

MIORELAKSACINIŲ KAPŲ SKAITMENINĖS GAMYBOS TECHNOLOGIJOS

TECHNOLOGIES OF DIGITAL PRODUCTION OF MYORELAXATION GRAVES

Justas Bražėnas
Utenos Kolegija (Lietuva)
Aušra Stoškienė
Utenos Kolegija (Lietuva)

Santrauka

Miorelaksacinių kapų tikslas, esant žandikauliams stabilioje padėtyje, neleisti pilnai sukąsti dantų ir taip sudaryti sąlygas veido raumenims atsipalaiduoti. Tokiu būdu gydant bruksizmą dantys yra apsaugoti nuo dilimo, veido raumenys nuo persitempimo, o SAŽS nuo spaudimo. Šiais laikais dantų kapų gamybą palengvina kompiuterizuotas darbas CAD/CAM sistema. Skaitmeniniai miorelaksacinių kapų gamybos būdai išskiriami du: 3D spausdinimas ir frezavimas.

Straipsnio tikslas: išanalizuoti miorelaksacinių kapų skaitmenines gamybos technologijas.

Pagrindinės išvalgos. Miorelaksacinės kapos modeliavimui naudota programinė įranga „Exocad“ leido imituoti paciento smilkininio apatinio žandikaulio sąnario judesius. Ši funkcija palengvino miorelaksacinės kapos dizaino modeliavimą. Nors kapos buvo gaminamos skirtingais gamybos būdais, bet naudotas tas pats kompiuterinis dizainas. Spausdinant kapą naudota speciali, šviesoje kietėjanti derva, kuri pridėta sluoksniais. Gaminant kapą frezavimo būdu, procesas užtruko ilgiau, nes gamybai naudota plastmasės bloko medžiaga buvo šalinama po truputį. Nors skaitmeninės technologijos reikalauja papildomų išlaidų, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje ši technologija gali sumažinti gamybos išlaidas, nes automatizuotas gamybos procesas ir tikslus dizainas sumažina medžiagų švaistymą ir gamybos trukmę.

Raktiniai žodžiai: bruksizmas, CAD/CAM, 3D spausdinimas, miorelaksacinė kapa.

Įvadas

Dantų griežimas arba bruksizmas yra sutrikimas, kai pacientas nevalingai stipriai sukanda arba griežia dantimis. Ši, vis dažniau pacientus kankinanti problema, sukelia ne tik dantų nudilimus, įtrūkimus, lūžius, jautrumą, bet ir burnos gleivinės žaizdas, veido raumenų įtampą, skausmą ar net smilkininio apatinio žandikaulio sąnario (SAŽS) sutrikimus. Norint išvengti šių problemų arba neleisti joms progresuoti vienas efektyviausių gydymo metodų yra miorelaksacinių kapų nešiojimas.

Gydytojai jau XIX amžiuje suprato bruksizmo ir SAŽS sutrikimų gydymo svarbą. Jie išsiaiškino, kad įdėjus guminių aparatų tarp dantų ne tik apsaugomi nuo dilimo dantys, bet ir, pakeliant sąkandį, atpalaiduojami veido raumenys ir repozicionuojamas SAŽS. Faktas, kad per visus šiuos 150 metų buvo atlikta daug tyrimų, leidžia suprasti kokia aktuali ši tema. Gydymas kapomis išliko reikšmingas iki šiandien ir yra vis dar tobulinamas, nors pagrindiniai gydymo principai šiuolaikinėje ortopedinėje odontologijoje mažai pasikeitė [7]. Ilgą laiką miorelaksacinės kapos buvo gaminamos tik rankiniu būdu, tačiau dabar, tobulėjant technologijoms, jų gamybai vis dažniau naudojama skaitmeninės CAD/CAM technologijos.

Miorelaksacinių kapų funkcionalumas

Pastaraisiais dešimtmečiais, vis greičėjant gyvenimo tempui, daugėja nerimo, todėl žmonėms vis dažniau diagnozuojama depresija. Lietuvos sveikatos mokslų universitete 2023 metais atliktoje literatūros analizėje apskaičiuota teigiama koreliacija tarp nerimo, jo sukeltos depresijos ir bruksizmo [11].

Bruksizmas - tai nevalingas, nesąmoningas kramtomųjų raumenų susitraukimas ir perteklinis dantų sąlytis juos stipriai sukandant ar griežiant. Bruksizmas skirstomas į naktinį ir būdravimo. Naktinis arba miego bruksizmas pasireiškia tarp 15-40% vaikų ir 8-10% suaugusiųjų. Dienos metu dantimis griežia apie 22-31% populiacijos. Šios parafunkcijos priežastys be streso gali būti labai įvairios, kaip pvz. *patofiziologinės* – susijusios su miego cirkadinėmis fazėmis; *rizikos faktorių nulemtos* – vienos dažniausių tai depresija ir miego apnėja; *genetinės* – 20 – 50% pacientų teigia, kad bent vienas jų šeimos narys griežia dantimis; *miego sutrikimai*; *vartojami vaistai* – antidepressantai, anfetaminas, kokainas ir kt.; *psichikos ligos* – depresija, Alzhaimerio liga, Hantingtono liga, Dauno sindromas, cerebralinis paralyžius ir kt.; *žalingi įpročiai* – didelis alkoholio, tabako, kofeino vartojimas [14].

Progresuojant bruksizmui ir jo negydant gali prasidėti SAŽS sutrikimai [14]. Pacientai dažnai kreipiasi į odontologijos klinikas dėl bruksizmo, veido skausmų ir smilkininio apatinio žandikaulio sąnario (SAŽS) sutrikimų simptomų. Žmonės skundžiasi nudilusiais, jautriais, lūžinėjančiais ir taip estetiką praradusiais dantimis, veido įtampa, galvos skausmu, ribotu išsižiojimu, sutrikusiu miegu ar net SAŽS spragsėjimu, strigimu ar skausmais, plintančiais į kitas veido dalis [8; 23]. Bruksizmą dažnai gydo ne vienas specialistas. Indikuotinas kompleksinis gydymas, apimant, odontologus, psichologus, kineziterapeutus, chirurgus ir kt. specialistus [19]. Dažnai pacientams skiriama lazerio terapija, manualinė terapija, meditacijos, elgsenos modifikacija, miego ritualai, fizioterapija, botulino toksino injekcijos ar invazyvus chirurginis gydymas. Gydytojai odontologai, iš savo kompetencijos, įvertinę paciento anamnezę, atlikę ištyrimą ekstraoraliai ir intraoraliai dažnai paskiria prarastų danties kietųjų audinių atstatymą plombuojant ar protezuojant ir gydymą kapomis. Studijose pastebima 70% - 90% sėkmė gydant SAŽS sutrikimus kapomis [1].

Miorelaksacinė kapa - tai kietas, individualiai pagamintas ortopedinis aparatas, kuris, stabilioje padėtyje, neleidžia pilnai sukąsti dantų ir taip sudaro sąlygas veido raumenims atsipalaiduoti. Tokiu būdu dantys yra apsaugoti nuo dilimo, veido raumenys nuo persitempimo, o SAŽS nuo spaudimo [4; 21; 23]. Miorelaksacinės kapos dažniausiai naudojamos apatiniame žandikaulyje. Yra kelios priežastys, kodėl tai yra įprasta praktika:

- *Anatomija.* Apatinis žandikaulis yra judresnis nei viršutinis, todėl jį lengviau perstumti į priekinę padėtį. Ši padėtis padeda atpalaiduoti raumenis ir sumažinti sąnario apkrovą.
- *Funkcija.* Apatinis žandikaulis atlieka pagrindinį vaidmenį kramtyje ir bruksizme (dantų griežime ir suspaudime). Miorelaksacinė kapa, nešiojama ant apatinio žandikaulio gali padėti sumažinti šių veiklų poveikį kramtomiesiems raumenims ir SAŽS.
- *Patogumas.* Dantų kapos, skirtos apatiniame žandikauliui, paprastai yra patogesnės nešioti nei skirtos viršutiniam, nes jos mažiau trukdo liežuviui ir skruostams.

Tačiau kai kuriais atvejais miorelaksacinė kapa gali būti naudojama ir ant viršutinio žandikaulio. Tai gali būti naudinga, jei pacientas turi problemų su viršutiniais dantimis arba jei apatinio žandikaulio kapa sukelia diskomfortą [4; 8; 11].

Moksliniuose straipsniuose galime rasti daug miorelaksacinių kapų sinonimų – apsauginė, okliuzinė, stabilizuojanti, pozicionuojanti ir kt. Visi šie terminai nurodo, kokias funkcijas šis įtvaras atlieka burnoje. Miorelaksacinės kapos gali būti naudojamos įvairiems tikslams, įskaitant:

- *Bruksizmo gydymas.* Kapos padeda apsaugoti dantų paviršių nuo dilimo, burnos gleivinę nuo traumavimo ir sumažinti kramtomųjų raumenų įtampą.
- *SAŽS sutrikimų gydymas.* Kapos gali padėti sumažinti sąnario skausmą ir pagerinti jo judrumą.

- *Galvos skausmo gydymas.* Bruksizmas ir TMJ sutrikimai gali sukelti galvos skausmą. Miorelaksacinės kapos gali padėti sumažinti ar pašalinti galvos skausmą, susijusį su šiais sutrikimais.

- *Miego kokybės gerinimas.* Bruksizmas gali sutrikdyti miegą. Miorelaksacinės kapos gali padėti pagerinti miego kokybę sumažinant dantų griežimą ir spaudimą.

- *Miego apnėjos gydymas.* Specialios miorelaksacinės kapos repositionuoja apatinį žandikaulį, atveria kvėpavimo takus ir taip palengvina oro patekimą į plaučius [4; 8; 11].

2019 metais Lietuvos sveikatos mokslų universitete atliktoje literatūros analizėje aptarta keturiolika 2014 - 2019 metais atliktų mokslinių tyrimų, kuriuose statistiškai reikšmingai pagerėjo pacientų būklė gydant kapomis SAŽS sutrikimus, veido skausmus ir bruksizmą [19]. 2014 metais kitame tyrime buvo apklausti 233 žmonės, kuriems buvo pritaikytas gydymas kapomis. Iš jų 5% kapos net nebandė nešioti, 20% apklaustųjų pabandė, bet vėliau jos nebenešiojo, o 75% žmonių nešiojo kapos visą laiką iki apklausos dienos. Apklausos duomenys rodo, kad kapos nešiojimas ženkliai pagerino su burnos sveikata susijusią gyvenimo kokybę ir sumažino bruksimo simptomus, lyginant su žmonėmis, kurie nenešiojo arba nutraukė kapos nešiojimą. Kadangi, net trys ketvirtadaliai žmonių puikiai adaptavosi ir nešiojo kapos, galime daryti išvadą, kad pacientai tikrai gerai toleruoja šį gydymo metodą [13]. Vadinasi, atlikti tyrimai rodo, kad bruksizmo ir SAŽS sutrikimų gydymas miorelaksacinėmis kapomis yra statistiškai reikšmingas [13; 14; 19].

Apibendrinant galima būtų teigti, kad šiomis dienomis bruksizmas ir SAŽS sutrikimai yra dažnai pasitaikanti liga. Gydymas miorelaksacinėmis kapomis yra tik vienas metodas iš viso kompleksinio gydymo, dėl to sunku iširti jo efektyvumą. Iki šių dienų miorelaksacinės kapos turi kontraversiškų nuomonių dėl kapų gamyboje naudojamų medžiagų, kapų storio, kietumo, pozicijos burnoje ir kt.

Skaitmeninės gamybos technologijos – CAD/CAM

Dantų technikų praktikoje vis plačiau naudojama CAD/CAM technologija. Ši naujovė XIX amžiaus 6 dešimtmetyje buvo pradėta naudoti automobilių ir lėktuvų pramonėje, norint suteikti daugiau tvirtumo, estetikos ir sutaupyti gamybos laiko. Dėl tų pačių priežasčių 8 dešimtmčio pabaigoje Šveicarijos, Prancūzijos ir Minesotos tyrėjai šią skaitmeninę technologiją pritaikė odontologijoje ir dantų technologijoje [17; 20; 22]. *CAD (computer aided design)* – tai dantų ertmės atkūrimas kompiuteryje ir dantų protezo ar aparato modeliavimas naudojant kompiuterinę programą. *CAM (computer-aided manufacturing)* – tai dantų protezo ar aparato gamyba naudojant skaitmeninę įrangą. Yra du skaitmeniniai gamybos būdai – frezavimas ir 3D spausdinimas. *Frezavimas* – tai skaitmeniniu būdu sumodeliuoto dantų protezo ar aparato gamyba kompiuterizuotomis frezavimo staklėmis, kai medžiaga pamažu yra nuimama ir taip formuojamas objektas iš vientiso pasirinktos medžiagos bloko. *3D spausdinimas* – tai dantų protezo ar aparato gamyba 3D spausdintuvu. Tai adatyvinė technologija, t.y, gamybos procese medžiaga sluoksniais pridedama. Abiem būdais pagaminti darbai vėliau apdailinami ir poliruojami, suteikiamas lygus paviršius [15; 25].

CAD/CAM sistemos privalumai:

- *Tikslumas.* CAD/CAM technologija leidžia gaminti tikslesnius darbus, nei liejimo būdu, puikiai atitinkančius paciento dantų formą, dydį, spalvą. Tai įmanoma dėl skaitmeninio dantų modelio, kuris sukuriamas kompiuteriu remiantis paciento dantų atspaudu. Dėl tokio tikslumo dantų protezai ar aparatai būna patogesni ir estetiškesni, sumažėja diskomforto jausmas ir padidėja gydymo efektyvumas ir pasitenkinimas.

- *Trumpesnė gamybos trukmė.* CAD/CAM būdu pagaminti darbą užtrunka greičiau nei tradiciniu liejimo būdu. Sutaupomas gydytojo odontologo, dantų techniko ir paciento laikas.

- *Patvarumas.* CAD/CAM būdu gaminami dantų protezai ar aparatai paprastai būna patvaresni nei pagaminti kitu metodu. Dėl naudojamų aukštos kokybės medžiagų ir tikslaus gamybos proceso jie atsparesni dilimui, lūžimams ir deformacijoms. Tai reiškia, kad tarnauja ilgiau ir nereikalauja dažno keitimo, taip sutaupant paciento lėšas [5].

CAD/CAM sistemos trūkumai:

- *Papildomos išlaidos.* Lyginant su tradiciniu liejimo būdu, reikia turėti papildomą kompiuterinę įrangą ir frezavimo stakles ar 3D spausdintuvą bei skirti laiko ir finansų apmokant specialistus naujos darbo specifikos. Dėl šios priežasties padidėja gaminio kaina. Nors ši technologija be išsakytų privalumų, turi svarų finansinį trūkumą, tačiau CAD/CAM būdu pagaminti dantų protezai ir aparatai vis dažniau tampa odontologų, dantų technikų ir pacientų pirmu pasirinkimu [17; 26].

3D būdu spausdintos kapos

3D spausdinimas – palyginti naujas gamybos būdas, pasižymintis greitu gamybos procesu ir itin tiksliu rezultatu. Tokiu būdu vis dažniau gaminamos ir kapos. Ši technologija naudoja trimatį spausdintuvą, kuris sluoksnis po sluoksnio kuria kapą iš dervos [15]. 3D spausdinime naudojamos medžiagos: plastiko ritės, derva, milteliai. Spausdintuvai kurie naudoja dervas skirstomi į SLA-Stereolithography, DLP-Digital Light Processing ir LCD – Lyquid Crystal Display. Jie gali gaminti itin tikslius ir lygius paviršius ir dėl šios priežasties kapos yra spausdinamos būtent šių technologijų spausdintuvais. SLA veikia naudojant vieną lazerį, kuris taškas po taško piešia vieną sluoksnį. DLP technologijoje spausdinamas visas sluoksnis iš karto, tada stipriais ultravioletiniais spinduliais derva kietėja ir taip sluoksnis po sluoksnio spausdinama kapa. LCD atveju yra papildomai naudojamas ekranas, bet principas panašus kaip DLP. SLA būdas yra tikslesnis, bet lėtesnis lyginant su DLP. LCD technologija yra pigesnė ir paprasčiau prižiūrima, nei SLA [3; 9].

Moksliniuose straipsniuose ir realybėje dažnai iškeliama diskusija apie kapų spausdinimo poziciją. Teigiama, kad horizontali padėtis pagreitina spausdinimą ir sunaudojama mažiau medžiagos, bet tokiu būdu spausdinamos kapos atraminė konstrukcija yra statoma ant okliuzinio paviršiaus, kurio apdorojimas vėliau atima daug laiko. Tačiau spausdinant vertikaloje padėtyje vienu metu galime gaminti daugiau kapų ir tai padidina dantų techniko produktyvumą[15]. Didelį dėmesį reikia skirti ne tik spausdintuvo naudojamai technologijai, bet ir medžiagų, dervų, pasirinkimui. Derva turi būti tinkamo klampumo, kad po kiekvieno sluoksnio lengvai tekėtų tarp spausdintuvo platformos ir dervos bakelio dugno. Užpildai pigmentai, fotoiniciatoriai dervoje įtakoja ne tik mechanines savybes ir tikslumą, bet ir tai kaip šviesa bus išsklaidoma ir koks bus polimerizacijos gylis ir greitis. Nuo to priklauso minimalus ir maksimalus sluoksnio storis, rezoliucija, tikslumas, kietumas, spalva bei biosuderinamumas [9; 15].

Frezavimo būdu pagamintos kapos

Frezuojant staklėmis, ant darbinės plokštumos pozicionuojamas iš anksto pagamintas polimero blokas ir naudojant pasirinktą grąžtą išdrožiama kapa. Atkuriant specifines geometrines formas, frezavimo procesą riboja mažiausias naudojamo grąžto skersmuo. Dėl specifinių frezavimo grąžtų matmenų apribojimų, frezavimo staklės gali netiksliai pagaminti kapą, per daug arba per mažai pašalindamos medžiagos. Šios klaidos vadinamos „perfrezavimu“ ir „nepakankamu frezavimu“:

- *Perfrezavimas* įvyksta, kai grąžtas negali tiksliai apdirbti sričių, mažesnių nei jo paties skersmuo, ypač ties gumburų viršūnėlėmis ir aštriais linijiniais kampais. Dėl to susidaro silpnėsnis aparatas.

- *Nepakankamai frezuojama*, kai didesnis grąžtas praleidžia mažas įgaubtas vietas, ypač ties gaminamo aparato kraštais. Dėl to kapa netinkamai priglunda ir pablogėja jos retencija burnoje [15; 24].

Analizuoti moksliniai straipsniai teigia, kad 3D būdu dantų kapą galime pagaminti ženkliai greičiau ir tiksliau, bet spausdintos kapos turės mažesnes lenkimo ir kietumo vertes, mažesnę atsparumą dilimui ir lūžiams, mažesnę blizgumą bei didesnę vandens absorbcija ir tirpumą, lyginant su frezuotomis kapomis. Rašoma, kad sumažėjus spausdinimo sluoksnio storiui, galimai padidėtų lenkimo stiprumas ir paviršiaus kietumas. Svarbus aspektas, kad frezavimo metu susidaro nepanaudojamos medžiagos atliekos, o 3D spausdinimo metu nauja medžiaga yra pridedama ir

kuriama. Reikia toliau tobulinti spausdinimo metodus ir medžiagų sudėtį, nes jie yra svarbūs mechaninėms savybėms ir klinikiniam veiksmingumui [2; 6; 10; 12; 16; 18].

Apibendrinant galime matyti, kad tobulėjant technologijoms, skaitmeniniai gamybos būdai išstumia tradicinius. CAD/CAM sistema odontologijoje ir dantų technologijoje jau kuris laikas yra įsitvirtinusi darbo praktikoje kaip greita ir patogi sistema. Skaitmeniniai miorelaksacinių kapų gamybos būdai: 3D spausdinimas ir frezavimas yra pranašesni už manualinį liejimo būdą, bet kai kuriais aspektais ir vienas kitą lenkia. 3D spausdintuvu kapas galime padaryti greičiau ir tiksliau.

Straipsnio tikslas: išanalizuoti miorelaksacinių kapų skaitmenines gamybos technologijas.

Tyrimo medžiaga ir metodai

Tyrimo charakteristika. Atlikta atvejo analizė, kurios metu buvo siekiama išanalizuoti miorelaksacinių kapų skaitmenines gamybos technologijas. Tyrimo metu siekta pagaminti funkcionalų, estetišką ortodontinį aparatą – miorelaksacinę kapą, naudojant frezavimą ir 3D spausdinimą.

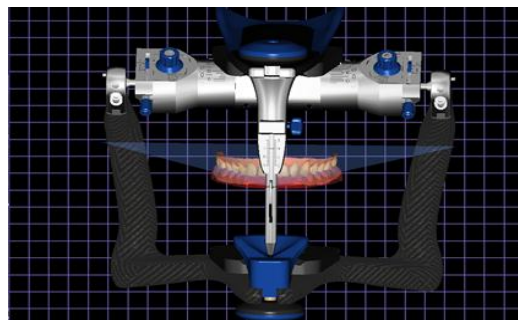
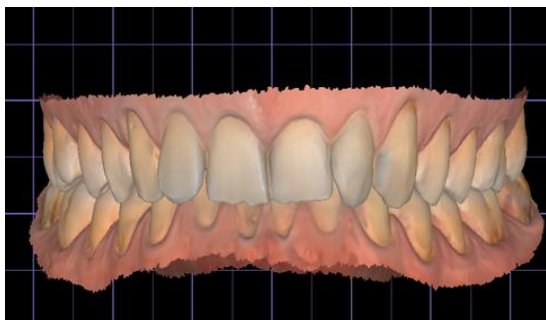
Tyrimo probleminiai klausimai. Kaip atliekamas miorelaksacinių kapų skaitmeninis modeliavimas? Kaip atliekama miorelaksacinių kapų gamyba naudojant skaitmenines technologijas: 3D spausdinimą ir frezavimą? Kodėl miorelaksacinės kapos gaminamos skaitmeniniu būdu?

Atvejo charakteristika. Pacientė kreipėsi į gydytoją odontologą dėl vizualiai matomo dantų nudilimo ir juntamo diskomforto SAŽS srityje kramtant. Gydytojo odontologo sprendimu, paskirtas konservatyvus gydymas, užsakyta apatinio žandikaulio miorelaksacinė kapa. Gavus intraoralinį burnos skeną su fiksuota centru padėtimi buvo pradėti kapos dizaino kūrimo darbai, tam pasitelkta programinė įranga Exocad. Sumodeliuota miorelaksacinė kapa pagaminta dviem skirtingais būdais: frezuojant iš kieto, skaidraus PMMA ir spausdinant 3D spausdintuvu iš skaidrios dervos. Visas gamybos procesas užtruko 1 darbo dieną.

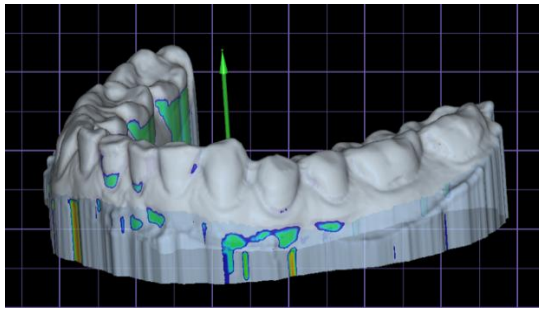
Tyrimo rezultatai

Miorelaksacinių kapų gamyba atliekant 3D spausdinimą ir frezavimą. Miorelaksacinės kapos modeliavimas. Gydytojas odontologas intraoralinio skenerio pagalba nuskenuoja paciento burną, užfiksuoja centrinę okliuziją ir abiejų žandikaulių santykį centrike. Šie duomenys perduodami dantų technikų laboratorijai. Gauti skenai įvertinami, patikrinama ar tinkamai nuskenuota ir netrūksta jokių reikiamų elementų. Miorelaksacinės kapos modeliavimui naudota kompiuterinė programa „Exocad“.

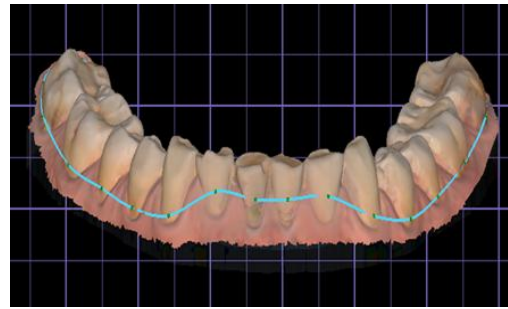
Naudojant funkciją „Edit mesh“ pašalinamos nereikalingos skeno vietos, kurios gali trukdyti kapos modeliavimui ir modelių generavimui (žr. **1 pav.**). Pirmajame etape abiejų žandikaulių skenai ipozicionuojami virtualiame artikuliaciniame aparate. Artikuliacijos funkcija būtina norint tinkamai sumodeliuoti miorelaksacinę kapą. Ši funkcija leidžia virtualiai atkartoti apatinio žandikaulio judesius: protruziją, retruziją ir laterotruziją (žr. **2 pav.**). Toliau parenkama kapos uždėjimo kryptis (žr. **3 pav.**), tuomet programa automatiškai sugeneruoja modelį su užblokuotomis neigiamomis zonomis. Ant šio sukurto modelio brėžiama linija, kuri pažymi kapos ribas. Šiuo atveju pasirenkama riba apie 1 mm virš danties kaklelio (žr. **4 pav.**).



1 pav. Sutvarkytas intraoralinis burnos skenas **2 pav. Burnos skenai artikuliaciniame aparate**

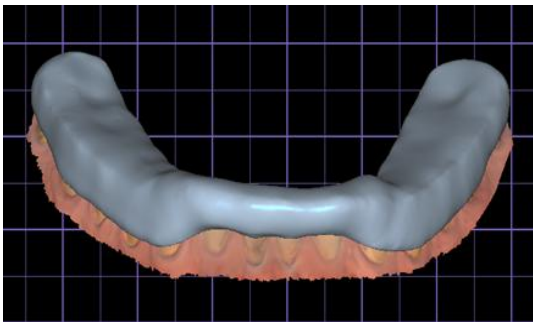


3 pav. Miorelaxacinės kapos uždėjimo kryptis

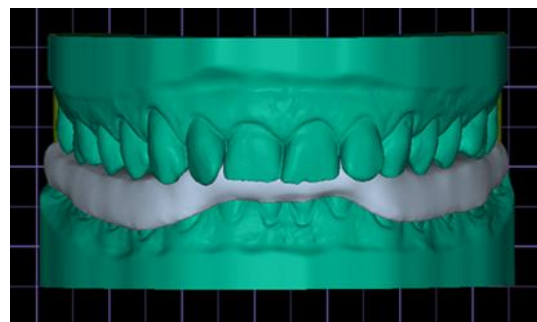


4 pav. Pažymėta kapos riba

Programai sugeneravus kapą, jos dizainas pakoreguojamas pagal sąkandį ir virtualaus artikulatoriaus imituojamus apatinio žandikaulio judesius (žr. 5 pav.). Atlikus kapos modeliavimo darbus sugeneruojami ir darbiniai modeliai (žr. 6 pav.). Sumodeliuota miorelaxacinė kapa ir sugeneruoti modeliai išsaugomi STL formatu.

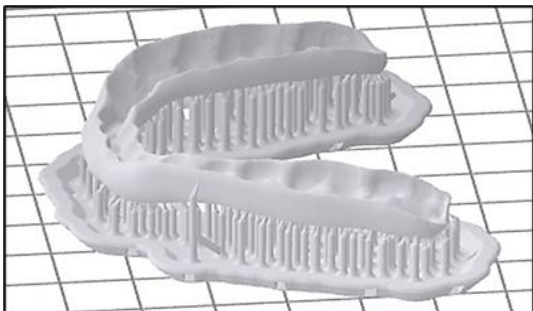


5 pav. Sumodeliuota miorelaxacinė kapa



6 pav. Sugeneruoti modeliai su miorelaxacine kapa

3D spausdinimas. Sugeneruotas STL failas įkeltas į 3D spausdinimo programą „Veltz - BP“. Spausdintys pozicionuoti ant virtualios platformos okliuziniu paviršiumi į platformą, siekiant sumažinti spausdinimo trukmę. Pridėtos pagalbinės konstrukcijos, kurios garantuoja spausdinimo kokybę (žr. 7 pav.). Svarbu nesudėti pagalbinių konstrukcijų į kapos vidinę dalį. 3D spausdinimui naudotas „Veltz D2H-150“ dervinis spausdintuvas ir spausdinimo derva „Veltz Dental SP Clear“. Prieš spausdinimą svarbu patikrinti ar švari spausdinimo platforma, ar tolygiai išmaišyta spausdinimo derva, patikrinti ar nėra po praeito spausdinimo likusių sukietintos dervos likučių, kurie gali pakenkti spausdinimo kokybei. Pagal naudojamą dervą pasirinkta spausdinimo programa ir pradėtas 3D spausdinimas. Procesas truko 1 valandą. Pasibaigus programai, atspausdinta kapa atsargiai nuimama nuo platformos. Siekiant maksimaliai pašalinti likusį nesukietintos spausdinimo dervos perteklių, spausdintys išplaunami plovimo vonelėje dviem etapais po 10 min. Plovimui naudotas Iso-propolis. Atlikus plovimą būtina atlikti papildomą spausdinio kietinimą UV spinduliais (žr. 8 pav.). Tam naudota specializuota UV lempa. Jos pagalba spausdintys įgauna reikiamas mechanines savybes. Kietinimas UV lempos trunka 15 minučių.



7 pav. 3D spausdinimui paruošta kapa su atraminėmis konstrukcijomis



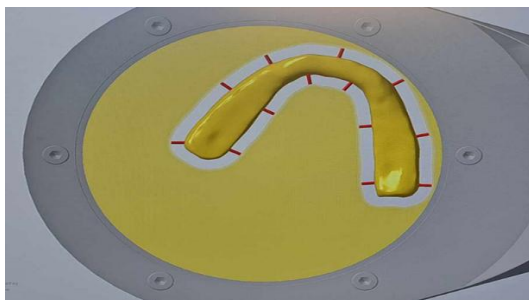
8 pav. 3D spausdinta kapa kietinama UV spinduliais

Galiausiai nuo atspausdintos, išplautos ir sukietintos kapos, naudojant diskelį ir frezas, pašalinamos pagalbinės konstrukcijos (žr. **9 pav.**). Sulyginamos nuo pagalbinių konstrukcijų likusios mažos deformacijos. Kapos paviršius išpoliruojamas. Pastebėta, kad kapos paviršius liko gana matinis (žr. **10 pav.**). Modelių spausdinimui naudota tas pats spausdintuvas, tačiau pasirinkta modelių spausdinimo derva „Veltz DM-3 Gray“. Darbų eiga išliko identiška: 3D spausdintuvo parengiamieji darbai, spausdinimas, plovimas, kietinimas UV lempeje, pagalbinių konstrukcijų pašalinimas.



9 pav. Pašalintos pagalbinės konstrukcijos 10 pav. Pagaminta miorelaksacinė kapa

Frezavimas. Sumodeliuotos kapos STL formato failas buvo įkeltas į kompiuterinę frezavimo programą. Parinkta frezuojamos kapos vieta 20 mm PMMA diske, tolygiai sudėlioti 1 mm įpjauti liečiai (žr. **11 pav.**). Norint gauti maksimaliai detalų gaminį, pasirinkta aukščiausia frezavimo kokybė. „CoriTec 350pro“ frezavimo staklėmis pradėtas frezavimo procesas, naudotas skaidrios spalvos 20 mm storio Aidite PMMA Dental clear diskas. Frezavimo programa trunka 2 valandas 20 minučių.



11 pav. Kapos pozicionavimas frezavimo diske 12 pav. Kapa po liečių šalinimo

Pasibaigus frezavimui, liečiai laikantys kapą diske nupjaunami (žr. **12 pav.**). Liečių vietos sulyginamos frezomis. Patikrinama ar tinkamai užsideda frezuota ir atspausdinta miorelaksacinės kapos, įvertinamas jų tamprumas. Per tamprios kapos zonos naudojant frežą atlaisvinamos. Pastebėta, kad spausdinta kapa buvo tampresnė. Patikrinami okliuziniai kontaktai, tam panaudota 8 μ artikuliacinė folija. Galiausiai kapos nupoliruojamos, išblizginamos ir dezinfekuojamos (žr. **13 pav.**).



13 pav. Frezuota miorelaksacinė kapa

Apibendrinant galima teikti, kad naudojant programinę įrangą „Exocad“ modeliavimo etapas yra greitas ir sklandus. Abu dantų kapų gamybos procesai – frezavimas ir 3D spausdinimas reikalauja teorinių žinių ir praktinių įgūdžių. 3D spausdinimas leidžia miorelaksacines kapes gaminti produktyviau, tačiau norint ilgaamžiškesnio gaminio reikėtų rinktis frezavimo būdą.

Tyrimo rezultatų aptarimas

Skaitmeninės gamybos technologijos vis labiau populiarėja ir pakeičia įprastas odontologines procedūras. Naudojant skaitmeninę darbo eigą sumažinamas ne tik paciento vizitų skaičius, bet ir laboratorinių gamybos etapų skaičius.

Ši technologija patraukli pacientams, nes CAD/CAM -kompiuterinio projektavimo/kompiuterinė gamybos technologija, leidžianti tiksliai skaitmeniniu būdu gauti paciento burnos ertmės duomenis. Vietoj tradicinių atspaudinių medžiagų ši technologija naudoja intraoralinį skaitytuvą, kad būtų sukurtas 3D paciento burnos vaizdas. Atspaudai laboratorijoje paverčiami skaitmeniniu 3D dantų modeliu. Tada skaitmeninis nuskaitymas įkeliamas į specializuotą programinę įrangą, kuri sukuria virtualų modelį, kurį galima įvairiais būdais manipuluoti, kad būtų sukurta reikiama konstrukcija. Užbaigus modeliavimo procesą, duomenys siunčiami į frezavimo ar spausdinimo įrenginį, kur iš pasirinktos medžiagos gana greit pagaminamas reikiamas gaminys.

Siekiant palyginti miorelaksacinių kapų skaitmenines gamybos technologijas, tyrimo metu buvo pasirinkta gaminti 3D spausdinimo ir frezavimo būdais. Atliekant šį darbą buvo pastebėta, kad gaminant miorelaksacinę kapą 3D spausdinimo procesas užtruko trumpiau nei frezavimas. Pasirinktas horizontalus spausdinio pozicionavimas leido sutrumpinti spausdinimo laiką, tačiau teko skirti daugiau dėmesio okliuzinio paviršiaus sutvarkymui, šalinant atramines konstrukcijas. Taip pat pastebėta, kad išfrezuota kapa atrodo tvirtesnė, jos paviršius blizgesnis. Mažesnis liečių kiekis ant frezuotos kapos leido greičiau išlyginti jos paviršius bei lengviau išpoliruoti.

Skaitmeniniu būdu pagamintos kapos turi daug privalumų lyginant su tradicine liejimo technika, tačiau tam tikrais parametrais šie skaitmeniniai gamybos būdai lenkia vienas kitą. Žvelgiant iš tvarumo pusės, frezuojant medžiaga yra nuimama, vadinasi turime daugiau atliekančios medžiagos, nei spausdinant, kur medžiaga yra pridedama, norint pagaminti kapą. Taip pat atspausdinti kapes užtrunka ženkliai trumpiau nei išfrezuoti.

Išvalgos

Šiuolaikinės kompiuterinės technologijos palengvina ir pagreitina dantų technikų darbą. CAD/CAM sistemos pagalba galima modeliuoti ir pagaminti itin tiksliai konstrukcijas. Atliekant miorelaksacinės kapos modeliavimą, parenkama uždėjimo kryptis, nustatomos kapos ribos, storis, tamprumas, kuriamas dizainas. Naudota programinė įrangą „Exocad“ leido imituoti paciento smilkininio apatinio žandikaulio sąnario judesius. Ši funkcija palengvino tikslų apatinio žandikaulio miorelaksacinės kapos dizaino modeliavimą.

Miorelaksacinė kapa gaminama skirtingais gamybos būdais, bet naudojant tą patį kompiuterinį dizainą. Spausdinant kapą, speciali, šviesoje kietėjanti derva sluoksniais pridedama, o frezuojant iš plastmasės bloko medžiaga atimama. Spausdintos miorelaksacinės kapos pasižymi itin aukštu tikslumu. Pilnai sumodeliuota miorelaksacinė kapa išspausdinama vos per 1 valandą. Gaminant kapą frezavimo būdu, procesas užtrunka ilgiau, bet pagamintas aparatas, remiantis nagrinėta literatūra, pasižymi tvirtumu, didesniu atsparumui dilimui ir lūžiams bei geresne estetika.

Apžvelgtuose moksliniuose straipsniuose galime pastebėti, kad dantų technologai miorelaksacinių kapų gamybai vis dažniau taiko skaitmenines technologijas. Nors tai reikalauja papildomų išlaidų, įsigyjant įrangą, ir laiko apmokant darbuotojus, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje ši technologija gali sumažinti gamybos išlaidas, nes automatizuotas gamybos procesas ir tikslus dizainas sumažina medžiagų švaistymą ir gamybos trukmę.

Literatūros sąrašas

1. Amin A., Meshramkar R., Lekha K.. Comparative evaluation of clinical performance of different kind of occlusal splint in management of myofascial pain. U.S. National Library of Medicine; 2016 [cited 2024 05 19]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27141168/>
2. Berli C, Thieringer F, Sharma N, Müller J, Dedem P, Fischer J, et al.. Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for Occlusal Devices. U.S. National Library of Medicine; 2020 [cited 2024 04 10]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31955837/>
3. Blasi A, Henarejos-Domingo V, Palacios-Bañuelos R, et.al. CAD-cam and analog occlusal splints comparison based on the amount of occlusal adjustments. 3D analysis of the volumetric changes: A pilot study .U.S. National Library of Medicine; 2023 [cited 2024 05 19]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37395327/>
4. Candirli C., Korkmaz Y., Celikoglu M., et.al.. Dentists' knowledge of occlusal splint therapy for bruxism and temporomandibular joint disorders. U.S. National Library of Medicine; 2016 [cited 2024 03 12]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27251967/>
5. Dedem P., Türp J.. Digital Michigan Splint - from intraoral scanning to plasterless manufacturing. U.S. National Library of Medicine; 2016 [cited 2024 01 18]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27027103/>
6. Dias C. T. J., Lopez P. V., Botelho A, et.al.. Mechanical performance of 3-dimensionally printed resins compared with conventional and milled resins for the manufacture of Occlusal Devices: A systematic review. U.S. National Library of Medicine; 2023 [cited 2024 05 19]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36631367/>
7. DuPont J.S., Brown C.. Occlusal Splints From the Beginning to the Present. CRANIO®, 24(2), 141–145. 2006 [cited 2024 02 14]. Available from Internet: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1179/crn.2006.022>
8. Fujii T., Torisu T., Nakamura S.. A change of occlusal conditions after splint therapy for Bruxers with and without pain in the masticatory muscles. U.S. National Library of Medicine; 2005 [cited 2024 03 12]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15898567/>
9. Gibas J. 3D spausdintuvų galimybės dantų technologijoje. Bakalauro baigiamasis darbas. Utenos kolegija. Utena 2017.
10. Gibreel M., Perea-Lowery L., Vallittu P., Lassila L.. Characterization of occlusal splint materials: CAD-cam versus conventional resins. U.S. National Library of Medicine; 2021 [cited 2024 02 11]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34530298/>
11. Girtavičiūtė G. Psichologinių veiksnių įtaka miego ir būdravimo bruksizmo išsivystymui: odontologijos magistro baigiamasis darbas. Lietuvos sveikatos mokslų universitetas. Kaunas, 2023.
12. Grymak A., Aarts J., Ma S., Waddell J., Choi J.. Comparison of hardness and polishability of various occlusal splint materials. U.S. National Library of Medicine; 2021 [cited 2024 02 19]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33341739/>
13. Inglehart M., Widmalm S., Syriac P.. Occlusal splints and quality of life - does the patient-provider relationship matter?. U.S. National Library of Medicine; 2014 [cited 2024 03 12]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24914428/>
14. Lal S.J., Sankari A., Kurt K.. Weber, DDS. Bruxism management. U.S. National Library of Medicine; 2024. [cited 2024 04 11]. Available from Internet: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482466/>
15. Marcel R., Reinhard H., Andreas K.. Accuracy of CAD/CAM-fabricated bite splints: Milling vs 3D printing. U.S. National Library of Medicine; 2020 [cited 2024 03 09]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32436163/>
16. Orgev A., Levon J., Chu T., Morton D., Lin W.. The effects of manufacturing technologies on the surface accuracy of CAD-cam occlusal splints .U.S. National Library of Medicine; 2023 [cited 2024 05 09]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36227731/>

17. Papadiochou S., Pissiotis A.. Marginal adaptation and CAD-CAM technology: A systematic review of restorative material and fabrication techniques. U.S. National Library of Medicine; 2018 [cited 2024 May 19]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28967399/>
18. Perea-Lowery L., Gibreel M., Vallittu P., Lassila L.. Evaluation of the mechanical properties and degree of conversion of 3D printed splint material. U.S. National Library of Medicine; 2021 [cited 2024 May 19]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33333480/>
19. Ragauskaitė K.. Kapų efektyvumo palyginimas gydant smilkininio apatinio žandikaulio sąnario sutrikimus: literatūros sisteminė apžvalga: odontologijos magistro baigiamasis darbas. Lietuvos sveikatos mokslų universitetas. Kaunas, 2019.
20. Rexhepi I., Santilli M., D'Addazio G., Tafuri G., et al. Clinical applications and mechanical properties of CAD-cam materials in restorative and Prosthetic Dentistry: A systematic review. U.S. National Library of Medicine; 2023 [cited 2024 05 19]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37623675/>
21. Seifeldin S.A., Elhayes K.A.. Soft versus hard occlusal splint therapy in the management of Temporomandibular Disorders (tmds).U.S. National Library of Medicine; 2015 [cited 2024 04 17]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26644756/>
22. Suganna M., Kausher H., Tarek A.S., et al. Contemporary evidence of CAD-CAM in Dentistry: A systematic review. U.S. National Library of Medicine; 2022 [cited 2024 04 15]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36561580/>
23. Thanathornwong B., Suebnukarn S.. Clinical decision support model to predict occlusal force in bruxism patients. U.S. National Library of Medicine; 2017 [cited 2024 02 16]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29181234/>
24. Turkyilmaz I., Wilkins G., Yun S.. Moving from analogue to digital workflows in dentistry: Understanding undermilling and overmilling as detrimental factors in fabricating CAD/cam crowns. U.S. National Library of Medicine; 2022 [cited 2024 03 09]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35658655/>
25. Umer I., Kashif A., Rizwan N., A review on CAD CAM in dentistry. 2015 [cited 2024 02 22]. Available from Internet: <https://archive.jpda.com.pk/wp-content/uploads/2016/05/article2-15-3.pdf>
26. Vecsei B., Joós-Kovács G., Borbély J., Hermann P.. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - an in vitro study. U.S. National Library of Medicine; 2017 [cited 2024 01 18]. Available from Internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27461088/>

Summary

Occlusal splints are used to treat bruxism, a condition characterized by involuntary teeth grinding or clenching. These splints help protect teeth from wear and tear, facial muscles from strain, and the temporomandibular joint (TMJ) from pressure. Modern technologies allow for the digital fabrication of occlusal splints using CAD/CAM systems. This review explores two primary digital manufacturing methods for occlusal splints: 3D printing and milling.

The aim of the article is to analyze the digital manufacturing technologies for occlusal splints.

The main finding. The Exocad software used to model the myorelaxation splint allowed for the simulation of the patient's temporomandibular joint movements. This feature facilitated the modeling of the myorelaxation splint design. Although the splint were manufactured using different manufacturing methods, the same computer design was used. A special light-curing resin was used to print the splint, which was added in layers. When manufacturing the splint by milling, the process took longer because the plastic block material used for production was removed little by little. Although digital technologies require additional costs, in the long run this technology can reduce production costs, as the automated manufacturing process and precise design reduce material waste and production time.

Key words: bruxism, CAD/CAM, 3D printing, occlusal splint.

Justas Bražėnas

Utenos Kolegija, Lietuva
justas.brazenas@gmail.com

Aušra Stoškienė

Utenos Kolegija, Lietuva
ausra.stoskiene@ukolegija.lt