost javljanja sekretornog otitisa u djece – KBC Osijek] (2022) *Liječnički vjesnik*, 144(3-4), pp.117-120.
 4. **Laksar Klarić, Ž.**, Đanić Hadžibegović A., Včeva A., Živković Ivanović T., Birtić D., Prstačić R., Zubčić Ž. Application of high-speed videoendoscopy in laryngectomy patient-a review of the literature [Primjena ultrabrze videoendoskopije u laringektomiranih bolesnika – pregled literature] (2022) *Liječnički Vjesnik*, 144 (3-4), pp. 90–95.
 5. Prstačić, R., Penezić, A., **Laksar Klarić, Ž.**, Maržić D., Vela-Ljubić, J. Guidelines for hoarseness [Smjernice za promuklost]. (2020) *Medica Jadertina* 50(3), pp. 231-236.
 6. Grebenar Čerkez M., **Laksar Klarić Ž.**, Kovačević J., Birtić D. Unilateral Vestibular Hypofunction in an Adolescent: Case Report and Literature Review. *Central European Journal of Paediatrics* 2024;20(2); Accepted: September 10 2024.

Kongresna priopćenja, sažetci i poster

1. **Željka Laksar Klarić**, Ana Đanić Hadžibegović, Andrijana Včeva, Ljerka Čulav, Danijela Babler, Kristina Kralik, Ana Bonetti, Anja Benšić: Validacija upitnika samoprocjene komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba (SECEL: HR); *Medicina Jadertina*, Vol 53 No. Supplement 1, 2023.
2. **Laksar Klarić, Ž.**, Birtić, D., Grebenar Čerkez, M. Ramsay Hunt sindrom – značaj rane dijagnostike i liječenja. Prikaz slučaja. (2021) *Medica Jadertina*, 51 (Suplement), p. 35.
3. Včeva, A., Mendeš, T., Šestak, A., Mihalj, H., Zubčić, Ž., Kotromanović, Ž., Maleš, J., Grigić, J., Vranješ, Ž., Bajtl, V., Šoš, D., Birtić, D., **Laksar Klarić, Ž.** et al. Laringofaringealni refluks – novosti u liječenju (2021) *Medica Jadertina*, 51 (Suplement) p. 61.

4. **Ž. Laksar Klarić**, M. Rosso, B. Dmitrović i K. Marjanović: Papilarni karcinom u tiroglosalnoj cisti vrata – prikaz bolesnika; 10. kongres Hrvatskog društva za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata. Zbornik radova, sažetci. Šibenik 24. – 27. svibnja 2017.
5. D. Birtić, L. Kovač Bilić, M. Grebenar, **Ž. Laksar Klarić**: Farmakološko i ne farmakološko liječenje boli nakon operacije krajnika. 10. kongres Hrvatskog društva za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata. Zbornik radova, sažetci. Šibenik 24. – 27. svibnja 2017.

Poglavlje u knjizi

1. Bajtl, Vladimir; Burek, Mario; Gradinjan Centner, Maja; Ivanišić, Matej; Kopf, Tamara; Kopic, Vlatko; Kotromanović, Darko; Kotromanović, Zdenka; Kotromanović, Željko; **Laksar Klarić, Željka** et al.; Vodič kroz karcinom grkljana. Osijek: Klub laringektomiranih osoba Osijek; Klinički bolnički centar Osijek, 2020. godina; Poglavlje: Otežano gutanje (disfagija) nakon odstranjenja grkljana, str. 46-49.

Članstvo u znanstvenim i stručnim društvima:

- Hrvatska liječnička komora
- Hrvatski liječnički zbor
- Hrvatsko društvo za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata
- Hrvatsko društvo za audiologiju i fonijatriju
- Hrvatsko društvo za bolesti vrata Slavonije i Baranje
- Europsko udruženje fonijatara (UEP)
- Hrvatski liječnički sindikat

Ostala članstva:

- 1996. – 2016. članica Hrvatskog pjevačkog društva „Lipa“
- 2004. – 2008. članica Rotaract kluba Osijek, District 1910

12. PRILOZI

Prilog 1. *Samoprocjena komunikacijskih iskustava laringektomiranih osoba* (SECEL:HR)

**SAMOPROCJENA KOMUNIKACIJSKIH ISKUSTAVA LARINGEKTOMIRANIH
OSOBA (SECEL:HR)**

OSOBNI PODACI

IME I PREZIME

DATUM ROĐENJA

SPOL M / Ž

1. ZA KOMUNIKACIJU PRIMARNO KORISTIM:

- a) ezofagealni govor
- b) traheoezofagealni govor s govornom protezom
- c) elektrolarinks
- d) nešto drugo: _____

2. ZAVRŠENI STUPANJ OBRAZOVANJA:

- a) osnovna škola
- b) srednja škola
- c) preddiplomski studij (VŠS)
- d) diplomski studij (VSS)
- e) poslijediplomski studij (VSS)

3. JESTE LI TRENUTNO ZAPOSLENI?

- a) zaposlen/a sam na pola radnog vremena
- b) zaposlen/a sam na puno radno vrijeme
- c) samozaposlen/a sam
- d) nisam zaposlen/a
- e) umirovljen/a sam
- f) volontiram

4. KOJE JE BILO (JE) VAŠE ZANIMANJE?

5. BRAČNI STATUS

- a) neoženjen/ neudana sam

- b) oženjen/udana sam (Koliko dugo?)
 c) rastavljen/a sam (Koliko dugo?)
 d) udovac/udovica sam (Koliko dugo?)
 e) oženjen/udana sam, ali ne živim sa suprugom/mužem (Koliko dugo?)

6. DATUM KADA VAM JE POSTAVLJENA DIJAGNOZA:

7. UČINJENA VAM JE:

- a) totalna laringektomija
 c) parcijalna laringektomija (Što je odstranjeno?)
 b) radikalna disekcija vrata (desno/lijevo/obostrano)
 c) nešto drugo

UPUTE

Pred Vama se nalazi 35 izjava/pitanja laringektomiranih osoba o komunikacijskim iskustvima nakon laringektomije. Molim Vas, pažljivo pročitajte svaku izjavu/pitanje te zaokružite broj koji opisuje Vaša iskustva **SADA ili u proteklih 30 dana**. To ne uključuje prošlih godinu dana, kao ni iskustva koja ste imali prije mnogo godina. Sljedeći primjer pokazuje Vam kako.

	UVIJEK	ČESTO	PONEKAD	NIKADA
1. Imate li teškoća u razgovoru s obitelji i prijateljima?	3	2	1	0
2. Mislite li da Vas drugi ljudi prekidaju zbog Vaših teškoća s govorom?	3	2	1	0
	UVIJEK	ČESTO	PONEKAD	NIKADA
1. Osjećate li se ugodno i opušteno u društvu drugih tijekom govornih situacija?	3	2	1	0
2. Biste li za sebe rekli da ste smirena osoba?	3	2	1	0
3. Biste li sebe opisali kao aktivnu, otvorenu i pričljivu osobu?	3	2	1	0
4. Priznate li svom sugovorniku da Vam je učinjena laringektomija?	3	2	1	0
5. Mislite li da se Vaš govor poboljšava što ga duže koristite?	3	2	1	0

6. Smatrate li da manje posjećujete javna mjesta (npr. kafiće) zbog Vašeg govora?	3	2	1	0
7. Imate li teškoća s prizivanjem pažnje drugih ljudi kad govorite?	3	2	1	0
8. Imate li teškoća kada vičete ili glasno dozivate nekoga?	3	2	1	0
9. Mislite li da Vas drugi ljudi ne razumiju?	3	2	1	0
10. Morate li često ponavljati ono što govorite jer Vas netko nije razumio?	3	2	1	0
Imate li teškoća kada govorite:				
11. U velikim skupinama ljudi?	3	2	1	0
12. U manjim skupinama ljudi?	3	2	1	0
13. S jednom osobom?	3	2	1	0
14. U različitim sobama vaše kuće/stana?	3	2	1	0
15. U bučnim prostorima?	3	2	1	0
16. Na telefon?	3	2	1	0
17. U automobilu, autobusu ili tijekom putovanja?	3	2	1	0

Zbog teškoća s govorom:	UVIJEK	ČESTO	PONEKAD	NIKADA
18. Imam teškoće na zabavama i društvenim okupljanjima.	3	2	1	0
19. Razgovaram telefonom/mobitelom rjeđe nego što bi želio.	3	2	1	0
20. Osjećam se izostavljeno kada sam u grupi ljudi.	3	2	1	0
21. Ograničavam svoj društveni i privatni život.	3	2	1	0
Zbog teškoća s govorom osjećam se:				
22. Depresivno.	3	2	1	0
23. Frustrirano zato što me članovi obitelji i prijatelji ne mogu razumjeti.	3	2	1	0
24. Drugačijim/čudnim u odnosu na druge.	3	2	1	0
25. Izbjegavate li upoznavanje novih ljudi zbog Vašeg govora?	3	2	1	0
26. Smatrate li da ste izostavljeni iz razgovora zbog Vašeg govora?	3	2	1	0
27. Izbjegavate li razgovor s drugima zbog Vašeg govora?	3	2	1	0

28. Dopunjavaju li Vas drugi ljudi tijekom govora ili završavaju rečenice umjesto Vas?	3	2	1	0
29. Prekidaju li Vas drugi dok govorite?	3	2	1	0
30. Govore li Vam drugi ljudi da Vas ne razumiju?	3	2	1	0
31. Smatrate li da drugim ljudima smeta način na koji govorite?	3	2	1	0
32. Izbjegavaju li Vas drugi ljudi zbog govora?	3	2	1	0
33. Jeste li primijetili da drugi ljudi drugačije razgovaraju s Vama?	3	2	1	0
34. Smatrate li da Vaši bližnji ne razumiju kako je to komunicirati Vašim načinom govora?	3	2	1	0
35. Procjenjujete li da sada govorite jednaku količinu vremena kao i prije laringektomije?		MANJE	JEDNAKO	VIŠE

Samo za kliničku uporabu:

ukupni rezultat : _____

opća podskala (0 – 15) _____

podskala okoline (0 – 42) _____

podskala stavova (0 – 45) _____

Srednja vrijednost ukupnog rezultata za dobro prilagođene bolesnike iznosi 36 uz standardnu devijaciju 12. Bilo koja zaokružena stavka može se koristiti za identificiranje potreba za savjetovanjem. Savjetovanje o prilagodbi na novi glas preporučuje se za pacijente s rezultatom iznad 60.