

Rīgas Stradiņa universitāte

Rezidentūras studiju fakultāte
Ortodontijas programma

**Trīsdimensiju sejas mīksto audu izmaiņas pēc ortognātiskās
ķirurģijas.**

Darba autore:
Irina Jefimova
Studenta apliecības Nr.21-005201

/paraksts/

Darba vadītājs:
Andris Ābeltiņš
Dr.med., asoc. profesors
RSU Ortodontijas katedra

/paraksts/

Rīga, 2024

Anotācija

Ievads. Pēdējos gados, attīstoties tehnoloģiju nozarei, lai varētu kvantitatīvi novērtēt sejas mīksto audu izmaiņas pēc ortognātiskās operācijās izmanto trīsdimensionālus attēlus, kas ļauj pārvarēt divdimensionālās analīzes trūkumus, iegūstot precīzāku sejas mīksto audu morfoloģijas attēlu. Precīza KSDT attēlu un 3D sejas attēlu uzslāņošana dod iespēju noteikt mīksto audu pārvietojuma korelāciju pret cietajiem audiem trijās dimensijās. Šo datu integrācija operācijas plānošanas programmatūrā var palīdzēt ortognātiskās operācijas plānošanā un komunikācijā ar pacientu.

Mērķis: Šis darbs ir zinātniskās literatūras apskats par sejas mīksto audu izmaiņām pēc ortognātiskās ķirurģijas trijās dimensijās. Darba mērķis ir pārbaudīt ar stereofotogrammetrijas palīdzību iegūto trīsdimensionālo attēlu punktu atlikšanas precizitāti un ticamību.

Materiāli un metodes: Literatūra tika meklēta gan brīvpieejas, gan RSU abonētajās datubāzēs - pilns teksts, angļu valoda, sistemātiskie pārskati, meta-analīzes, randomizēti pētījumi, retrospektīvi un prospektīvi pētījumi. Ar stereofotogrammetrijas palīdzību iegūto 3D attēlu atskaites punktu novietošanas precizitātes noteikšanai tika izmantoti ar 3dMD sejas skeneri (ASV) iegūti attēli, kas veikti skeletālas II un III klases pacientu grupai, pirmsoperācijas, 24 un 36 mēnešus pēc viena vai divu žokļu ortognātiskās operācijas. 21 antropometriskais punkts tika atlikts, izmantojot *3dMD Vultus* programmu. Lai noteikt intra-operatora uzticamības lielumu tika noteikts intraklases korelācijas koeficients (IKK) starp atskaites punktiem uz X, Y, Z asīm ar 95% ticamības intervālu (TI). Starp-eksaminētāju saskaņotību noteica aprēķinot starpklases korelācijas koeficientu (SKK), izmantojot abu eksaminētāju pirmo uz pirmsoperācijas 3D sejas attēliem punktu atlikšanas reizi.

Rezultāti: Darba autora intraklases korelācijas koeficients robežās no 0.947 līdz 1. Rezultāti liecina par ļoti labu uzticamību un, ka mērījumi ir ļoti līdzīgi, IKK ir statistiski nozīmīgs ($p < 0,001$). Starpklases korelācijas koeficientu rezultāti parādīja labu saskaņotību starp eksaminētājiem. SKK ir robežās no 0.990 līdz 1. Nav statistiski nozīmīgas atšķirības starp eksaminētājiem attiecībā uz sejas antropometrisko punktu atlikšanu ar 2 nedēļu intervālu.

Secinājumi: Literatūras apskats norāda uz to, ka starp 3D pētījumiem par mīksto audu izmaiņām pēc ortognātiskās operācijas pastāv plaša heterogenitāte attiecībā uz metodoloģiju, izlases lielumu, pielietotu ķirurģisko tehniku, cieto audu pārvietojuma lielumu, pacientu etnisko izcelsmi, vecumu un dzimumu. Līdz ar to ir nepieciešama piesardzīga datu interpretācija. Mīksto audu izmaiņu analīze trijās dimensijās tiek veiktas pārsvarā 6 līdz 12 mēnešus pēc ortognātiskās ķirurģijas. Trūkst ilgtermiņa 3D pētījumi, kas izvērtētu arī skeletālo recidīvu un mīksto audu izmaiņu stabilitāti.

Atslēgas vārdi: ortognātiskā ķirurģija, trīsdimensiju mīksto audu izmaiņas, stereofotogrammetrija

Abstract

Introduction: The introduction of the whole range of digital data acquisition devices and types of software in recent years, allows to analyze soft tissue changes after orthognathic surgery by using three-dimensional images, that overcome the disadvantages of two-dimensional analysis and obtain a more accurate image of facial soft tissues morphology. Superimposition of CBCT and 3D- photographic data allows to determine the soft-to-hard tissue ratio in different types of orthognathic surgery. This data can improve 3D surgical planning and provide more accurate soft tissue changes predictions.

Aim: The aim of this study was to review the available scientific literature about 3D soft tissue changes after orthognathic surgery. As well as to evaluate the intra- and inter-operator reliability and reproducibility of soft tissue landmarks on three-dimensional stereophogrammetric images.

Materials and methods: A search for the relevant studies was performed in the free access databases as well as in RSU subscribed e-databases – full text, English language, systematic reviews, meta-analysis, randomized controlled trials, retrospective and prospective studies. To evaluate the intra- and inter-operator reliability stereophotogrammetric images of patients with skeletal Class II and III malocclusion who underwent orthodontic treatment and orthognathic surgery were used. Stereophotogrammetric images were obtained using the 3dMD Face (*3dMD TM Ltd, USA*) system before surgery, 24 and 36 months after orthognathic surgery. The 21 anthropometric landmarks were digitally marked on 3D facial image in *3dMD Vultus*. Intra-class correlation coefficient (ICC) with 95% confidence interval was used to assess intra- and inter-operator reliability.

Results: The intraclass correlation coefficient 95% CI range was 0.947–1. That indicate excellent reliability. Inter-class correlation coefficient showed good inter-examiner agreement (ICC 95% CI range 0.990-1), indicating no statistically significant difference in the accuracy of landmark positions between both operators' measurements obtained within 2-week interval.

Conclusions: The analysis of research available on 3D soft tissue changes after orthognathic surgery revealed methodological differences between articles, small sample size, there are

differences in surgical techniques used, magnitude of skeletal movement, patient ethnicity, age and sex. That means that available data should be interpreted with caution. Available studies that evaluate 3D soft tissue changes after orthognathic surgery have 6 to 12 months follow up periods. A long-term evaluation should be performed to study skeletal relapse and soft tissue stability after orthognathic surgery.

Key words: orthognathic surgery, three-dimensional soft tissue changes, stereophotogrammetry

Satura rādītājs

Ievads.	8
1. Literatūras apskats.	10
1.1. Faktori, kas ietekme mīksto audu atbildi pēc ortognātiskas operācijas.	10
1.2. Plānošanas programmatūru 3D cieto un mīksto audu pārvietojuma simulācijas precizitāte.	12
1.3. Mīksto audu izmaiņas pēc ķirurģiskā pārvietojuma lieluma.	14
1.4. Sejas mīksto audu izmaiņas skeletālas III klases pacientiem pēc ortognātiskās operācijas.	16
1.5. Sejas mīksto audu izmaiņas skeletālas II klases pacientiem pēc ortognātiskās operācijas.	19
1.6. KSDT attēla un 3D mīksto audu attēlu uzslāņošana.	20
2. Materiāli un metodes.	22
2.1. Ar stereofotogrammetrijas palīdzību iegūto trīsdimensionālo attēlu punktu atlikšanas precizitāte.	22
2.2. Statistiska analīze.	23
3. Rezultāti.	24
4. Diskusija.	27
5. Secinājumi.	31
Literatūras saraksts.	32

Lietotie saīsinājumi

2D - divdimensionāls

3D - trīsdimensionāls

KSDT – konusa stara datortomogrāfija

DT - datortomogrāfija

IKK- intraklases korelācijas koeficients

SKK- starpklases korelācijas koeficients

BSSO - bilaterāla sagitāla split osteotomija

Ievads.

Viens no ortognātiskās operācijas mērķiem ir uzlabot sejas harmoniju un estētiku. Cieto audu pārvietojumam seko mīkstie audi, un veikti dažādi pētījumi, lai kvantitatīvi novērtēt saistību starp mīksto un cieto audu izmaiņām pēc ortognātiskas operācijas (*Olate et al. (2017); Gill et al. (2017)*). Dentofaciāla deformācija ietekmē indivīdus daudzos dzīves aspektos - gan funkcionāli, gan psiholoģiski. Ortognātiskajai ķirurģijai ir ievērojamā pozitīva ietekme uz ar veselību saistītu dzīves kvalitāti (*Sun et al., 2018*). Precīza cieto un mīksto audu pārvietojuma plānošana ir svarīga vēlama rezultāta sasniegšanai.

Pētījumi, kas kvantitatīvi apraksta sejas mīksto audu izmaiņas pēc ortognātiskajām operācijām pārsvarā veiktas divas dimensijas un izmanto pirms un pēc operācijas laterālo cefalogrammu uzslāņojumu analīzi. Lai gan šī metode ir ērta, vienkārša un ekonomiska, tai ir zināmi ierobežojumi – analīze notiek tikai midsagitāla projekcijā, mērījumus ietekme projekcijas leņķis un attālums (nevienmērīgs palielinājums, struktūru pārklāšanās) - iegūta informācija par mīksto audu pārvietojumu nav precīza, kas var rādīt neobjektivitātes riskus. Citi rezultātu ietekmējošie faktori ir mazas pētījumu grupas, standartizētu mērīšanas metožu trūkums, ķirurģisko tehniku atšķirības (*Olate et al., 2017; San Miguel Moragas et al., 2014*).

Pēdējos gados, attīstoties tehnoloģiju nozarei, lai varētu kvantitatīvi novērtēt sejas mīksto audu izmaiņas pēc ortognātiskās operācijās izmanto 3D attēlus - stereofotogrammetrija, 3D virsmas lāzerskenēšana, konusa staru datortomogrāfija (KSDT), datortomogrāfija vai magnētiskā rezonance. 3D digitālo attēlu analīzei var izmantot virsmas vai tilpuma (volumetriskas) metodes. KSDT, datortomogrāfiju (CT) un magnētisko rezonanci pieskaita pie tilpuma (volumetriskām) metodēm. KSDT attēlu uzslāņošana sniedz informāciju par skeleta struktūru pārvietojumu un virspusējiem mīkstajiem audiem trijās dimensijās, tomēr šai metodei ir trūkumi attiecībā uz mīksto audu novērtēšanu. Neprecizitātes saistītas ar zemu attēlu izšķirtspēju. Metodi sarežģī arī attēla rekonstrukcija, punktu atlikšanas kļūdas, laukietilpīgums (*Metzger et al., 2013*).

Salīdzinājumā ar KSDT - stereofotogrammetrijas un 3D virsmas lāzerskenēšanas izmeklējumi tiek veikti bez jonizējošā starojuma, ka arī tiek iegūts precīzāks sejas mīksto audu morfoloģijas attēls, kas atspoguļo ādas tekstūru un krāsu. Izmeklējuma laiks ir īsāks par KSDT izmeklējumu, iekārtas ir viegli operējamas. Tomēr arī šīm metodēm ir savi trūkumi- nespēja vizualizēt mīkstus un cietus audus vienlaicīgi. Līdz ar to pētījumos par mīksto audu

pārvietojuma attiecībām pret cietajiem audiem 3D sejas attēlus apvieno ar divdimensionāliem datiem (laterālas cefalogrammas) vai ar 3D KSDT attēliem. Šajā literatūras apskatā primāri tika izmantoti pētījumi, kas mīksto un cieto audu pārvietojuma attiecību analīzei izmanto KSDT un 3D sejas attēlus. Gadījumos, kad pietrūkst 3D dati par kādu no interesējošiem reģioniem izmantoti pētījumi, kas analizē divdimensionālus datus.

Darba hipotēze – Stereofotogrammetrijas metodei ir augsta orientieru reproducējamība un uzticamība. Lai noteikt aktuālas problēmas un nākotnes pētījuma zinātniskā uzstādījuma formulēšanai autors iepazinās ar pieejamo zinātnisko literatūru par sejas mīksto audu trīsdimensionālām izmaiņām, esošo pētījumu metodoloģiju, rezultātiem un trūkumiem.

Darba mērķis

Apkopot zinātnisko literatūru par sejas mīksto audu izmaiņām pēc ortognātiskās ķirurģijas trijās dimensijās, ka arī pārbaudīt ar stereofotogrammetrijas palīdzību iegūto trīsdimensionālo attēlu punktu atlikšanas precizitāti un ticamību.

Darba uzdevumi

1. Apkopot zinātnisko literatūru par sejas mīksto audu izmaiņām pēc ortognātiskās ķirurģijas trijās dimensijās:
 - Par faktoriem, kas ietekme mīksto audu atbildi pēc ortognātiskas operācijas.
 - Plānošanas programmatūru 3D cieto un mīksto audu pārvietojuma simulācijas precizitāte.
 - Mīksto audu izmaiņas pēc ķirurģiskā pārvietojuma lieluma, operācijas tipa (viens vai divi žokļi), nozoloģiskās vienības (skeletāla II vai III klase), dzimuma un vecuma.
 - Izmaiņas sagitālā, transversālā un vertikālā dimensijā.
 - Izmaiņas lūpu rajonā un tilpumā.
 - KSDT attēla un 3D mīksto audu attēlu uzslāņošana.
 - Noteikt rakstu trūkumus un problēmas, kuras varētu pētīt nākotnē.
2. Pārbaudīt ar stereofotogrammetrijas palīdzību iegūto trīsdimensionālo attēlu punktu atlikšanas precizitāti un ticamību, izmantojot 3D sejas attēlus, kas tika veikti skeletālas II un III klases pacientiem 24 un 36 mēnešus pēc ortognātiskās operācijas.

1. Literatūras apskats.

1.1. Faktori, kas ietekme mīksto audu atbildi pēc ortognātiskas operācijas.

Pastāv liela individuāla variācija attiecībā uz mīksto audu atbildi pēc ortognātiskas operācijas. Literatūrā visbiežāk minētie faktori, kas ietekme individuālo mīksto audu atbildi:

- **Mīksto audu biezums.**

Jo biezāki ir mīkstie audi, jo mazāk tie seko cieto audu pārvietojumam. Vairāku 2D pētījumu rezultāti apraksta šo korelāciju. *Mobarak et al.* veica laterālo cefalogrammu uzslāņošanu 61 pacientam. 2D dati iegūti pirms un 6 mēnešus, 1 gadu un 3 gadus pēc apakšžokļa ķirurģiskā pārvietošanas uz priekšu (bilaterālas sagitālas *split* osteotomijas). Retrospektīva pētījuma rezultāti norāda uz to, ka pacientiem ar biezāku apakšlūpu novēroja mazāku tās pārvietošanu uz priekšu, apakšlūpa kļūst plānāka (*Mobarak et al., 2001a*). Arī *Joachim et al., 2022* retrospektīvs pētījums norāda uz līdzīgiem rezultātiem- veicot laterālo cefalogrammu uzslāņošanu 6 mēnešus pēc augšžokļa vai apakšžokļa pārvietošanās uz priekšu mazāks mīksto audu pārvietošanas apjoms pozitīvi korelē ar biezākiem mīkstajiem audiem pirms operācijas (*Joachim et al., 2022*).

Novērtējot sejas mīksto audu biezuma izmaiņas pēc ortognātiskās operācijas jāņem vērā vairākus faktorus – muskuļu tonusu, vecuma izmaiņas, pacienta svara izmaiņas novērošanas periodā. *Bishara et al.* atzīmē, ka augšlūpa un apakšlūpa paliek vairāk retruzīvas vecumā no 15-25 gadiem, ka arī sejas mīksto audu profils pastāvīgi mainās arī pēc 25 gadu vecuma (*Bishara et al., 1998*). *Stella et al.* novēroja 21 pacientus 6 mēnešus pēc augšžokļa pārvietošanas uz priekšu un secināja, ka augšlūpas izmaiņas ir atkarīgas no augšlūpas biezuma, ka arī lūpas biezums stabilizējas 6 mēnešus pēc operācijas (*Stella et al., 1989*). Arī deguna mīkstie audi mainās pieauguša vecumā (*Bishara et al., 1998*). Lai samazināt 3D mīksto audu izmaiņu analīzes kļūdas vairāku pētījumu autori rekomendē ņemt vērā pacientu ķermeņa masas indeksu un vecumu.

Apkopojot pētījumus par mīksto/cieto audu pārvietošanas 3D analīzi mīksto un cieto audu pārvietošanas attiecības ir lielākas sejas centrālā daļā nekā laterālos rajonos. Mīkstie audi sejas centrālā daļā vairāk seko cieto audu pārvietošanai, jo parasti tie ir plānāki ar lielāko piesaisti

pie kaula struktūrām salīdzinājumā ar biezākiem, un ar mazāku piesaisti pie kaula, sejas laterālo rajonu mīkstajiem audiem (*Lo et al., 2018*).

- **Pacienta vecums.**

Ar vecumu mīkstie audi paliek plānāki, ka arī samazinās muskuļu tonuss (*Swift et al., 2021*). Ja muskuļu tonuss ir lielāks ir ciešāka saistība starp mīksto un cieto audu pārvietojumu. Līdz ar to vecākiem pacientiem (> 40 gadiem) novēro mazāka apjoma mīksto audu izmaiņas pēc ortognātiskās operācijas, salīdzinot ar jaunākiem indivīdiem (*Gill et al., 2017*). *Tabchi et al. 2023.g.* sistemātiska pārskata rezultāti par trīsdimensiju programmatūru prognozēšanas precizitāti bimaksilāras osteotomijas pacientiem norāda uz to, ka arī mīksto audu pārvietojuma simulācijas precizitāte samazinās līdz ar pacienta vecuma pieaugumu. Vecums ietekme mīksto audu elasticitāti, zemādas tauku sadalījumu un orofaciālo muskuļu tonusu (*Tabchi et al., 2023*).

- **Pacienta dzimums.**

Daži 2D retrospektīvie pētījumi apraksta dzimuma ietekmi uz mīksto audu atbildi. *Mobarak et al.* un *Kolokitha et al.* apraksta, ka augšlūpas un zoda mīksto audu atbilde uz apakšžokļa ķirurģisko pārvietojumu uz aizmuguri ir lielāka sievietēm nekā vīriešiem (*Mobarak et al., 2001b*) *Kolokitha et al., 2012*). *Joss et al.* norāda, ka sievietēm, atšķirībā no vīriešiem ilgtermiņā (12,7 gadus) pēc apakšžokļa pārvietojuma uz aizmuguri novēro turpmāko apakšlūpas un zoda mīksto audu pārvietojumu uz aizmuguri- horizontālo stabilitāti. Autori izskaidro, ka sievietēm zoda mīkstie audi turpina augt vairāk vertikāli uz leju, bet vīriešiem uz priekšu un uz leju (*Joss et al., 2008*).

- **Muskuļu piestiprinājuma vietu un lieluma anatomiskās variācijas.**

Lisboa et al. sistemātiskā pārskatā un *Zhang et al.* retrospektīva pētījumā (KSDT un stereofotogrammetrijas dati) rezultāti norāda uz lielākām mīksto audu izmaiņām sejas muskuļu piestiprinājuma vietās. Novērtējot mīksto audu izmaiņas veidojas korelācija vertikālā virzienā (vertikālais gradients) - lielākas izmaiņas notiek mīksto audu *pogonion*, tad mīksto audu izmaiņas samazinās vertikāli apakšlūpas virzienā (*Zhang et al., 2024; Lisboa et al., 2018*).

- **Izmantotās ķirurģiskās tehnikas.**

Operācijas mīksto audu grieziena apjoms, osteotomijas griezienu novietojums (piemēram, subspināli LeFort I), augšlūpas V-Y slēgšana, *alar cinch* šuve un fiksācijas metode ir daži faktori, kas var ietekmēt mīksto audu atbildi. Lai samazināt deguna nāsu paplašināšanos pārvietojot augšžokli uz priekšu tiek pielietotas dažādas ķirurģiskas tehnikas. Viena no tām ir deguna nāsu pamatnes *cinch* šuve, kas minimizē nāsu paplašināšanos (Gill et al., 2017). Cita metode ir V-Y augšlūpas slēgšanas tehnika, kas rekonstruē nazolabiālo muskulatūru, ka arī samazina augšlūpas tendenci saīsināties pēc liela apjoma augšžokļa pārvietojuma uz priekšu. Toties rezultātā palielinās arī augšlūpas protrūzija un *vermilion* biezums (Lee et al., 2023). Deguna nāsu paplašināšanos ietekme arī mīksto audu preparēšana, periostā elevācija, kas rada muskuļu retrakciju (Paredes de Sousa Gil et al., 2019).

1.2. Plānošanas programmatūru 3D cieto un mīksto audu pārvietojuma simulācijas precizitāte.

Programmas, kas tiek izmantotas ortognātiskas operācijas plānošanai izmanto lineārus, vai nelineārus algoritma struktūras, kas nosaka izmaiņu vidējas vērtības, tāpēc nevar precīzi prognozēt paredzētas mīksto audu izmaiņas konkrētam indivīdam. Lielākoties plānošanas programmas sniedz tikai priekšstatu par plānotām izmaiņām, un tie parasti ir redzami tikai viena dimensijā/ projekcija– no profila (Olate et al., 2017).

Mīksto un cieto audu pārvietojuma attiecību analīzei un pārvietojuma simulācijai operāciju plānošanas programmatūras izmanto dažādus algoritmus. Daži no tiem ir balstīti uz punktu orientieru interpolācijas metodi (*Dolphin – sparse landmark based algorithms*), citi izmanto tilpuma modeļus - *mass-spring* modeli, *finite element* modeli (FEM) un *mass tensor* modeli (MTM) (*Maxilim, Simplant O&O, IPS CaseDesigner*)(Knoops et al., 2019). Visu iepriekšminēto algoritmu mērķis ir prognozēt mīksto audu pārvietojumu, pamatojoties uz korelācijām starp cietajiem un mīkstajiem audi, ka arī nosacījumu, ka tiek panākts precīzs cieto audu plānots ķirurģisks pārvietojums. Tomēr joprojām trūkst datu par visu šo metožu algoritmu validāciju (Paredes de Sousa Gil et al., 2019; Ter Horst et al., 2021).

Elshebiny et al. par divu žokļu ortognātiskas operācijas 3D plānošanai un mīksto audu pārvietojuma simulācijai izmantoja *Dolphin* programmatūru. Autori konstatēja, ka vismazākā precizitāte attiecībā uz mīksto audu pārvietojuma simulāciju ir novērojama sejas vidējas trešdaļas (augšlūpas un deguna pamatnes) rajonā – *subnasale*, mīksto audu A punkts un zem deguna spārnu rajons (Elshebiny et al., 2019).

Olivetti et al., 2019.g. sistemātiskā pārskata rezultāti norāda uz to, ka pieejamas 3D plānošanas programmatūras (*Proplan CMF*(*finite difference method*), *Dolphin Imaging*, *Simplant O&O*, *Maxilim*, *IPS CaseDesigner*) precīzi prognozē cieto audu pārvietojumu (veiksmes kritēriji - lineāra atšķirība starp plānoto un reālo < 2 mm ; rotācijas atšķirības < 4 grādiem). Cieto audu pārvietojuma precizitāti nodrošina printēto CAD/CAM okluzālo šinu (*wafer*) izmantošana. Savukārt mīksto audu pārvietojuma simulācija ir sarežģīta sakarā ar sejas mīksto audu komponentu (muskuļu, gļotādas, fasciju un citu) dažādas elasticitātes dēļ. Ir pētījumi, kuros mīksto audu pārvietojuma simulācija ir klīniski apmierinoša/pieņemama (kļūdas < 2 mm), tomēr daļa pētījumu pieņem arī lielākas kļūdas mīksto audu pārvietojuma prognozēšanā, dažreiz nozīmīgas, ar plašu standarta deviācijas diapazonu (Olivetti et al., 2019).

Apkopojot esošās literatūras datus par 3D plānošanas programmatūru mīksto audu pārvietojuma simulācijas precizitāti pacientiem, kuriem veikta bimaksilārā ortognātiskā ķirurģija, secināja, ka vismazākā precizitāte ir attiecība uz apakšlūpas pārvietojuma prognozēšanu – 1.4 mm kļūda, izmantojot *Maxilim* programmu; 3.86 mm kļūda, izmantojot *Dolphin* programmu; 1.42 mm kļūda, izmantojot *Proplan CMF* un 2.5 mm kļūda, izmantojot *IPS CaseDesigner* programmu. Par iespējamiem iemesliem min incīsu pozīciju un inklināciju, mīksto audu un periorālo muskuļu biezumu un tonusu, iespējamo lūpu saspringumu izmeklējuma laikā, ortodontisko aparatūru esamību pirms operācijas un neesamību novērtējot rezultātus pēc ārstēšanas, ka arī programmatūru tehniskas limitācijas. Turklāt, izmantojot *Simplant®Pro* programmatūru, atrada lielas simulācijas kļūdas ne tikai attiecībā uz apakšlūpu, bet arī labo un kreiso mutes kaktiņu, *pogonion* un zodu (Tabchi et al., 2023).

Yamashita et al. retrospektīva pētījuma rezultāti par mīksto audu pārvietojuma simulāciju *Dolphin* programmatūrā divu žokļu operācijas gadījumā, norāda, ka skeletālas III klases pacientiem (42 pacienti) simulācija ir samēra precīza, ar mazāk par 2 mm novirzi. Savukārt II klases pacientiem (46 pacienti) prognozētie apakšžokļa pārvietojuma lielumi bija mazāki par reālo pārvietojumu, ar vislielāko neatbilstību apakšlūpas rajonā (2.73 mm) (Yamashita et al., 2022).

Kopumā autori uzsver, ka mīksto audu pārvietojuma simulācija joprojām ir neskaidra, katrai programmai ir savi ierobežojumi, un ir rūpīgi jāizvērtē esošo programmatūru simulācijas datu izmantošanu komunikācijā ar pacientu.

1.3. Mīksto audu izmaiņas pēc ķirurģiskā pārvietojuma lieluma.

Dati par to kā mīkstie audi seko cietajiem audiem var palīdzēt uzlabot 3D plānošanas programmatūru mīksto audu pārvietojuma simulācijas precizitāti, ka rezultāta arī komunikāciju ar pacientu pirms operācijas. Toties jāņem vērā, ka starp pētījumiem pastāv liela heterogenitāte-ķirurģiska tehnika, ķirurģiskā pārvietojuma lielums, pacientu vecums, dzimums, rase un citi. Gan 2D, gan 3D pētījumu autori secina, ka cieto un mīksto audu pārvietojuma attiecību dati ir vidējas vērtības, bieži vien ar lielo standarta novirzi, un tie neatspoguļo individuālo pacientu mīksto audu atbildes reakciju (*Olate et al., 2017; San Miguel Moragas et al., 2014*).

Mīksto audu izmaiņas atkarībā no ķirurģiskā pārvietojuma lieluma ir lielākoties pētītas tikai divdimensionāli. Rezultāti norāda uz to, ka mīksto un cieto audu pārvietojuma attiecību ietekme augšžokļa ķirurģiskā pārvietojuma uz priekšu apjoms. Pie neliela pārvietojuma augšlūpas pret augšžokļa incisivu šķautņņu horizontālo pārvietojumu un deguna gala pret ANS saistības ir vairāk lineāras, bet pie lieliem cieto audu pārvietojumiem ne vienmēr būs proporcionāli liels mīksto audu pārvietojums (*San Miguel Moragas et al., 2014; Olate et al., 2016*). Šo mēģina izskaidrot ar to ka, iespējams biezie augšlūpas audi absorbē lielāko daļu no augšžokļa pārvietojuma uz priekšu, tādējādi samazinot mīksto audu izmaiņu apjomu. Otra teorija saistīta ar to, ka pie izteiktas augšžokļa retrognātijas starp augšžokļa dentoalveolārām struktūrām un augšlūpas gļotādas virsmu ir “gaiss kabata” (“*dead space*”), līdz ar to augšžokļa pārvietojums šajā telpā nav pamanāms mīkstajos audos līdz dentoalveolārais komplekss ir kontaktā ar augšlūpu.

Mīksto audu pārvietojuma attiecības pret cietajiem audiem ir atkarīgas arī no tā, vai veikta viena žokļa, vai divu žokļu operācija. 2D pētījumu dati norāda, ka zoda mīksto audu horizontāls pārvietojums pret cieto audu pārvietojumu uz priekšu ir lielāks, kad veikta divu žokļa operācija (*Bral et al., 2020*). Arī *Verdenik et al.* izmantojot III skeletālas klases pacientu 3D sejas attēlus konstatēja lielāka apjoma mīksto audu pārvietojumu zoda un apakšlūpas rajonā pēc divu žokļu operācijas salīdzinājumā ar BSSO gan sagitāli, gan vertikāli (*Verdenik and Ihan Hren, 2014*).

Atšķirības novēro arī starp augšžokli un apakšžokli gan sagitālā, gan vertikālā plaknē. *Olate et al.* apkopoja 16 retrospektīvo 2D cefalometrijas pētījumu datus par mīksto-cieto audu pārvietojuma attiecībām pēc divu žokļu operācijām skeletālas II un III klases pacientiem. Autori

secina, ka sagitālā plaknē apakšžokļa mīkstie audi vairāk seko cietajiem audiem nekā augšžokļa mīkstie audi. Augšžoklī sagitālā plaknē *Subnasale:ANS* dati variēja no 60 - 90% (5 pētījumi); augšlūpas *Ls:U1* dati variē no 60% līdz 100% (6 pētījumi). Vertikālā plaknē variabilitāte saglabājās - *Subnasale: A* no 54% līdz 91% (3 pētījumi) un *Ls:U1* starp 66% un 97% (3 pētījumi). Savukārt dati attiecībā uz apakšžokļa mīksto-cieto audu pārvietojumu ir vairāk vienmērīgi – mīksto audu zoda pārvietojums pret cieto audu *pogonion* punkta horizontālo pārvietojumu variē no 90% līdz 100% (8 pētījumi) un mentolabiāla leņķa pret B punktu *Mla:B* punkts 100% (6 pētījumi) (*Olate et al., 2016*).

Vertikālā plaknē - sejas mīksto audu pārvietojums ir lielāks pie ķirurģiskā apakšžokļa pārvietojuma uz leju ($sMe : Me = 96\%$), nekā pie apakšžokļa ķirurģiskā pārvietojuma uz augšu ($sMe: Me = 85\%$). Zoda pārvietojums uz leju samazina submentālo mīksto audu biezumu, ka rezultātā mīkstie audi vairāk seko cietajiem audiem. Toties dati par izmaiņām vertikālā plaknē ir ļoti variabli (*Olate et al., 2016; Bral et al., 2020*).

Olate et al. 2017.g. sistemātiskais pārskats par mīksto/cieto audu pārvietojuma 3D analīzi, norāda uz lielām atšķirībām starp pētījumu metodoloģijām – pētījuma grupu, izmeklējuma un ķirurģijas veidu, dažādu 3D plānošanas programmatūru izmantošanu. Pārskatā ir iekļauti pētījumi, kas veikti Eiropā un ASV. Atšķirīgas ir arī mīksto audu pārvietojuma kvantitatīvas mērīšanas metodes- anatomisko virsmu analīze vai atskaites punktu analīze. Atskaites punktu izmantošana savukārt ir mazāk precīza metode un palielina potenciālo mērījumu kļūdu risku. Aprakstošā analīzē tika iekļauti 11 pētījumi, 6 prospektīvi un 5 retrospektīvie, ar kontroles periodu no 6. -12. mēnešiem. Mīksto un cieto audu 3D analīzei izmantoja KSDT datus, izņemot tikai divus pētījumus, kuros mīksto audu analīzei izmantoja 3D fotogrāfijas. 9 no 11 pētījumiem veikta tikai mīksto audu pārvietojuma analīze, bez cieto audu pārvietojuma referencēm. Līdz ar to nav iespējams noteikt korelācijas starp cieto audu un mīksto audu pārvietojumiem pēc ortognātiskās operācijas. Autori atzīmē, ka visvairāk neprecīzi 3D analīzes dati par to, kā mīkstie audi seko cietajiem audiem ir augšlūpas, apakšlūpas un deguna rajonos. Mīksto un cieto audu pārvietojuma attiecību precizitāti ietekme pacienta galvas pozīcija veicot izmeklējumu, pacienta svara izmaiņas, pēcoperācijas pietūkums (kas samazinās vismaz par 80% 6 mēnešos pēc operācijas (*Gill et al., 2017*)), ortodontisko aparatūru noņemšana, žokļu pārvietojuma un rotācijas lielums, plānošanas programmatūras un algoritmu

izvēle. Tā kā lielākajā daļā pētījumu pastāv nopietns neobjektivitātes risks, ir nepieciešama piesardzīga datu interpretācija (Olate et al., 2017).

1.4.Sejas mīksto audu izmaiņas skeletālas III klases pacientiem pēc ortognātiskās operācijas.

Skeletālas III klases dentofaciāla deformācija ietekmē indivīdus daudzos dzīves aspektos - gan funkcionāli, gan psiholoģiski. Gadījumos, kad pacientam ir tik smaga dentofaciāla deformācija, kas nav ārstējama tikai ar ortodontisku zobu pārvietošanu, tiek veikta kombinēta ortodontiska un ķirurģiska ārstēšana jeb ortognātiskā ķirurģija. Literatūrā apraksta sejas mīksto audu izmaiņas skeletālas III klases pacientiem pēc viena vai divu žokļu operācijas.

Verdenik et al. aprakstīja skeletālās III klases pacientu mīksto audu izmaiņas trijās dimensijās atkarībā no tā vai operēts viens žoklis vai divi žokļi. Prospektīvā pētījumā iekļauti 83 pacienti, kas tika sadalīti trijās grupās – apakšžokļa bilaterāla sagitāla split osteotomija (n=45), LeFort I ar augšžokļa pārvietošanu uz priekšu (n=10), vai abu kombinācija (n=28). Visās grupās pacientiem novēro vienlīdzību starp KMI, vecumu un Wits. 3D analīze tika veikta izmantojot 3D sejas attēlus, kas tika veikti ar optisko 3D skeneri (Artec, Luksemburga). Attēli reģistrēti izmantojot abu orbitu un pieres rajonus pirms un 6 mēnešus pēc operācijas. Veicot 3D attēlu uzslāņošanu tika noteiktas vidējas distances starp interesējošiem sejas reģioniem, analizējot iegūtas krāsu kartes. Mīksto audu izmaiņu apjoms korelēja ar ķirurģiskā pārvietoējuma lielumu, bet neatkarīgi no operācijas veida – mīksto audu izmaiņas novēroja visā sejā. Tā novērtējot sejas vidējas trešdaļas mīksto audu izmaiņas operācijas ietekmē (deguns, vaigi un augšlūpa)– lielākas izmaiņas, likumsakarīgi, notika LeFort I grupā nekā divu žokļu operācijas grupā. Tomēr mazāka apjoma, bet statistiski nozīmīgas izmaiņas novēroja augšlūpas un vaigu mīkstajiem audiem arī pēc tikai apakšžokļa BSSO. Šie secinājumi ir arī saskaņā ar Lee et al. (2010), Kim et al.(2006) 3D pētījumu rezultātiem par apakšžokļa setback operāciju. Izmaiņas lūpu rajonā var saistīt ar *mm.orbicularis oris* šķiedru orientāciju un mīksto audu iestiepumu, neskatoties uz to, ka nav ķirurģiska augšžokļa pārvietoējuma. Tapāt arī LeFort I grupā novēroja mīksto audu izmaiņas apakšlūpas un zoda rajonā. Pētījuma rezultāti atbalsta konceptu, ka sejas mīkstie audi reaģē uz ortognātisko operāciju kā viena vienība (Verdenik and Ihan Hren, 2014).

Peng et al. (2024) retrospektīvajā pētījumā salīdzināja attiecību, ar kādu mīkstie audi pārvietošanas attiecībā pret cieto audu pārvietošanu pēc divu žokļu ortognātiskās operācijas

skeletālas III klases pacientiem, izmantojot KSDT attēlus 1 gadu pēc operācijas. Pētījumā tika iekļauti 90 pieaugušie taizemes izcelsmes pacienti, kas tika sadalīti trijās vienādās grupās atkarībā no augšanas tipa – hipodiverģentie, hipodiverģentie un neitrālais augšanas tips. Sagitālā plaknē horizontāla tipa pacientiem mīkstie audi vairāk sekoja cietajiem audiem apakšlūpas un zoda rajonā, bez nozīmīgām atšķirībām no citām grupām parējos sejas rajonos. Hiperdiverģentiem pacientiem visvairāk nekā citās grupās palielinājās apakšlūpas biezums (vidēji par 1.98 mm), bet samazinājās B punkta – labiomentālas rievās rajona biezums (vidēji par 2.16 mm). Līdz ar to autori secina, ka vertikālas augšanas tipa pacientiem ar lielāku varbūtību ir nepieciešama papildus genioplastika, lai uzlabot zoda kontūras. Tomēr jāņem vērā arī citi faktori – pacienša dzimums, etniskā izcelsme, kaula kontūras, sejas profils un muskuļu tonuss (Peng *et al.*, 2024).

Kim *et al.* (2019) retrospektīvā pētījuma rezultāti par mīksto audu pārvietojuma attiecību pret cieto audu pārvietojumu ķīniešu skeletālas III klases pacientiem pēc apakšžokļa pārvietojuma uz aizmuguri (BSSO) norāda uz to, ka transversālā plaknē mīksto audu pārvietojuma attiecības pret cietajiem audiem palielinās no apakšlūpas – zoda virzienā. Sagitālā plaknē novēro stipru korelāciju starp apakšlūpas un zoda mīksto – cieto audu pārvietojumu. Toties mīkstie audi mazāk seko cietajiem audiem vertikāla virzienā salīdzinājumā ar sagitālo un transversālo dimensiju. Vairāku Āzijas etnicitātes 3D pētījumu autori secina, ka mīksto audu izmaiņu prognozēšana vertikālā plaknē ir izaicinoša (Kim *et al.*, 2010; Jung *et al.*, 2009, Peng *et al.*, 2024).

Literatūras dati par nazolabiālo mīksto audu izmaiņām attiecībā pret cieto audu pārvietojumu trijās dimensijās pēc viena žokļa ortognātiskās operācijas (LeFort I) pie skeletālas III klases ar augšžokļa retrognātiju ir ar lielu variabilitāti, lielākai daļā pētījumu analizē mīksto audu izmaiņas izmantojot KSDT datus. Dati par *alar cinch* šuves un V-Y veida ķirurģiskās slēgšanas tehnikas ietekmi uz nevēlamo nazolabiālo mīksto audu efektu samazināšanu ir pretrunīgi. Gandrīz visos gadījumos LeFort I osteotomijas rezultāta paplašinās deguna nāsis. Lielākoties to ietekme nevis skeletālais pārvietojums, bet mīksto audu preparēšana, periostā elevācija, kas rada muskuļu retrakciju (Paredes de Sousa Gil *et al.*, 2019).

Almuzian *et al.* (2021) apkopoja datus par nazolabiālo mīksto audu izmaiņām pēc LeFort I operācijas sistematiskajā pārskata un meta-analīzē, kurā tika iekļauti 4 pētījumi ar kopējo pacientu skaitu 105 - 2 prospektīvie pētījumi, kas izmantoja optisko 3D virsmas skeneri (Nkenke

et al., 2008 (Vācija) un *Verdenik et al.*, 2017 (Slovēnija)) un 2 retrospektīvie pētījumi, kas izmantoja 3D fotogrammetrijas metodi (DeSesa et al., 2016; Metzler et al., 2014 (ASV)). Iekļauto pētījumu vidējais augšžokļa pārvietojums uz priekšu bija 5.58 mm. Vidēji 6 mēnešus pēc operācijas novēroja statistiski nozīmīgu augšlūpas (vidēji 2.9 mm) un subnazālo audu (vidēji 1.7mm) pārvietojumu uz priekšu. Augšžokļa cieto audu pārvietojuma attiecība pret mīkstajiem audiem augšlūpas rajonā bija 2:1, subnazāli 3.2:1. Transversāli pēc LeFort I osteotomijas paplašinās augšlūpas *philtrum* (vidēji 0.84mm). Autori secina, ka zems pierādījumu līmenis norāda uz LeFort I osteotomijas ietekmi uz nazolabiāliem mīkstajiem audiem galvenokārt sagitālā plaknē. Izmaiņas koncentrējas nazolabiāla rajona centrālā daļā. Tomēr ir nepieciešami prospektīvi pētījumi ar standartizētu metodoloģiju ņemot vērā rezultātus ietekmējošus (*confounding*) faktorus. Viens no tiem ir ortognātiskās operācijas vertikālas izmaiņas un oklūzijas plaknes rotācija pret pulksteņrādītāj virzienā, kas var ietekmēt deguna prominenci. Ka arī demografiskās atšķirības – pacientu dzimums, vecums, rase (*Almuzian et al.*, 2021).

Izmaiņas lūpu tilpumā pēc ortognātiskās operācijas.

Augšlūpas pozīciju īstermiņā ietekme pēc operācijas pietūkums, bet ilgtermiņā saistītas ar recidīvu un vecuma izmaiņām, augšlūpa paliek plānāka un *labrale superius* pārvietojas uz leju (*Gill et al.*, 2017). Izmaiņas lūpu tilpumā pēc ortognātiskās operācijas ir maz pētītas. Lai kvantitatīvi novērtēt mīksto audu izmaiņas nazolabiāla rajonā 1 gadu pēc ortognātiskās operācijas *B. van Loon et al.* kombinēja KSDT un stereofotogrammetrijas 3D sejas attēlu datus (3dMD System, ASV). Prospektīvā pētījuma grupā iekļauti 36 pacienti. Netika minēts par iekļautas izlases grupas diagnozi. 24 pacientiem veikta LeFort osteotomija pārvietojot augšžokli uz priekšu un 12 pacientiem divu žokļu ortognātiskā operācija (LeFort un BSSO). Augšžokļa translācija uz priekšu un rotācija pulksteņrādītāj virzienā uzrada statistiski ticamu un stipru korelāciju ar augšlūpas tilpuma palielināšanos. Savukārt neatrada statistiski nozīmīgas deguna tilpumā izmaiņas (*van Loon et al.*, 2015).

Choi et al., Āzijas etnicitātes III klases pacientiem pēc maxillo-mandibulāra kompleksa rotācijas pulksteņrādītāj virzienā (augšžokļa impakcijas un apakšžokļa pārvietojuma uz aizmuguri) novēroja apakšlūpas un zoda rajona tilpuma samazināšanos par 33.6 cm³ (13%), bet minimālo augšlūpas tilpuma palielināšanos par 7.2 cm³ (4%) (*Choi et al.*, 2021).

1.5. Sejas mīksto audu izmaiņas skeletālas II klases pacientiem pēc ortognātiskās operācijas.

Pētījumu skaits par skeletālas II klases pacientu 3D sejas mīksto audu izmaiņām ortognātiskās operācijas ietekmē ir ierobežots. Pēc apakšžokļa pārvietojuma uz priekšu gaidāmas mīksto audu izmaiņas saistītas ar mīksto audu *pogonion* pārvietojumu uz leju un priekšu, kas samazina sejas profila izliekumu, profils paliek taisnāks, palielinās sejas apakšējās trešdaļas augstums (*Gill et al., 2017*).

Lai noteikt mīksto un cieto audu pārvietojumu lielumus *Almeida et al.* veica KSDT attēlu uzslāņošanu un kvantitatīvo analīzi. Prospektīvs pētījums norāda uz statistiski ticamu un stipro korelāciju starp zoda mīkstajiem un cietajiem audiem, ka arī starp apakšlūpas un apakšējo incisivu horizontālo pārvietojumu 1 gadu pēc *BSSO* (*Almeida et al., 2011*). Šie rezultāti ir saskaņā ar 2D pētījumu secinājumiem (*Storms et al., 2017; Bral et al., 2020*) – novērtējot mīksto audu izmaiņas pēc apakšžokļa pārvietojuma uz priekšu sagitālā plaknē veidojas korelācija vertikālā virzienā (vertikālais gradients) – apakšlūpa seko apakšējo incisivu šķautnēm (*Li:L1*) mazāka apjomā nekā *Pog':Pog*, *B':B* un *Me':Me* (kur mīksto audu pārvietojuma attiecība pret cietajiem audiem tuvojās 1:1). 2D pētījumos mīksto audu zoda pārvietojums (*sPog*) pret cieto audu *Pog* punkta horizontālo pārvietojumu variē no 90% līdz 124%, bet *Li:L1* diapazonā no 35-108% (*Gill et al., 2017*). No kā var secināt, ka lielākas un vairāk prognozējamas izmaiņas notiek mīksto audu *pogonion*, bet pēcoperācijas apakšlūpas pozīcija ir mazāk paredzama. Apakšlūpas pārvietojumu pēc operācijas vairāk ietekme muskuļi nevis cieto audu pārvietojuma lielums (*Bral et al., 2020*).

Maal et al. izmantoja KSDT un 3D sejas attēlus, lai novērtēt volumetriskās izmaiņas apakšlūpas un zoda rajonā 1 gadu pēc apakšžokļa pārvietojuma uz priekšu. Tika atrasta korelācija starp ķirurģisko apakšžokļa pārvietojumu un cieto audu tilpuma izmaiņām, bet vāja korelācija ar mīksto audu tilpuma izmaiņām. Vidējais mīksto audu tilpuma pieaugums zoda rajonā bija 4660 mm³, un apakšlūpas rajonā 1540 mm³. Toties pētījumā netika noteikta konkrētas korelācijas attiecības starp mīksto un cieto audu pārvietojumu (*Maal et al., 2012*).

Zhang et al., retrospektīvā pētījums apraksta cieto un mīksto audu izmaiņas ķīniešu skeletālas II klases pacientiem ar apakšžokļa retrognātiju un vertikālo augšanas tipu, izmantojot KSDT un stereofotogrammetrijas datus. Arī pēc divu žokļu operācijas sagitāla plaknē novēroja vertikālo gradientu ar lielākam izmaiņām zoda mīkstajos audos un mazākām deguna mīkstajos

audos. Acu un vaigu mīksto audu izmaiņas bija statistiski nenozīmīgas. Vertikālā plaknē konstatēja statistiski nozīmīgu mīksto audu pārvietojumu uz augšu no apakšlūpas, augšlūpas, tad deguna un vaigu punktiem, bet ne acu un zoda mīkstajiem audiem. Toties novēroja augšlūpas augstuma un apakšlūpas *vermilion* augstuma samazināšanos. Transversāli statistiski nozīmīgas izmaiņas bija saistītas tikai ar deguna nāsu platuma palielināšanos (*Zhang et al., 2024*).

1.6. KSDT attēla un 3D mīksto audu attēlu uzslāņošana.

Mīksto un cieto audu pārvietojuma attiecību analīzei trīsdimensionāli būtu jāveic KSDT un 3D sejas attēlu uzslāņošanu, kas ļautu veikt kvantitatīvo analīzi sagitāli, vertikāli un transversāli vienā 3D koordinātu sistēmā. Uz doto brīdi, viena no galvenajām priekšrocībām uzslāņojot 3D sejas attēlu un KSDT attēla ir iespēja kompensēt KSDT attēla mīksto audu virsmas neprecizitātes.

Ka trūkumus literatūrā norāda uz augstam izmaksām, nav iespējams iegūt dinamiskus attēlus, nepieciešams regulāri kalibrēt sistēmu. Iespējamās metodes kļūdas varētu būt saistītas ar neprecizitātēm uzslāņošanas procesā, 3D sejas attēla pozicionēšanu koordinātu sistēmā, vai atskaites punktu novietošanas precizitāti uz 3D sejas attēliem. Attiecībā uz pēdējo - pētījumi par 3D sejas attēlu atskaites punktu novietošanas precizitāti norāda uz vidējo un augstu ticamību un reproducējamību un novirzi mazāku nekā viens milimetrs (*Baksi et al., 2021; Othman et al., 2013; Baysal et al., 2016*). Tomēr, lai novērstu iespējamās kļūdas, ir svarīgi skaidri definēt orientieru atrašanas vietas, ka arī piesaistīt eksaminētājus ar pieredzi. Savukārt *Maal et al., Nahm et al.* un *Xin et al.* novērtēja KSDT un 3D sejas attēlu uzslāņošanas precizitāti un secināja, ka šī metode ir pieņemama, uzslāņošanas kļūda ir mazāka par 1 mm (*Maal et al., 2008; Nahm et al., 2014; Xin et al., 2013*).

Jayaratne et al., lai novērtēt 29 pacientiem KSDT attēla un stereofotogrammetrijas (3dMD) 3D sejas attēla uzslāņošanās precizitāti izmantoja gan vidējas distances novirzes (*signed average*), gan vidējo kvadrātisko novirzi no vidējā aritmētiskā (*root mean square, RMS*), lai palielināt uzslāņošanās kļūdas noteikšanas precizitāti. 3D sejas un KSDT attēlu uzslāņoja ar virsmas balstīto metodi, kā references reģionus izmantojot sejas virsmas izņemot periorbitālo un nazolabiālos rajonus, jo tos visvairāk ietekme sejas izteiksmes maiņa. Noteikta vidēja kvadrātiska novirze visai sejai bija 0.739 mm. Vislielākā rezultātu variabilitāte bija

rajonos ap lūpām un acīm. Autori secināja, ka 3D attēlu reģistrācijai visvairāk stabili references reģioni ir pierē, deguna sakne un *zygoma*. Ka arī atzīmē, ka šie rajoni parasti paliek nemainīgi pēc ortognātiskās operācijas (*Jayaratne et al., 2012*).

Naudi et al. salīdzināja 14 pacientu KSĐT un ar stereofotogrammetrijas metodi iegūto 3D sejas attēlu uzslāņošanas precizitāti, ja 3D sejas izmeklējums veikts vienā laikā ar KSĐT vai pēc 1 stundas (*Naudi et al., 2013*). Uzslāņošanas precizitāte bija lielāka veicot abus izmeklējumus vienlaicīgi, jo vidēja absolūta distance bija 0.27 mm, bet grupā ar 1 stundas starpību starp izmeklējumiem 0.47 mm. Nespēja atkārtot identiski vienu un to pašu sejas izteiksmi divu attēlu iegūšanas laikā rāda potenciālos KSĐT un 3D sejas attēla uzslāņošanas kļūdas. KSĐT izmeklējuma laiks atšķiras no ražotajā – variē no 5- 70 sekundēm, toties 3D sejas attēla iegūšanas laiks ir daudz īsāks, 3dMD sistēmai tas ir 1.5 milisekundēs. Līdz ar to veicot KSĐT izmeklējumu pastāv sejas muskuļu kustību, siekalu norīšanas, galvas pozīcijas izmaiņas riski.

Lai samazināt potenciālas kļūdas *Nahm et al.* rekomendē veikt KSĐT un 3D sejas skenēšanu pacientam vienā pozā, ar pielāgotu dabisko galvas pozīciju un vieglu kontaktu starp zobiem, un samazināt laika intervālu starp izmeklējumiem. Veicot KSĐT izmeklējumu, ja galvas stabilizācijai tiek lietots zoda vai pieres atbalsts, šajos rajonos pastāv mīksto audu attēla izkropļojuma risks. Dažreiz pacienta pozicionēšanas kļūdu dēļ KSĐT redzeslaukā netiek iekļauts deguna gals vai daļēji pierē.

KSĐT un 3D sejas attēla uzslāņošana var tik veikta automātiski. *Kim et al.* un *Nahm et al.* apraksta metodi, kad KSĐT mīksto audu un 3D sejas attēla virsmas reģistrācija tiek veikta izmantojot *Morpheus 3D* programmu (Koreja). *Nahm et al.* pētījumā uzrāda vidējo uzslāņošanas novirzi 0.06 mm (SD= 0.12mm), toties pētījumā ir ļoti maza izlases grupa, 4 pacienti (*Nahm et al., 2014; Kim et al., 2019*).

Neskatoties uz dažādu programmatūru iespēju veikt automātisko datu uzslāņošanu (*Dolphin, 3dMD Vultus, Maxilim, Morpheus*) veicot digitālo ķirurģisko plānošanu, joprojām ir grūti precīzi kombinēt datus, kas iegūti no dažādam ierīcēm un parasti ir nepieciešama arī manuāla 3D sejas attēla adaptācija apvienojot KSĐT, 3D sejas attēla un intraorālo skena modeļus. Precīza KSĐT attēlu un 3D sejas attēlu uzslāņošana dos iespēju noteikt mīksto audu pārvietojuma korelāciju pret cietajiem audiem trijās dimensijās (*Mangano et al., 2018*).

2.Materiāli un metodes.

2.1.Ar stereofotogrammetrijas palīdzību iegūto trīsdimensionālo attēlu punktu atlikšanas precizitāte.

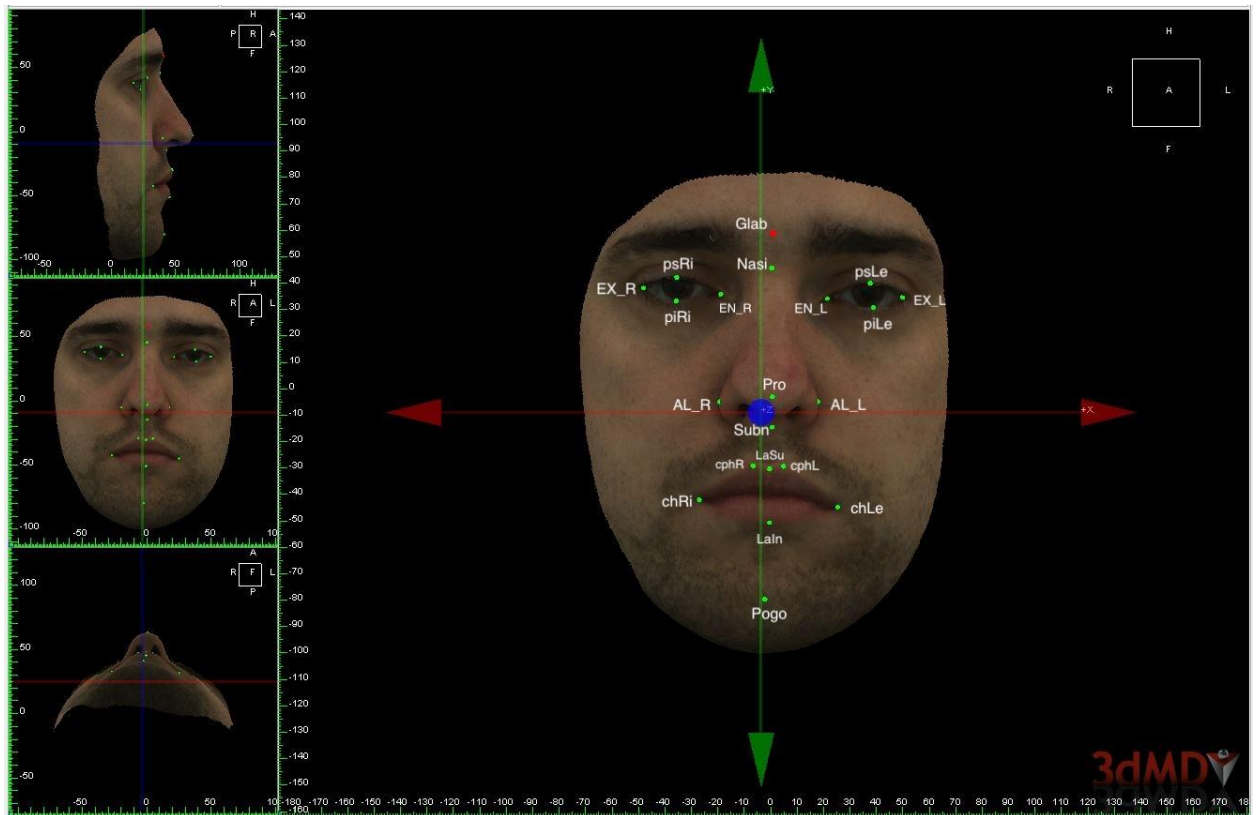
Lai noteikt atskaites punktu novietošanas precizitāti tika izmantoti ar 3dMD sejas skeneri (ASV) iegūti attēli. Šajā darbā ir izmantoti skeletālas II un III klases pacientu 3D sejas fotogrāfijas, kas iegūti tieši pirms un 24 un 36 mēnešus pēc ortognātiskās operācijas (Rīgas Stradiņa universitātes pētījumu Ētikas komitejas atļauju skat.1. pielikumā). Pacienti veikta kombinēta ortodontiskā ārstēšana un ortognātiskās ķirurģijas operācija, laika periodā no 2011. gada līdz 2018. gadam Rīgas Stradiņu Universitātes Stomatoloģijas Institutā. Ortognātiskās ķirurģijas veids bija atkarīgs no klīniskās situācijas – divu žokļu ortognātiskā ķirurģija (LeFort I osteotomija kombinācijā ar bilaterālo sagitālo split osteotomiju (BSSO) vai vertikālo ramus osteotomiju) vai viena žokļa ortognātiskā ķirurģija (LeFort I vai BSSO). Ortognātisko ķirurģiju veica trīs pieredzējuši sejas-žokļa ķirurgi.

Netika iekļauti pacienti ar sejas žokļa rajona šķeltnēm vai citiem kraniofaciāliem anomālijām vai sindromiem; pacienti, kuriem bijusi trauma sejas-žokļa rajonā, ka arī pacienti, kuriem nebija 3D fotogrāfijas kāda no laika posmiem, pacienti ar bārdi vai ūsām, izkropļoti 3D attēli.

Izmeklējuma laikā pacienti tika apsēdināti regulējama krēslā, neitrāla sejas izteiksme, ar pielāgotu dabisko galvas pozīciju un vieglu kontaktu starp zobiem. 3dMD sistēma reģistrē galvas un kakla rajonu. Iegūtie attēli tika saglabāti datorā, izmantojot *3dMD Vultus* programmu (versija 2.4.0.2.; 3dMD LLC, Atlanta, ASV), un tika apstrādāti *3dMD Patient* programmā (versija 4.1., 3dMD LLC). Šajā programmā sejas 3D attēla kontūras tika manuāli apgrieztas, noņemot perifērās zonas - matu līniju, ausis, kaklu un plecu zonu- lai samazināt sejas mīksto audu kvantitatīvas analīzes kļūdu risku. Antropometriskie punkti tika atlikti, izmantojot *3dMD Vultus* programmu. Pēc kalibrācijas darba operators divos laika posmos uz katra pacienta 3D sejas attēla manuāli atlika 21 punktu (skat. 1.att.), balstoties uz *Djordjevic et al.* metodes aprakstu (*Djordjevic et al., 2014*). Katra punkta pozīcija tika noteikta trīs koordinātēs (x, y un z), un katra pacienta dati saglabāti *Microsoft Excel* programmas failā.

Lai noteikt intra-eksaminētāja uzticamību, ka arī starp-eksaminētāju saskaņotību 2 eksaminētāji atzīmēja 21 atskaites punktu uz pirmsoperācijas laika posma 3D sejas attēliem 20

nejauši atlasītiem pacientiem (10 skeletālas II klases un 10 III skeletālas klases pacienti). Punktu atlikšana veikta divas reizes ar vismaz divu nedēļu intervālu.



1.attēls. 3D foto ar atliktiem 21 antropometriskiem punktiem. Glab, glabella; Nasi, mīksto audu nasion; En_R, labais endokants; En_L, kreisais endokants; Ex_R, labais eksokants; Ex_L, kreisais eksokants; psRi, labais *palpebrale superius*; psLe, kreisais *palpebrale superius*; piRi, labais *palpebrale inferius*; piLi, kreisais *palpebrale inferius*; Pro, pronasale; Subn, subnasale; AL_R, labais deguna spārns; AL_L, kreisais deguna spārns; LaSu, labrale superius; LaIn, labrale inferius; cphR, augšlūpas loka (*crista philtri*) labais punkts; cphL, augšlūpas loka (*crista philtri*) kreisais punkts; chRi, labais lūpu kaktiņš; chLe, kreisais lūpu kaktiņš; Pogo, mīksto audu pogonion.

2.2.Statistiska analīze

Datu apstrādei tika izmantota *IBM SPSS Statistics* programma (29.0 versija). Lai noteikt intra-operatora uzticamības lielumu tika noteikts intraklases korelācijas koeficients (IKK) starp atskaites punktiem uz X, Y, Z asīm ar 95% ticamības intervālu (TI). Starp-eksaminētāju saskaņotību noteica aprēķinot starpklases (interklases) korelācijas koeficientu (SKK), izmantojot abu eksaminētāju pirmo uz pirmsoperācijas 3D sejas attēliem punktu atlikšanas reizi. IKK aprēķināšanai izmantots divu ceļu jauktais (*two-way mixed*), absolūtas vienošanās (

absolute agreement) modelis. Pēc *Koo un Li et al.* IKK vērtība mazāka par 0,5 liecina par vāju uzticamību; vērtība starp 0.5 un 0.75- viduvēju uzticamību; vērtība starp 0.75 un 0.9 – labu uzticamību un vērtība lielāka par 0.9- par ļoti labu uzticamību (*Koo and Li, 2016*). Lai noteikt punktu koordinātu vidējo, minimālo un maksimālo nobīdi un standartnovirzi uz X, Y un Z asīm tika izmantota *Microsoft Excel* programma.

3. Rezultāti.

Kopumā darba autors atlika antropometriskos punktus 58 skeletālas III klases pacientiem (41 sievietes, un 17 vīrieši) ar vidējo vecumu ķirurģiskās operācijas laikā 24.2 ± 6.47 (SD) gadi (no 18 līdz 50 gadi) un 40 skeletālas II klases pacientiem (25 sievietes, un 15 vīrieši) ar vidējo vecumu ķirurģiskās operācijas laikā 34.4 ± 8.19 gadi (no 24 līdz 69 gadi) laika posmos 24 un 36 mēneši pēc ortognātiskās operācijas. III skeletālas klases grupā 47 pacientiem veikta divu žokļu operācijas (no tiem 36 pacientiem LeFort I un BSSO (62%) un 11 pacientiem LeFort I ar vertikālo *ramus* osteotomiju (19%)); 11 pacientiem veikta viena žokļa operācija (no tiem 10 pacientiem LeFort I (17%) un 1 pacientam BSSO (2%)). II skeletālas klases grupā 22 pacientiem (55%) veikta divu žokļu operācija (LeFort I un BSSO) un 18 pacientiem (45%) viena žokļa operācija- BSSO. Turpmāk šie dati tiks izmantoti, lai analizēt sejas asimetrijas izmaiņas divu un trīs gadus pēc ortognātiskās ķirurģijas operācijas skeletālas II un III klases pacientiem.

Darba autora intraklases korelācijas koeficients robežās no 0.947 līdz 1 (*skat.1. tabula*). Rezultāti liecina par ļoti labu uzticamību un, ka mērījumi ir ļoti līdzīgi, IKK ir statistiski nozīmīgs ($p < 0,001$) (*Koo and Li, 2016*). Vidēja punktu atlikšanas kļūda (vidēja mērījumu starpība) darba autoram bija 0.24 mm (0.03 – 0.46 mm).

Starpklases korelācijas koeficienta (SKK) rezultāti parādīja labu saskaņotību starp eksaminētājiem. X ass SKK ir robežās no 0.990 līdz 0.999; Y ass SKK ir robežās no 0.988 līdz 1 un Z ass SKK ir robežās no 0.998 līdz 1 (*skat 2.tabula*).

Novērtējot starp-eksaminētāju punktu atlikšanas atšķirības, uz X ass neprecīzākie punkti - labais lūpu kaktiņš (*chRi*), vidēja atlikšanas kļūda 1.22 mm (SKK 95% TI 0.991-0.999) ; kreisais lūpu kaktiņš (*chLe*), vidēja atlikšanas kļūda 0.94 mm (SKK 95% TI 0.993-0.999). Uz X ass precīzākie punkti – *glabella*, vidēja atlikšanas kļūda 0.46mm.

Uz Y ass neprecīzākie punkti – *glabella* (Glab), vidēja atlikšanas kļūda 1.15 mm (SKK 95%TI 0.969-0.995); mīksto audu *Nasion* (*Nasi*) - vidēja atlikšanas kļūda 1.10 mm (SKK 95% TI 0.976-0.996); labais deguna spārns (*AL_R*)- vidēja atlikšanas kļūda 1.09 mm; kreisais

palpebrale superius (psLe)- vidēja atlikšanas kļūda 1.05 mm; mīksto audu *pogonion* (Pogo)- vidēja atlikšanas kļūda 0.92mm (SKK 95%TI 0.969-0.995). Precīzākais punkts - kreisais eksokants (EX_L), vidēja atlikšanas kļūda 0.46mm.

Uz Z ass neprecīzākie punkti- kreisais *palpebrale superius* (psLe), vidēja atlikšanas kļūda 1.04 mm un precīzākais punkts- deguna gals, *pronasale* (Pron), vidējas atlikšanas kļūda 0.11 mm (*skat.3.tabula*). 33.3 % no visiem mērījumiem vidēja mērījumu starpība starp eksaminētajiem ir mazāka par 0.5 mm; 57.2% no 0.5 līdz 1 mm, un 9.5% ir lielāka par 1 mm. Standartnovirzes ir < 1.

Punkts	X ass	95% TI	Y ass	95% TI	Z ass	95% TI
Glab	0.999	(0.998-1)	0.999	(0.992-1)	1	1
Nasi	0.999	(0.998-1)	0.999	(0.997-1)	1	1
EN_R	0.998	(0.996-0.999)	1	(0.999-1)	1	1
EX_R	0.999	(0.996- 0.999)	1	(0.999-1)	1	1
EN_L	0.998	(0.998-1)	1	1	1	1
EX_L	1	(0.998-1)	1	1	1	1
psLe	0.999	(0.998-1)	1	(0.999-1)	1	(0.996-1)
psRi	1	(0.998-1)	0.999	(0.999-1)	1	(0.998-1)
piRi	0.999	(0.997-1.000)	1	(0.999-1)	1	1
piLe	0.999	(0.995- 1.000)	0.999	(0.999-1)	0.999	(0.999-1)
Pron	1	(0.999-1.000)	0.999	(0.998-1)	0.999	(0.999-1)
Subn	1	(0.998-1)	1	(0.999-1)	1	1
AL_R	1	(0.998-1)	0.999	(0.998-1)	1	(0.997-1)
AL_L	0.947	(0.942-0.977)	0.998	(0.996- 0.999)	0.999	(0.996- 1)
LaSu	1	(0.999- 1)	1	(0.999-1)	1	(0.999-1)
LaIn	0.999	(0.997- 1)	0.999	(0.999-1)	1	(0.999-1)
cphL	0.999	0.996-1	0.999	(0.999-1)	0.999	(0.998-1)
cphR	0.999	(0.999- 1)	1	(0.999-1)	1	1
chLe	0.998	(0.979-0.999)	0.999	(0.997-1)	1	(0.999-1)
chRi	0.999	(0.996- 1)	1	(0.999- 1)	1	1
Pogo	0.999	(0.995 - 1)	0.999	(0.997- 1)	1	1

1.tab. Darba autora intraklases korelācijas koeficients uz X,Y,Z asīm. TI-ticamības intervāls; ($p < 0,001$).

Punkts	X ass	95% TI	Y ass	95% TI	Z ass	95% TI
Glab	0.999	0.998-1	0.988	0.969-0.995	1	1
Nasi	0.990	0.997-0.999	0.990	0.976-0.996	1	1
EN_R	0.999	0.998-1	0.999	0.998-1	0.998	0.997-0.998
EX_R	0.999	0.998-1	0.999	0.998-1	0.999	0.998-1
EN_L	0.999	0.998-0.999	1	0.998-1	1	1
EX_L	0.998	0.995-0.999	1	0.999-1	1	1
psLe	0.998	0.995-0.999	0.999	0.997-1	0.999	0.998-1
psRi	0.998	0.996-0.999	0.999	0.996-0.999	1	0.999-1
piRi	0.998	0.994-0.999	0.999	0.997-1	1	1
piLe	0.998	0.987-0.999	0.999	0.998-1	1	0.999-1
Pron	0.998	0.995-0.999	0.999	0.999-1	1	1
Subn	0.999	0.997-1	1	0.999-1	1	1
AL_R	0.998	0.996-0.999	0.999	0.998-1	0.999	0.998-1
AL_L	0.999	0.998-1	0.999	0.998-1	0.999	0.998-1
LaSu	0.999	0.997-0.999	1	0.999-1	1	1
LaIn	0.998	0.996-0.999	1	0.999-1	1	1
cphL	0.998	0.996-0.999	1	0.999-1	1	1
cphR	0.998	0.994-0.999	1	0.999-1	1	1
chLe	0.998	0.993-0.999	1	0.999-1	1	1
chRi	0.996	0.991-0.999	0.999	0.998-1	0.999	0.999-1
Pogo	0.999	0.996-.1.000	0.988	0.969-0.995	1.000	1

2..tab. Starpklasses korelācijas koeficients starp eksaminētājiem uz X,Y,Z asīm. TI-ticamības intervāls; ($p < 0,001$).

Npk.	Punkts	X ass	SD	Y ass	SD	Z ass	SD
1	Glab	0.46	0.49	1.15	0.58	0.15	0.21
2	Nasi	0.57	0.53	1.10	0.65	0.28	0.47
3	EN_R	0.52	0.45	0.64	0.53	0.43	0.38
4	EX_R	0.49	0.47	0.47	0.48	0.29	0.36
5	EN_L	0.64	0.51	0.55	0.54	0.49	0.40
6	EX_L	0.82	0.54	0.46	0.53	0.37	0.41
7	psLe	0.77	0.55	1.05	0.63	1.04	0.62
8	psRi	0.78	0.54	1.02	0.65	0.98	0.49
9	piRi	0.84	0.57	0.96	0.62	0.45	0.44
10	piLe	0.82	0.54	0.84	0.50	0.43	0.41
11	Pron	0.63	0.80	0.87	0.49	0.11	0.17
12	Subn	0.60	0.43	0.64	0.55	0.39	0.48
13	AL_R	0.61	0.64	1.09	0.73	0.98	0.61
14	AL_L	0.58	0.50	0.8	0.59	0.91	0.59
15	LaSu	0.58	0.59	0.56	0.48	0.2	0.24
16	LaIn	0.73	0.50	0.77	0.55	0.4	0.50
17	cphL	0.78	0.40	0.65	0.48	0.33	0.29
18	cphR	0.87	0.62	0.49	0.45	0.25	0.23
19	chLe	0.94	0.60	0.52	0.68	0.31	0.46
20	chRi	1.22	0.60	0.71	0.74	0.76	0.58
21	Pogo	0.63	0.61	0.92	0.58	0.34	0.46

3.tab. Starp-eksaminētāju punktu atlikšanas atšķirības uz X,Y,Z asīm (vidējas mērījumu starpības mm); SD- standartnovirze.

4. Diskusija

Izvērtējot 3D rakstu trūkumus var norādīt uz mazām izlases grupām (*Shafi et al., 2013; Ullah et al., 2015*- tikai 13 pacienti), neskaidru metodoloģiju, plašu heterogenitāti attiecībā uz pielietotu programmatūru, ķirurģisko tehniku, cieto audu pārvietojuma un rotācijas apjomu, pacientu etnisko izcelsmi, vecumu un dzimumu. Šos faktorus ir jāņem vērā interpretējot 3D pētījumu rezultātus.

Lielākoties pētījumi par 3D sejas mīksto audu izmaiņām veiktas Āzijā (*Zhang et al., 2024; Peng et al., 2024; Choi et al., 2021; Kim et al., 2019*). Ņemot vērā etniskas atšķirības šo pētījumu rezultātus nevar salīdzināt ar eiropēdas rases pārstāvjiem (*Farkas et al., 2005*). *Peng et al., Zhang et al.* 3D pētījumos ir aprakstītas mīksto audu izmaiņas atkarībā no ķirurģiskā pārvietojuma lieluma II un III klases pacientiem, bet datus nevar saistīt ar Eiropas populāciju.

It īpaši skeletālas III klases pacientiem, kuriem lielākoties ir apakšžokļa prognātija nekā augšžokļa retrognātija (*Peng et al. 2024*).

Sejas mīksto un cieto audu pārvietojuma attiecību analizē pēc ortognātiskās operācijas jāņem vērā arī pacienta svara izmaiņas novērošanas periodā. *Verdenik et al.* pētījumā par mīksto audu izmaiņām pēc ortognātiskās operācijas III klases pacientiem veicot 3D sejas attēlu izmeklējumu reģistrēja arī pacientu KMI un augumu (*Verdenik and Ihan Hren, 2014*). Toties, lielākoties šie dati pētījumos nav atspoguļoti.

Neviena no darbā aplūkotiem 3D pētījumiem par skeletālas II un III klases pacientiem netika minēts par mīksto audu izmaiņām atkarībā no dzimuma. Ir arī pētījumi, kuros nav apraksta par izlases grupas pacientu dzimumu (*Almukhtar et al., 2016*), vai nav informācijas par izlases grupas diagnozi (*van Loon et al., 2015*). *Verdenik et al.* veicot III klases pacientu mīksto audu analīzi pēc viena un divu žokļu operācijas, neatrada mīksto/cieto audu attiecību atšķirības starp dzimumiem, toties šajā pētījumā 3D sejas attēlus kombinēja ar laterālo cefalogrammu cieto audu datiem (*Verdenik and Ihan Hren, 2017*). *Maal et al.* neatrada atšķirības starp dzimumiem attiecībā uz cieto un mīksto audu tilpuma izmaiņām II klases pacientiem pēc BSSO. Tomēr pētījuma grupā bija 14 sievietes un tikai 4 vīrieši (*Maal et al., 2012*).

Attiecībā par pētījumu metodoloģiju- ir pētījumi, kas izmanto 3D sejas attēlus mīksto audu pārvietojuma analīzei, bet 2D metodi (laterālas cefalogrammas) cieto audu pārvietojuma analīzei (*Verdenik and Ihan Hren, 2017; Wermker et al., 2014; Van Hemelen et al., 2015*). Tas palielina kļūdu risku, kombinējot 3D un 2D datus, lai noteikt korelācijas starp ķirurģiskā pārvietojuma apjomu, cieto audu recidīvu un mīksto audu izmaiņām.

Starp pētījumiem pastāv atšķirības attiecībā uz 3D sejas attēlu iegūšanas metodēm (KSDT, magnētiskā rezonanse, stereofotogrammetrija, 3D virsmas lāzerskenēšana). Ka arī atšķirās iegūto attēlu apstrādes programmatūras (*3dMD Vultus, Maxilim, Dolphin, Rapidform, Imagine* un citi), kas apgrūtina pētījumu rezultātu apkopošanu (*Olate et al., 2017*). Lielākoties mīksto audu izmaiņu analīzei izmanto KSDT attēlus, kuri samēra neprecīzi attēlo sejas mīksto audu virsmu, zemas attēlu izšķirtspējas dēļ, it īpaši lūpu un acs rajonos (*Metzger et al., 2013*). Neprecizitātes palielina nepareiza galvas pozicionēšana, ka arī, ja KSDT redzeslaukā netiek iekļauts deguna gals vai daļēji piere.

Atšķirīgas ir arī mīksto audu pārvietojuma kvantitatīvas mērīšanas metodes- anatomisko virsmu analīze (*Verdenik and Ihan Hren, 2014; van Loon et al., 2015; Almukhtar et al., 2016;*

Van Hemelen et al., 2015; Liebrechts et al., 2015) vai KSDT punktu analīze (*Almeida et al., 2011*). KSDT sejas mīksto audu atskaites punktu izmantošana savukārt ir mazāk precīza metode un palielina potenciālo mērījumu kļūdu risku (*Olate et al., 2017; Metzger et al., 2013*).

Pētījumu dati par mīksto-cieto audu pārvietojuma attiecībām ir ļoti variabli iepriekšminēto cēloņu dēļ. Mīksto audu izmaiņu apjoms korelē ar ķirurģiskā pārvietojuma lielumu, bet neatkarīgi no operācijas veida (viens vai divi žokļi) – mīksto audu izmaiņas novēro visā sejā (*Verdenik and Ihan Hren, 2014*). Toties dažu pētījumu rezultāti norāda uz lielākām mīksto audu izmaiņām sejas centrālā daļā nekā laterālos rajonos- mīkstie audi sejas centrālā daļā vairāk seko cieto audu pārvietojumam, jo parasti tie ir plānāki ar lielāko piesaisti pie kaula struktūrām (*Lo et al., 2018; Almuzian et al., 2021*).

Tilpuma dati var palīdzēt novērtēt mīksto un cieto audu pārvietojuma attiecības trijās plaknēs. Toties svarīgi ir kontrolēt kļūdu ietekmējošus (*confounding*) faktoros- KSDT un 3D sejas attēlu uzslāņošanas metode, mīksto audu pietūkums pēc operācijas, pacientu svara un vecuma izmaiņas (*Choi et al., 2021; Maal et al., 2012; Verdenik and Ihan Hren, 2017*).

Pieejami pētījumi, kas balstās uz 3D datiem apraksta īstermiņa mīksto audu izmaiņas pēc ortognātiskām operācijām, kas ir 6-12 mēneši. Ilgtermiņa mīksto audu izmaiņas pēc ortognātiskās operācijas ir kompleksas un tos ietekme vairāki faktori – recidīvs, audu remodelācija, svara izmaiņas, ka arī vecuma izmaiņas (*Gill et al., 2017*). Trūkst 3D pētījumi, kas izvērtētu arī skeletālo recidīvu un mīksto audu izmaiņu stabilitāti. Toties skeletālais recidīvs ir atkarīgs no vairākiem faktoriem – lielā ķirurģiskā pārvietojuma, locītavizaugumu novietojuma, segmentu fiksācijas veida, mīksto audu un muskuļaudu iestiepuma un citiem (*Posnick and Kinard, 2023*).

Pārbaudot ar stereofotogrammetrijas palīdzību iegūto 3D attēlu punktu atlikšanas precizitāti darba autora IKK iegūtas vērtības (0.947-1) norāda uz ļoti labu uzticamību. Starpklašu korelācijas koeficientu rezultāti (0.990-0.999) parādīja labu saskaņotību starp eksaminētājiem uz X, Y un Z asīm starp visiem mīksto audu punktiem. Lai novērst iespējamās kļūdas, pirms veikt punktu atlikšanu darba autors apsprieda orientieru lokalizāciju definīcijas ar otro eksaminētāju. Vislielākās punktu atlikšanas vidējo mērījumu starpības starp eksaminētājiem uz X ass bija lūpu kaktiņiem, uz Y ass – *glabella*, mīksto audu *nasion*, labas deguna spārns, un uz Z ass kreisais *palpebrale superior*. Punktiem ar labi definētām robežām ir augstāka atkārtotamība nekā punktiem, kuri atrodas uz viegli izliektām vai ieliektām virsmām

(Baysal et al., 2016). 90.5% no visiem mērījumiem vidējo mērījumu starpība starp eksaminētājiem bija mazāka par 1 mm. Iegūtie rezultāti ir saskaņā ar pētījumiem par 3D sejas attēlu atskaites punktu novietošanas precizitāti, kas norāda uz augstu orientieru atkārtotamību (Baksi et al., 2021; Othman et al., 2013; Baysal et al., 2016). Stereofotogrammetrijas metode ir uzticama, atkārtojama, droša, neinvazīva, nav jonizējoša starojuma, ātra, datus var izmantot kvantitatīvai un kvalitatīvai analīzei.

5. Secinājumi.

- Pētījumu rezultāti par mīksto audu izmaiņām pēc ortognātiskās operācijās trijās dimensijās ir ar lielu variabilitāti un dati ir pretrunīgi. Tā kā lielākajā daļā pētījumu pastāv nopietns neobjektivitātes risks, ir nepieciešama piesardzīga datu interpretācija.
- 3D pētījumos pārsvarā tiek veikta tikai mīksto audu pārvietojuma kvantitatīva analīze, bez cieto audu pārvietojuma referencēm, kas neļauj noteikt attiecību, ar kādu mīkstie audi pārvietojas attiecībā pret cieto audu pārvietojumu pēc ortognātiskās operācijas.
- Mīkstie audi mazāk seko cietajiem audiem vertikālā virzienā salīdzinājumā ar sagitālo un transversālo dimensiju. Mīksto audu izmaiņu prognozēšana vertikālā plaknē joprojām ir izaicinoša.
- Mīksto audu izmaiņu analīze trijās dimensijās tiek veikta pārsvarā 6 mēnešus līdz 12 mēnešus pēc ortognātiskās ķirurģijas. Trūkst pētījumu par mīksto audu stabilitāti ilgtermiņā.
- Nepieciešami pētījumi, kas analizētu datus trīsdimensionāli, ar lielākam pētījumu grupām un precīzāko metodes aprakstu.

Turpmākajos pētījumos var:

- Noteikt kvantitatīvas ilgtermiņa (sākot ar 12 mēnešiem) mīksto audu izmaiņas trijās dimensijās, izmantojot 3D sejas attēlus. Noteikt iespējamās atšķirības starp dzimumiem, operācijas veida, ķirurģiskā pārvietojuma lieluma.
- Noteikt mīksto un cieto audu pārvietojuma attiecības ortognātiskās operācijas ietekmē, kā arī volumetriskās izmaiņas, apvienojot KSDT un 3D sejas attēlu datus.
- Izvērtēt mīksto audu ilgtermiņa izmaiņas saistībā ar cieto audu recidīvu.
- Salīdzināt reālo mīksto audu pārvietojumu ar pirms operācijas plānotu pārvietojumu.

Literatūras saraksts

1. Olate, S.; Zaror, C.; Mommaerts, M.Y. A systematic review of soft-to-hard tissue ratios in orthognathic surgery. Part IV: 3D analysis - Is there evidence? *J Craniomaxillofac Surg.* 2017 Aug;45(8):1278-1286.
2. Gill, D.S.; Lloyd, T.; East, C.; Naini, F.B. The Facial Soft Tissue Effects of Orthognathic Surgery. *Facial Plast Surg.* 2017 Oct;33(5):519-525.
3. Sun, H.; Shang, H.T.; He, L.S.; Ding, M.C.; Su, Z.P.; Shi, Y.L. Assessing the Quality of Life in Patients With Dentofacial Deformities Before and After Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018 Oct;76(10):2192-2201.
4. San Miguel Moragas, J.; Van Cauteren, W.; Mommaerts, M.Y. A systematic review on soft-to-hard tissue ratios in orthognathic surgery part I: maxillary repositioning osteotomy. *J Craniomaxillofac Surg.* 2014 Oct;42(7):1341-1351.
5. Metzger, T.E.; Kula, K.S.; Eckert, G.J.; Ghoneima, A.A. Orthodontic soft-tissue parameters: a comparison of cone-beam computed tomography and the 3dMD imaging system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 Nov;144(5):672-681.
6. Mobarak, K.A.; Espeland, L.; Krogstad, O.; Lyberg, T. Soft tissue profile changes following mandibular advancement surgery: predictability and long-term outcome. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001a Apr;119(4):353-367.
7. Joachim, M.V.; Brosh, Y.; Daoud, F.; Abdelraziq, M.; Abu El-Naaj, I.; Laviv, A. Soft Tissue Movement in Orthognathic Surgery: Does Pre-Operative Soft Tissue Thickness Affect Movement Change? *Applied Sciences.* 2022;12(16):8170.
8. Bishara, S.E.; Jakobsen, J.R.; Hession, T.J.; Treder, J.E. Soft tissue profile changes from 5 to 45 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998 Dec;114(6):698-706.
9. Stella, J.P.; Streater, M.R.; Epker, B.N.; Sinn, D.P. Predictability of upper lip soft tissue changes with maxillary advancement. *J Oral Maxillofac Surg.* 1989 Jul;47(7):697-703.
10. Lo, L.J.; Weng, J.L.; Ho, C.T.; Lin, H.H. Three-dimensional region-based study on the relationship between soft and hard tissue changes after orthognathic surgery in patients with prognathism. *PLoS One.* 2018;13(8):e0200589.
11. Swift, A.; Liew, S.; Weinkle, S.; Garcia, J.K.; Silberberg, M.B. The Facial Aging Process From the "Inside Out". *Aesthet Surg J.* 2021 Sep 14;41(10):1107-1119.
12. Tabchi, Y.; Zaoui, F.; Bahoum, A. Accuracy of hard and soft tissue prediction using three-dimensional simulation software in bimaxillary osteotomies: A systematic review. *Int Orthod.* 2023 Dec;21(4):100802.
13. Mobarak, K.A.; Krogstad, O.; Espeland, L.; Lyberg, T. Factors influencing the predictability of soft tissue profile changes following mandibular setback surgery. *Angle Orthod.* 2001b Jun;71(3):216-227.
14. Joss, C.U.; Vassalli, I.M.; Thüer, U.W. Stability of soft tissue profile after mandibular setback in sagittal split osteotomies: a longitudinal and long-term follow-up study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Aug;66(8):1610-1616.
15. Zhang, C.; Lu, T.; Wang, L.; Wen, J.; Huang, Z.; Lin, S.; Zhou, Y.; Li, G.; Li, H. Three-dimensional analysis of hard and soft tissue changes in skeletal class II patients with high mandibular plane angle undergoing surgery. *Sci Rep.* 2024 Jan 30;14(1):2519.
16. Lisboa, C.O.; Martins, M.M.; Ruellas, A.C.O.; Ferreira, D.; Maia, L.C.; Mattos, C.T. Soft tissue assessment before and after mandibular advancement or setback surgery

- using three-dimensional images: systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2018 Nov;47(11):1389-1397.
17. Lee, C.K.J.; Quah, B.; Ng, W.H.; Lai, C.W.M.; Yong, C.W. The effects of VY closure on lip morphology after Le Fort I maxillary advancement: A systematic review. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2023 Dec 30;125(5):101755.
 18. Paredes de Sousa Gil, A.; Guijarro-Martínez, R.; Haas, O.L., Jr.; Hernández-Alfaro, F. Three-dimensional analysis of nasolabial soft tissue changes after Le Fort I osteotomy: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2019 Sep;48(9):1185-1200.
 19. Knoops, P.G.M.; Borghi, A.; Breakey, R.W.F.; Ong, J.; Jeelani, N.U.O.; Bruun, R.; Schievano, S.; Dunaway, D.J.; Padwa, B.L. Three-dimensional soft tissue prediction in orthognathic surgery: a clinical comparison of Dolphin, ProPlan CMF, and probabilistic finite element modelling. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2019 Apr;48(4):511-518.
 20. Ter Horst, R.; van Weert, H.; Loonen, T.; Bergé, S.; Vinayahalingam, S.; Baan, F.; Maal, T.; de Jong, G.; Xi, T. Three-dimensional virtual planning in mandibular advancement surgery: Soft tissue prediction based on deep learning. *J Craniomaxillofac Surg.* 2021 Sep;49(9):775-782.
 21. Elshebiny, T.; Morcos, S.; Mohammad, A.; Quereshy, F.; Valiathan, M. Accuracy of Three-Dimensional Soft Tissue Prediction in Orthognathic Cases Using Dolphin Three-Dimensional Software. *J Craniofac Surg.* 2019 Mar/Apr;30(2):525-528.
 22. Olivetti, E.C.; Nicotera, S.; Marcolin, F.; Vezzetti, E.; Sotong, J.P.A.; Zavattero, E.; Ramieri, G. 3D Soft-Tissue Prediction Methodologies for Orthognathic Surgery—A Literature Review. *Applied Sciences.* 2019;9(21):4550.
 23. Yamashita, A.L.; Iwaki Filho, L.; Ferraz, F.; Ramos, A.L.; Previdelli, I.; Pereira, O.C.N.; Tolentino, E.S.; Chicarelli, M.; Iwaki, L.C.V. Accuracy of three-dimensional soft tissue profile prediction in orthognathic surgery. *Oral Maxillofac Surg.* 2022 Jun;26(2):271-279.
 24. Olate, S.; Zaror, C.; Blythe, J.N.; Mommaerts, M.Y. A systematic review of soft-to-hard tissue ratios in orthognathic surgery. Part III: Double jaw surgery procedures. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016 Oct;44(10):1599-1606.
 25. Bral, A.; Olate, S.; Zaror, C.; Mensink, G.; Coscia, G.; Mommaerts, M.Y. A prospective study of soft- and hard-tissue changes after mandibular advancement surgery: Midline changes in the chin area. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020 May;157(5):662-667.
 26. Verdenik, M.; Ihan Hren, N. Differences in three-dimensional soft tissue changes after upper, lower, or both jaw orthognathic surgery in skeletal class III patients. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2014 Nov;43(11):1345-1351.
 27. Peng, S.P.; Lin, C.H.; Chen, Y.A.; Ko, E.W. Three-dimensional facial soft-tissue changes after surgical orthodontics in different vertical facial types of skeletal Class III malocclusion: A retrospective study. *J Craniomaxillofac Surg.* 2024 Apr;52(4):522-531.
 28. Almuzian, M.; Rowley, J.; Mohammed, H.; Wertheimer, M.B.; Ulhaq, A.; Mheissen, S. Three-dimensional nasolabial changes after maxillary advancement osteotomy in class III individuals: a systematic review and meta-analysis. *Evid Based Dent.* 2021 Jul 12.
 29. van Loon, B.; van Heerbeek, N.; Bierenbroodspot, F.; Verhamme, L.; Xi, T.; de Koning, M.J.; Ingels, K.J.; Bergé, S.J.; Maal, T.J. Three-dimensional changes in nose and upper lip volume after orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015 Jan;44(1):83-89.
 30. Choi, T.H.; Kim, S.H.; Yun, P.Y.; Kim, Y.K.; Lee, N.K. Soft Tissue Changes After Clockwise Rotation of Maxillo-Mandibular Complex in Class III Patients: Three-

- Dimensional Stereophotogrammetric Evaluation. *J Craniofac Surg.* 2021 Mar-Apr 01;32(2):612-615.
31. Almeida, R.C.; Cevdanes, L.H.; Carvalho, F.A.; Motta, A.T.; Almeida, M.A.; Styner, M.; Turvey, T.; Proffit, W.R.; Phillips, C. Soft tissue response to mandibular advancement using 3D CBCT scanning. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011 Apr;40(4):353-359.
 32. Maal, T.J.; de Koning, M.J.; Plooi, J.M.; Verhamme, L.M.; Rangel, F.A.; Bergé, S.J.; Borstlap, W.A. One year postoperative hard and soft tissue volumetric changes after a BSSO mandibular advancement. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2012 Sep;41(9):1137-1145.
 33. Baksi, S.; Freezer, S.; Matsumoto, T.; Dreyer, C. Accuracy of an automated method of 3D soft tissue landmark detection. *Eur J Orthod.* 2021 Dec 1;43(6):622-630.
 34. Othman, S.A.; Ahmad, R.; Mericant, A.F.; Jamaludin, M. Reproducibility of facial soft tissue landmarks on facial images captured on a 3D camera. *Aust Orthod J.* 2013 May;29(1):58-65.
 35. Baysal, A.; Sahan, A.O.; Ozturk, M.A.; Uysal, T. Reproducibility and reliability of three-dimensional soft tissue landmark identification using three-dimensional stereophotogrammetry. *Angle Orthod.* 2016 Nov;86(6):1004-1009.
 36. Maal, T.J.; Plooi, J.M.; Rangel, F.A.; Mollemans, W.; Schutyser, F.A.; Bergé, S.J. The accuracy of matching three-dimensional photographs with skin surfaces derived from cone-beam computed tomography. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Jul;37(7):641-646.
 37. Nahm, K.Y.; Kim, Y.; Choi, Y.S.; Lee, J.; Kim, S.H.; Nelson, G. Accurate registration of cone-beam computed tomography scans to 3-dimensional facial photographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014 Feb;145(2):256-264.
 38. Xin, P.; Yu, H.; Cheng, H.; Shen, S.; Shen, S.G. Image fusion in craniofacial virtual reality modeling based on CT and 3dMD photogrammetry. *J Craniofac Surg.* 2013 Sep;24(5):1573-1576.
 39. Jayaratne, Y.S.; McGrath, C.P.; Zwahlen, R.A. How accurate are the fusion of cone-beam CT and 3-D stereophotographic images? *PLoS One.* 2012;7(11):e49585.
 40. Naudi, K.B.; Benramadan, R.; Brocklebank, L.; Ju, X.; Khambay, B.; Ayoub, A. The virtual human face: superimposing the simultaneously captured 3D photorealistic skin surface of the face on the untextured skin image of the CBCT scan. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2013 Mar;42(3):393-400.
 41. Kim, K.A.; Chang, Y.J.; Lee, S.H.; An, H.J.; Park, K.H. Three-dimensional soft tissue changes according to skeletal changes after mandibular setback surgery by using cone-beam computed tomography and a structured light scanner. *Prog Orthod.* 2019 Jul 1;20(1):25.
 42. Mangano, C.; Luongo, F.; Migliario, M.; Mortellaro, C.; Mangano, F.G. Combining Intraoral Scans, Cone Beam Computed Tomography and Face Scans: The Virtual Patient. *J Craniofac Surg.* 2018 Nov;29(8):2241-2246.
 43. Djordjevic, J.; Toma, A.M.; Zhurov, A.I.; Richmond, S. Three-dimensional quantification of facial symmetry in adolescents using laser surface scanning. *Eur J Orthod.* 2014 Apr;36(2):125-132.
 44. Koo, T.K.; Li, M.Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med.* 2016 Jun;15(2):155-163.
 45. Farkas, L.G.; Katic, M.J.; Forrest, C.R.; Alt, K.W.; Bagic, I.; Baltadjiev, G.; Cunha, E.; Cvicelová, M.; Davies, S.; Erasmus, I.; Gillett-Netting, R.; Hajnis, K.; Kemkes-Grottenthaler, A.; Khomyakova, I.; Kumi, A.; Kgamphe, J.S.; Kayo-daigo, N.; Le, T.;

- Malinowski, A.; Negasheva, M.; Manolis, S.; Ogetürk, M.; Parvizrad, R.; Rösing, F.; Sahu, P.; Sforza, C.; Sivkov, S.; Sultanova, N.; Tomazo-Ravnik, T.; Tóth, G.; Uzun, A.; Yahia, E. International anthropometric study of facial morphology in various ethnic groups/races. *J Craniofac Surg*. 2005 Jul;16(4):615-646.
46. Almukhtar, A.; Ayoub, A.; Khambay, B.; McDonald, J.; Ju, X. State-of-the-art three-dimensional analysis of soft tissue changes following Le Fort I maxillary advancement. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2016 Sep;54(7):812-817.
 47. Verdenik, M.; Ihan Hren, N. Three-dimensional facial changes correlated with sagittal jaw movements in patients with class III skeletal deformities. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2017 Jun;55(5):517-523.
 48. Wermker, K.; Kleinheinz, J.; Jung, S.; Dirksen, D. Soft tissue response and facial symmetry after orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg*. 2014 Sep;42(6):e339-345.
 49. Van Hemelen, G.; Van Genechten, M.; Renier, L.; Desmedt, M.; Verbruggen, E.; Nadjmi, N. Three-dimensional virtual planning in orthognathic surgery enhances the accuracy of soft tissue prediction. *J Craniomaxillofac Surg*. 2015 Jul;43(6):918-925.
 50. Liebrechts, J.; Xi, T.; Timmermans, M.; de Koning, M.; Bergé, S.; Hoppenreijts, T.; Maal, T. Accuracy of three-dimensional soft tissue simulation in bimaxillary osteotomies. *J Craniomaxillofac Surg*. 2015 Apr;43(3):329-335.
 51. Posnick, J.C.; Kinard, B.E. *Orthognathic surgery : principles & practice*. Second edition. ed. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2023. 2 volumes (xvi, 2195, 2136 pages) p.