



Tölvustudd tannsmíði og heilgómar

Fræðilegt yfirlit

Rebekka Jenný Reynisdóttir



HÁSKÓLI ÍSLANDS
HEILBRIGÐISVÍSINDASVIÐ

TANNLÆKNADEILD

Lokaverkefni til BS gráðu
Leiðbeinandi: Aðalheiður Svana Sigurðardóttir

Tölvustudd tannsmíði og heilgómar – fræðilegt yfirlit
16 eininga ritgerð sem er hluti af BS gráðu í tannsmíði.

Höfundarréttur © 2017. Rebekka Jenný Reynisdóttir.
Öll réttindi áskilin

Háskóli Íslands
Tannlæknadeild
Námsbraut í tannsmíði
Vatnsmýrarvegi 16
101 Reykjavík
Sími: 525 4892

Skráningarupplýsingar:

Rebekka Jenný Reynisdóttir (2017). *Tölvustudd tannsmíði og heilgómar – fræðilegt yfirlit*. BS ritgerð, Tannlæknadeild, Háskóli Íslands.
[CAD/CAM dental technology and complete dentures – a literature review].

Prentun: Háskólaprent
Reykjavík, júní 2017

Útdráttur

Tilgangur: Markmið ritgerðarinnar er að lýsa breytingum sem átt hafa sér stað í tannsmíði, þar sem handverk hefur þróast yfir í tölvustudda heilgómagerð og svara rannsóknarspurningunni: *Hverjar eru framtíðarhorfur tölvustuddrar heilgómagerðar í stað hefðbundinnar?* Samantektin nýtist bæði fagfólki og almenningi og verður hún vonandi hvatning fyrir þá til þess að kynna sér möguleika CAD/CAM tölvutækni í heilgómagerð.

Aðferðir: Aðferðafræði rannsóknarinnar fólst í að skilgreina viðfangsefnið, ákveða upplýsingaþörf og leita að efni sem máli skipti, jafnframt var skipulag leitaraðferða ákveðið. Við gagnaöflun var leitað að heimildum í gagnasöfnunum PubMed/Medline, Google Scholar og Scopus. Leitin var framkvæmd á tímabilinu 4. – 7. apríl 2017.

Niðurstöður: Alls 56 greinar um notkun CAD/CAM tölvutækni við heilgómagerð uppfylltu leitarskilyrði. Greinarnar voru flokkaðar eftir efnisinntaki til að auðvelda úrvinnslu. CAD/CAM tækni við heilgómagerð er á byrjunarstigi. Til marks um það er sú staðreynd að sjö af átta framleiðslukerfum komu fram fyrir minna en þrem árum. Með þeim er hægt að fækka heimsóknnum heilgomasjúklings til tannlæknis úr fimm niður í allt að tvær. Flest kerfi nota sérstakar mátskeiðar til máttöku en eitt kerfi notar munnskanna. Bittaka er ýmist með stillanlegum skeiðum eða með hefðbundnum hætti. Hráefniseiningar notaðar í fræsivélar eru ýmist úr vaxi eða plasti. Algengast er að tennur innbyggðar í hráefniseininguna eða að notaðar séu sérstakar fjöldaframleiddar tennur fyrir CAD/CAM tækni. Eitt kerfi býður upp á einstaklingsmiðaða hönnun á tönnunum sjálfum. Algengasta aðferðin til að framleiða heilgóma vélrænt felst í afskurði af hráefniseiningum með fræsingu, aðeins eitt kerfi notaði fjöllaga framleiðslu eða þrívíddarprentun í ferlinu.

Ályktun: Niðurstöðurnar gefa til kynna að CAD/CAM tækni við hönnun og framleiðslu heilgóma hafi farið fram, sem sést í auknu framboði á kerfum til verksins. Þótt áfram sé þörf á tannsmiðum til heilgómagerðar, verða tannsmiðir framtíðarinnar ef til vill í sömu stöðu og starfsstétt prentara í kjölfar iðnbyltingarinnar. Ekki síst í ljósi þess að tilraunir með vélmenni til framleiðslu heilgóma eru á byrjunarstigi.

Efnisorð: tannsmíði, gervitennur, tölvustudd hönnun (CAD).

Abstract

Purpose: The purpose of this literature review was to describe the changes in dental technology that have occurred during the transition from using hands-on techniques to having a computer-aided approach in denture fabrication. The aim was to answer the research question: *What are the prospects of CAD/CAM technology in denture fabrication instead of using traditional methods?* The results will be beneficial to the dental team as well as the public. Hopefully this review will inspire them to educate themselves on the possibilities in CAD/CAM technology in denture fabrication.

Methods: The methods consisted of defining the subject and area of research as well as forming a search strategy, including keywords and exclusive criteria. The search was performed using the online libraries PubMed/Medline, Google Scholar and Scopus. The research was conducted on April 4th – 7th 2017.

Results: In total 56 journal articles were found on the research area of CAD/CAM technology in complete denture fabrication. Results from searches were assessed systematically. The fact that seven out of eight CAD/CAM fabrication systems for dentures emerged less than three years ago shows how recent the technology is. The systems make it possible to lower the number of patient's visits to the dentist from five down to as low as two. A majority of the systems use special impression trays for the impression procedure but one of them uses oral scanners. Bite registration is done in a traditional way or using special trays. Milling blanks are either made of special dental wax or denture base material. Some of them have built in denture teeth but other systems use prefabricated teeth from separate units. One system introduces the possibility of designing the teeth for each individual. Only one system used additive manufacturing (3-D printing) as part of the process while the rest used the subtractive method exclusively.

Conclusion: The results show improvements in available complete dentures CAD/CAM systems. The workforce of dental technicians is still needed, but in the future their role might face drastic changes, since the use of robotics in complete denture fabrication is already developing.

Key words: dental technology, dentures, computer-aided design.

*Þessi ritgerð er tileinkuð tannsmiðum á Íslandi sem leggja sig fram við að tileinka sér
nýjar aðferðir og með námsfýsi sinni efla fagmennsku stéttarinnar*

Formáli

Ritgerð þessi telst sem 16 ECTS eininga lokaverkefni til BS gráðu í tannsmíði við Tannlæknadeild Háskóla Íslands. Verkefnið er unnið af Rebekku Jennyju Reynisdóttur vorið 2017.

Það var á valdi örlaganna að höfundur leiddist að þessu verkefni. Gerð fræðilegs yfirlits um notkun CAD/CAM tölvutækni við heilgómagerð var sannarlega ekki á dagskrá. Þegar allt kom til alls og hafist var handa við að skoða efnið kviknaði áhuginn og reyndist þetta skemmtileg og fræðandi áskorun. Höfundur telur mikilvægt að fara yfir stöðu vélgerða heilgóma í dag svo að fagfólk geti haft yfirlit um þá tækni sem þegar hefur komið fram á sjónarsviðið og búið sig undir frekari þróun og breytingar í náinni framtíð.

Efnisyfirlit

Útdráttur	i
Abstract	ii
Formáli	iv
Efnisyfirlit.....	v
Töflur	vii
Myndir	vii
Hugtök og skammstafanir.....	viii
Þakkir	xi

1	Inngangur.....	1
2	Saga heilgómagerðar	2
2.1	Tannsmíði frá fyrstu tíð	2
2.1.1	Frumstæðar gervitennur	2
2.2	Heilgómagerð frá miðöldum til dagsins í dag	2
2.2.1	Fyrstu heilsettin á 16. öld	2
2.2.2	Verkferlar frá 17. öld.....	3
2.2.3	Postulínstennur á 18. öld	3
2.2.4	Waterloo tennur og súlfað gúmmí á 19. öld.....	4
2.2.5	Heilgómar úr plasti á 20. öld.....	5
2.2.6	Staðan á 21. öld	5
3	Aðferðir	6
3.1	Rannsóknarsnið	6
3.2	Gagnasöfnun.....	6
3.3	Gagnavinnsla	7
3.4	Styrkleikar og veikleikar	8
4	CAD/CAM í heilgómagerð	9
4.1	Tækni.....	9
4.1.1	CAD forrit	9
4.1.1.1	Sýndarbithermir.....	10
4.1.2	Skannar.....	10
4.1.3	CNC vélar.....	10
4.1.3.1	Afskurðar framleiðsla.....	11

4.1.3.2	Fjöllaga framleiðsla.....	11
4.2	Framleiðsluferlar	11
4.2.1	AvaDent Digital Dentures.....	12
4.2.2	Baltic Denture System	13
4.2.3	Ceramill Full Denture System.....	14
4.2.4	Pala Digital Dentures	15
4.2.5	Perfit Dental Solutions	17
4.2.6	VITA VIONIC	17
4.2.7	Wieland Digital Denture	18
4.2.8	WholeYou Nexteeth.....	19
4.3	Rannsóknir	20
4.3.1	Ánægja sjúklinga.....	20
4.3.2	Viðloðun.....	20
4.3.3	Monomer vökvi.....	20
4.3.4	Aðlögun.....	21
4.3.5	Slembdar klínískar tilraunir	21
4.4	Aðrar nýjungar	21
4.4.1	Einstaklingsmátskeiðar	21
4.4.2	Andlitshermir	22
4.4.3	Gervitannaframleiðsla	23
4.4.4	Vélmenni.....	23
5	Niðurstöður	24
5.1	CAD/CAM tækni við heilgómagerð í dag	24
5.2	Umræður	28
5.2.1	Þörf fyrir heilgóma.....	28
5.2.2	Hægfara tæknibreytingar.....	28
5.2.3	Arðbær fjárfesting eða ekki.....	28
5.2.4	Tölvugerðir heilgómar eða hefðbundnir	29
5.2.5	Heilgómagerð framtíðarinnar.....	29
5.2.6	Annað rannsóknarefni	30
	Heimildir	31
	Myndaskrá	36

Töflur

Tafla 1: Fjöldi niðurstaða úr gagnasöfnum.....	7
Tafla 2 Yfirlit framleiðslukerfa í heilgómagerð.	25

Myndir

Mynd 1: Baltic Denture hráefniseining	14
Mynd 2: Plug&Play með Ceramill D-set bökkum	15
Mynd 3: VITA VIONIC FRAME með VITAPAN DD FRAME plasttönnum	18
Mynd 4: Skjáskot úr andlitshermi með þremur mismunandi heilsettum í sýndarmátun.....	22
Mynd 5: Uppstilling tanna gerð með vélmenni.	23

Hugtök og skammstafanir

Í verkefninu koma fram orð úr fagmáli og skammstafanir eru notaðar sem þarfnast skýringa fyrir lesendur utan fagstétta á sviði tannheilbrigðis.

- Afsteypa* (e. Model): Gerð afsteypa er mikilvægt ferli í mörgum tannlæknisverkum. Til eru mismunandi tegundir afsteypa sem gerðar eru með því að hella gífsi í mát af munnholi sjúklings. Til að hægt sé að hanna og búa til bæði föst og laus tanngervi á afsteypur verða þær að vera nákvæmar eftirlíkingar af munnholi sjúklings.
- Andlistbogi* (e. Facebow): Er tæki sem aðstoðar við að staðsetja gervitennur í nákvæmlega rétta afstöðu við snúningsás kjálkaliða sjúklings.
- Ásetugómur* (e. Hybrid denture, overdenture): Heilgómur sem hefur stuðning eða festu á rótarenda eða tannplanta. Festingar ásetugóms geta verið margvíslegar svo sem smellur, seglar eða krækjur sem festa má á barra.
- Bithermir* (e. Articulator): Afsteypur tann- eða gómboga sjúklinga eru steypar inn í tækið bithermi. Bithermir líkir eftir innbyrðis afstöðu og hreyfingum kjálkans. Þetta er gert svo smíði falli inn í eðlilegar tyggingarhreyfingar sjúklings. Ýmsar gerðir bitherma hafa verið framleiddir en enginn getur líkt nákvæmlega eftir störfum kjálkans. Því þarf að prófa öll tanngervi, sem smíðuð eru í bithermi, og leiðrétt þegar þeim er komið fyrir í munnnum sjúklings.
- CAD* (e. Computer-aided Design): Tölvustudd hönnun tanngerva sem felst í notkun á sérstökum hugbúnaði.
- CAM* (e. Computer-aided Manufacturing): Tölvustudd vélræn framleiðsla sem felst í smíði tanngerva með sérstökum tækjabúnaði.
- Fræsa* (e. Milling): Þegar tanngervi er framleitt í CAM tækjabúnaði.
- Gervitennur* (e. Denture teeth): Hér notað sem orð fyrir staðgengla náttúrulegra tanna (tannbeins). Notuð hafa verið bein, perlur, skeljar, úrdregnar tennur úr fólki, dýrum eða hvað eina sem gat komið í stað tapaðrar eigin tannar. Í seinni tíð eru gervitennur fjöldaframleiddar úr postulíni eða ýmsum gerðum plastefna til notkunar í tannsmíði.

- Heilgómur* (e. Complete dentures): Staðgengill glataðs tannbeins og vefja sem gervitennur eru festar í. Hér er átt við þegar allar náttúrulegar tennur hafa tapast úr munni. Heilgómur getur verið í efri eða neðri kjálka eða í báðum sem heilgómasett.
- Hitahert plastefni* (e. Heat cure resin): Hitafjölliðað plastefni sem fjölliðast við blöndun dufts (e. polymers) og vökva (e. monomers) við hita.
- Hráefniseining* (e. Milling blank): Fjöldaframleidd eining sem er sett í CNC (e. Computer numerically controlled) vél til að hægt sé að fræsa út tanngervi eða hluta af því samkvæmt forskrift úr CAD forriti.
- Kývetta* (e. Dental flask): Stálhólkur eða sívalningur í tveimur hlutum. Uppvöxun á tanngervi er steyp t í kývettuna til þess að búa til skapalón. Það er notað til að skipta vaxi út fyrir gómaplast.
- Laus tanngervi* (e. Removable full or partial dentures): Ígildi tanna og aðliggjandi vefja. Um er að ræða tannparta eða heilgóma.
- Mát* (e. Dental impression): Neikvæð eftirmynd af munnholi hvort heldur sem af tönnum, tannlausum rimum eða nærliggjandi umhverfi. Steypt er í mátið með gífsi og verður þá til jákvæð afsteypa af munnholinu.
- Mátskeið/skeið* (e. Denture tray): Áhald sem passar í munnhol yfir tennur eða tannlausa rima og er fyllt af mátefni sem harðnar til að útbúa neikvæða eftirmynd af munnholi.
- Mátunargómur* (e. Trial denture): Uppstilling gervitanna sem má máta upp í sjúkling til að skoða útlit, bithreyfingar eða annað sem nauðsynlegt þykir áður en endanlegt tanngervi er framleitt.
- Partur* (e. Removable partial denture): Laust tanngervi sem skjólstæðingur getur sjálfur fjarlægt úr munni, t.d. ein gervitönn eða fleiri gervitennur sem festar eru í gómaplast og/ eða á stálgrind og fyllir í tannlaus bil milli náttúrulegra tanna. Hald kemur frá eftirstandandi tönnum og undirliggjandi slímhúð. Bráðabirgðapartar eru ætlaðir til styttri notkunar og eru eingöngu úr plastundirlagi. Stálpartar eru með styrktu undirlagi úr málni og henta til langtímanotkunar.
- PMMA* (e. Polymethyl methacrylate): plastfjölliður sem er til í ýmsum útgáfum allt eftir því hvers konar tanngervi á að smíða. Notað m.a. í heilgómagerð
- Pökkun* (e. Flasking) Holrúmið í kývettu er fyllt með heilgómoplasti og síðan pressað saman undir þrýstingi.

<i>Skanni</i>	(e. Scanner) Skanni er inntaksbúnaður fyrir tölvukerfi sem notar ljóslestur, mynstur- og stafakennsl til að skoða gögn á kerfisbundinn hátt og breyta í starfrænar myndir.
<i>Skanna</i>	(e. Scanning) Skoða gögn á kerfisbundinn hátt. Hugtakið er hér notað yfir þrívíddarskönnun af munnholi eða afsteypu af því, og umbreytingu upplýsinga sem þannig fást í stafrænar myndir.
<i>Tanngarður</i>	(e. Dentition) Upphækkun í munni sem tennurnar sitja í, röð tanna í munninum.
<i>Tanngervi</i>	(e. Prosthesis) Kemur í stað tanna að hluta til eða í heild, getur verið bæði fast eða laust tanngervi.
<i>Tannmótasmiður</i>	(e. Dental mold maker) Smíðar mót sem eru notuð við fjöldaframleiðslu plasttanna.
<i>Tannplanti</i>	(e. Dental implant): Niðursetning títaníumskrúfu í rótarstæði. Skrúfan gegnir hlutverki tannrótar og er undirstaða fyrir nýja tönn. Líkaminn myndar smám saman tannvef sem festir hina nýju rót.

Þakkir

Öllum þeim sem áttu jákvæðan þátt í vegferð minni að útskrift frá Háskóla Íslands vil ég færa þakkir með þessu ljóði eftir mig:

Elfur

Í þjósti andvarans
magnast hryglan
og ég kollhneigist
niður að bakka þínum

Hrífandi straumur
svalar huga mínum
drekki ótta mínum
brynnir þrám mínum

Að ósi
skiljumst við

Sjónbaugur umhverfis mig
í allar áttir
lofar saman hafið og himinhvolfið

1 Inngangur

Í ljósi þess hversu langt er síðan tanngervi voru fyrst framleidd er auðvelt að trúa að á þessum tíma hljóti tækniþróun að hafa náð svo langt að ferlið nálgist fullkomnum. Það er þó fjarri lagi og upplifa tannsmiðir nú byltingu á þessu sviði. Upplýsingaöld þar sem þekking og tækni verða sífellt aðgengilegri og ódýrari hefur á stuttum tíma breytt framtíðarhorfum heilgómagerðar. Fyrsta grein um notkun tölvutækni við smíði heilgóma birtist árið 1994 og þá var nýting tækninnar við heilgómagerð aðeins sett fram sem tilgáta (Maeda, Minoura, Tsutsumi, Okada og Nokubi, 1994). Tækni sem slík er oft kölluð CAD (e. Computer aided design) CAM (e. Computer aided manufacturing) eða CAD/CAM tækni og vísar þar í enskar skammstafanir um notkun tölvubúnaðar við að hanna annars vegar og við framleiðslu hins vegar.

Á þeim stutta tíma sem hefur liðið síðan hugmyndinni um tölvugerða heilgóma var velt fram hefur þróunin verið hröð. Í dag eru til ýmis forrit og tæki sem gera slíka tækni að aðgengilegum valkosti við heilgómagerð. Fyrstu klínísku rannsóknirnar á CAD/CAM heilgómum líta dagsins ljós um þessar mundir og fleiri slíkar eru í bígerð. Á þessum tímamótum er forvitnilegt að líta yfir þróunina sem þegar hefur orðið í CAD/CAM heilgómagerð og skoða hvað rannsóknir benda til að framtíðin beri í skauti sér.

Með fræðilegri samantekt á nýjustu rannsóknum um vélræna hönnun og framleiðslu heilgóma eru teknar saman upplýsingar um breytt vinnulag við meðferð heilgómasjúklinga.

Markmið ritgerðarinnar er að lýsa breytingum sem átt hafa sér stað í tannsmíði, þar sem handverk hefur þróast yfir í tölvustudda heilgómagerð og svara rannsóknarspurningunni:

Hverjar eru framtíðarhorfur tölvustuddrar heilgómagerðar í stað hefðbundinnar?

Samantektin nýtist bæði fagfólki og almenningi og verður tilkoma hennar vonandi hvatning fyrir þá til þess að kynna sér möguleika CAD/CAM tölvutækni í heilgómagerð.

2 Saga heilgómagerðar

Áður en farið er yfir stöðu CAD/CAM tækni í heilgómagerð er gott að líta yfir sögu fagsins í gegnum aldirnar.

2.1 Tannsmíði frá fyrstu tíð

Frá fyrstu tíð hefur tannheilbrigði og skortur þar á verið viðvarandi vandamál í samfélagi manna. Menningarþjóðir til forna voru þar ekki undanskyldar. Fornleifar staðfesta að fyrir yfir 2700 árum reyndu menn að bæta úr tannmissi með frumstæðum gervitönnum. Fyrstu heilgómarnir komu fram einhverju síðar. Hugmyndir um hvers eðlis þeir voru eru ennþá getgátur þar sem engar áþreifanlegar heimildir eru til staðar.

2.1.1 Frumstæðar gervitennur

Föníkíumenn, Forn-Grikkir og Etrúar notuðu málmborða til að festa gervitennur við náttúrulegar tennur í munni til að bæta tyggifærni og útlit auk þess að koma í veg fyrir frekara tanntap. Þessu til staðfestingar eru frumstæðir tannpartar sem hafa varðveist í helgiskrínunum frá fornöld. Rómverjar lærðu tannsmíði sennilega af Etrúum en þróuðu áfram aðferðir sem þegar voru til. Í kjölfar þess er möguleiki að fyrstu heilgómarnir hafi komið fram. Fræðimenn telja að um hafi verið að ræða heilsett á hjörum (Soratur, 2006). Þó er ekki hægt að staðfesta það þar sem heimildir er aðeins að finna í fornkvæðum. Tennurnar sem mun hafa verið notast við voru ýmist úr manna- og dýrabeinum, sérstaklega fílabeinum, eða skornar úr tré (Murray og Darvell, 1993).

2.2 Heilgómagerð frá miðöldum til dagsins í dag

Eftir því sem nær dregur okkar tíma er betra yfirlit aðgengilegt um þróun heilgómagerðar til þeirra aðferða sem við þekkjum í dag. Skrifaðar heimildir eru til staðar auk þess sem sum tanngervi hafa varðveist. Þó fyrstu heimildir um tanngervi fjalli um parta og brýr sem fylla áttu í skörð milli eigin tanna varð síðar þörf á að skapa tanngervi sem yrði staðgengill allra eigin tanna. Þessi tanngervi kallast heilgómar, en flestir þekkja betur samheitið falskar tennur (Woodforde, 1968).

2.2.1 Fyrstu heilsettin á 16. öld

Elsta heilsettið sem vitað er um er frá um 1500 og fannst það í Sviss. Gómar þess eru úr beini en eru frekar gervilegir því tannformið er mjög ferkantað. Hvor gómur er í þremur hlutum sem ljóst er að voru festir saman með bandi auk þess sem efri og neðri gómur

voru bundnir saman að aftanverðu (Anderson, O'Connor og Ogden, 2004). Önnur heilgómasett sem hafa fundist í Evrópu frá þessum tíma hafa einnig verið úr beinum.

Í Japan hinsvegar voru tréheilgómar lausn við tannleysi þar allt frá 16. öld. Það var ekki síst vegna þess hve ódýrir þeir voru í framleiðslu. Tanngarðar voru skornir út í tré og síðan mátaðir í munn. Þá var frekari slípun gerð til að bæta aðlögun að gómastæðunum. Efri og neðri gómarnir voru síðan bundnir saman að aftan líkt og sá sem fannst í Sviss. Þessar aðferðir viðhöfðust allt fram til loka 19. aldar þegar vestrænir viðskiptamenn báru með sér nýstárlegri aðferðir við smíði heilgóma til Japan (Ohno og Hasaka, 2013).

2.2.2 Verkferlar frá 17. öld

Fyrstu verklýsingar í heilgómagerð eru til á prenti frá árinu 1684. Þar lýsti skurðlæknir að nafni Purmann aðferðum við að móta til vax í þá stærð og lögun sem ákjósanleg væri fyrir falskar tennur. Síðan var fyrirmyndinni komið til handverksmanns sem líkti eftir hönnuninni í bein eða fílabein (Murray og Darvell, 1993; Woodforde, 1968). Woodforde, (1968) segir frá því að í lok 17. aldar hafi handverksmenn eins og gullsmiðir og rakarar áttað sig á að markaður var fyrir tanngervi meðal þeirra ríku og auglýsingar fóru að birtast í tímaritum:

Falskar tennur sitja svo vel að hægt er að borða með þeim, þær er ekki hægt að greina frá náttúrulegum tönnum. Þær þarf ekki að fjarlægja úr munni á nóttinni eins og ranglega hefur verið hermt, og má nota árum saman. Þær eru skraut fyrir munninn og munu stórbæta tal.

Þegar efnahagur leyfði var hins vegar hægt að kaupa perlur, silfurtennur eða glerjaðan kopar (e. Enamelled) sem gervitennur, til að festa við góma úr beinum (Woodforde, 1968). Endingartími tanngerva sem skorin voru út úr hval- eða flóðhestabeini var takmarkaður, sem og efnin sem notuð voru í gervitennurnar. Annað vandamál sem tengdist smíði heilgóma og parta á þessum tíma tengdist því að tækni og efni til að taka nákvæm mát af munnholi hafði ekki verið fundin upp. Virkni tanngerva á þessum tíma var í raun ekki aðalatriðið heldur voru þau fyrst og fremst til þess að bæta útlit.

2.2.3 Postulínstennur á 18. öld

Hönnun Pierre Fauhard, sem birt var í *Le Chirurgien Dentiste* 1728, sýnir hvernig hægt er að gera heilgóma og nota hjöruliði til þess að festa gómana saman að aftanverðu til að auka stöðugleika þeirra í munnholinu. Á síðari hluta 18. aldar var þróuð aðferð til að taka mát í munni. Þá var notað vax og tekið mát af annarri hliðinni í einu. Vaxmátunum var

síðan raðað saman og í þau var steipt gifs til að útbúa afsteypu (e. Model) af gómastæðum efri og neðri kjálka (Woodforde, 1968).

Fyrstu tilraunir Duchateau voru framleiðsla á heilgómum alfarið úr postulíni. Árangurinn lét á sér standa þar sem erfitt var að stjórna samdrætti postulíns við brennslu, sem leiddi til þess að heilgómarnir urðu minni en ætlunin var. Í samráði við De Chemant þróuðu þeir postulínsheilgóma sem brenndir voru við lægri hitastig sem skilaði betri árangri. Postulínsheilgómarnir voru festir saman með hjörulið eins og Fauchard hafði kynnt árum áður til að hægt væri að vera með þær í munnum (Woodforde, 1968). Fleiri notuðu þessa tækni til að búa til postulínsheilgóma en heilgómarnir voru langt frá því að vera gallalausir, þeir voru brothættir, of hvítir og án gegnumskins.

2.2.4 Waterloo tennur og súlfað gúmmí á 19. öld

Óvenjulegt hráefni í heilgómagerð varð vinsælt á 19. öld sérstaklega þar sem aðgengi varð aukið að þeim í kjölfar stríðsátaka. Þetta voru mannatennur sem voru úrdregnar úr föllum hermönnum. Voru þær ákjósanlegar fram yfir postulínstennur þar sem postulínstennur á þessum tíma voru frekar brothættar. Tennur úr ungum og hraustum hermönnum voru vanalega vel útlítandi og hentuðu því til heilgómagerðar og voru seldar á mörkuðum eftir vigt. Tannlæknar notuðu þær síðan til að stilla upp á gómstæði sem var yfirleitt skorið út í flabein. Heilgómar af þessu tagi eru oft kallaðir Waterloo-tennur. Nafnið er dregið af einum mannskæðasta bardaga 19. aldar í Evrópu en stórar líkur eru á því að mannatennur í heilgómum frá þessum tíma hafi verið dregnar úr föllum mönnum á vígvellinum við Waterloo (Powers, 2006). Silfursmiðurinn Claudius Ash vann lengi við gerð heilgóma úr flabeini með tönnum úr látnu fólki. Hvert heilgómasett tók hann um það bil sex vikur að smíða. Honum mislíkaði að vinna með tennur úr látnu fólki og hóf sjálfur að framleiða gervitennur úr postulíni. Honum tókst að fjöldaframleiða gervitennur úr postulíni í nokkrum gráum litatönnum sem hægt var að nota í heilgómagerð (Woodforde, 1968). Samhliða jókst notkun gullþynna í stað beina, sem á voru festar gervitennur.

Fjöldaframleiðsla heilgóma hófst um 1850 í kjölfar amerískrar uppfinningar þar sem súlfað gúmmí (e. Vulcanised rubber) var notað sem gómaefni í stað beina eða málma. Efnið var samt sem áður ekki ákjósanlegt í góma. Það var með loftbólum, erfitt að hreinsa og keimur ýmissa matvæla loddi við gúmmíið, auk þess sem það olli særindum í slímhúð. Liturinn var líka ónáttúrlægur svo brugðið var á það ráð að reyna að festa

postulínsplötu sem líktist tannholdi ofan við gervitennurnar svo fólk gæti brosað. Súlfað gúmmí var notað í heilgómagerð fram á miðja 20. öld (Woodforde, 1968).

2.2.5 Heilgómar úr plasti á 20. öld

Pólýmetýlmetakrýlat (PMMA) plastefni var fyrst fundið upp árið 1901 en notkun þess í tannlækningum var ekki þekkt fyrr en 1935. Strax árið 1946 var hlutdeild heilgóma framleiddum úr plasti með postulínstönnum orðin um 95%. Kostir plastefnisins sem súlfaða gúmmíð bjó ekki yfir ollu þessari hröðu breytingu. Liturinn var eðlilegur og hélst vel hvort sem um ræddi gómableikan eða tannlit, efnið hleypti ljósi í gegn um sig, var ágætlega sterkt, ódýrt og gat auðveldlega bundist við sama efni ef grípa þurfti til viðgerða eða binda við tennur úr plasti (Murray og Darvell, 1993).

2.2.6 Staðan á 21. öld

Fjöldaframleiddar tennur til notkunar í heilgómagerð í dag eru aðallega gerðar úr akrýlblöndum eða composite plastefnum. Plastefnin geta verið fjölliðuð á sérstakan hátt og oft er íbætt fylliefnum til að ná fram ákjósanlegum eiginleikum eins og slitþoli eða lífsamrýmanleika (Fischer, 2016, desember). Lítil hluti heilgóma sem framleiddir eru í dag eru með postulínstönnum. Margir tannlæknar og tannsmiðir neita að útbúa slíka góma en ákveðnir einstaklingar sem hafa til margra ára verið með heilgóma með postulínstönnum geta reynst tregir til að breyta til þegar kemur að því að endurnýja. Nýjung í heilgómagerð er tölvustudd hönnun og smíði heilgóma. Möguleikar CAD/CAM tækni við framleiðslu heilgóma eru orðnir fjölbreyttir. Framleiðendur keppast við að hasla sér völl á markaði vélgerðra heilgóma og telja fram ýmis meðmæli með vélgerðum heilgómum. Tímasparnaður er sá kostur sem er hvað oftast nefndur. Hann fæst með einföldun vinnuaðferða þar sem heilgómarnir eru að hluta hannaðir í tölvu og framleiddir í vél og síðan með fækkun heimsóknra sjúklings til tannlæknis. Auk þess er jákvætt að rafræn gögn er hægt að geyma að framleiðslu lokinni sem gerir einfalt að endurnýja glatað eða skemmt tanngervi. Tölvuhönnun tryggir jafna lágmarksþykkt gómaplötu svo fyrirferð heilgómanna er sem minnst. Yfirborð gómaplastsins er þéttara í sér í þeim tilfellum sem gómarnir eru fræstir úr stöðluðum plasteiningum sem kemur í veg fyrir örverusöfnun í gómaplastinu (Thalji og Jia-mahasap, 2017). Mögulega er minni monomer vökvi í slíkum heilgómum en vökvinn getur valdið ertingu á slímhúð eða ofnæmisviðbrögðum (Steinmassl, Wiedemair, Huck, Klaunzer, Steinmassl, Grunert og Dumfahrt, 2016). Kostirnir eru margvíslegir og því skiljanlegt að leitað sé í auknum mæli yfir í vélræna heilgómagerð

3 Aðferðir

Nú standa yfir tímamót á sviði heilgómagerðar þar sem hún tekur stökk frá því að vera alfarið handverk yfir í að nú er hægt að styðjast við tölvutækni í verkferlinum. Mikilvægt er að fara yfir stöðu vélgerðra heilgóma í dag svo að fagfólk hafi yfirlit yfir þá tækni sem þegar hefur komið fram og geti búið sig undir frekari þróun og breytingar.

3.1 Rannsóknarsnið

Fyrir valinu varð að vinna fræðilegt yfirlit. Með slíkri rannsóknaraðferð má á skipulagðan hátt samkvæmt ákveðnum þrepum finna birtar vísindagreinar um tengt efni og nýta niðurstöður þeirra til að byggja þekkingargrunn.. Sem hjálpar til að svara eftirfarandi rannsóknarspurningu:

Hverjar eru framtíðarhorfur tölvustuddrar heilgómagerðar í stað hefðbundinnar?

Aðferðafræði rannsóknarinnar fólst í að skilgreina viðfangsefnið, ákveða upplýsingaþörf og leita að efni sem máli skipti, jafnframt var skipulag leitaráðferða ákveðið. Niðurstöður þessa yfirlits endurspeglar árangur leitarinnar og mat höfundar á þeim gögnum.

3.2 Gagnasöfnun

Viðfangsefni rannsóknarinnar er að kanna á kerfisbundinn hátt greinar um CAD/CAM kerfi sem nú eru í notkun við heilgómagerð. Í stað þess að taka saman yfirlit yfir heimildir sem unnið er úr, eru niðurstöður leitar birtar sem yfirlit yfir CAD/CAM kerfi og eiginleika þeirra. Yfirlitið er gert til að útskýra hvaða aðferðir eru notaðar við máttöku, bittöku, efni í tanngervin og framleiðsluáðferðir. Jafnframt á að kanna hvort rannsóknir finnast um árangur tölvustuddrar heilgómagerðar.

Við gagnaöflun var leitað að heimildum í gagnasöfnunum PubMed/Medline, Google Scholar og Scopus. Leitin var framkvæmd á tímabilinu 4. – 7. apríl 2017.

Til hnitmiðunar var ákveðið að afmarka umfjöllunina við hefðbundna heilgóma (e. Complete dentures) og CAD (e. Computer aided design) notuð sem lykilorð í rafrænni leit af heimildum. Þar sem valin gagnasöfn notast ekki við sömu leitartæknimöguleika var smávægilegur munur á endanlegum leitaraskilyrðum sem notuð voru í hverju gagnasafni. Í leitarvélinni Pubmed var notast við MeSH (e. Medical Subject Headings)

leitarskilyrði, til að takmarka leitarniðurstöður úr tímaritum frá öllum heimshornum í National library of Medicine, og Boolean leitartækni í Scopus.

Þar sem notkun CAD/CAM tækni við heilgómagerð er svo til nýhafin og takmarkaður fjöldi greina hefur verið birtur um efnið þótti ekki ástæða til að útiloka niðurstöður eftir aldri greinanna í fyrstu.

Útilokaðar voru heimildir samkvæmt eftirfarandi skilyrðum:

1. Tungumál önnur en enska.
2. Ásetugómar (e. Hybrid dentures)
3. Tannplantastuddir heilgómar (e. Implant dentures).
4. Tannpartar (e. Removable partial dentures).
5. Sírkon (e. Zirconium)
6. Títan (e. Titanium).

Jafnframt var gerð almenn handvirk leit og skoðaðar greinar sem vísað var í, í heimildaskrár fyrri greina sem talið var að gætu nýst til að svara rannsóknarspurningunni.

Eftirfarandi samsetningar af leitarskilyrðum voru notaðar í rafrænni leit (Tafla 1):

Tafla 1: Fjöldi niðurstaða úr gagnasöfnum

Gagnasafn	Leitarorð	Fjöldi	Útilokaðar	Valdar	Á lista
Pubmed	(((denture, complete[MeSH Major Topic]) AND Computer-aided design[MeSH Major Topic])	20	4	16	16
Pubmed	(((computer-aided manufacturing) AND denture, complete[MeSH Major Topic])	25	4	21	5
Goggle	CAD/CAM "complete denture" -implant -overdenture -,partial denture" -zirconia -titanium	182	149	33	27
Scopus	ALL(„complete denture“) AND NOT(implant) AND NOT(overdenture) AND(LIMIT TO(EXACT KEYWORD, „Computer Aided Design“)	44	18	26	8
	Niðurstaða	271	175	96	56

3.3 Gagnavinnsla

Við mat á niðurstöðum samkvæmt leitaráætlun var fyrst metið hvort greinarnar ættu erindi í yfirlitið samkvæmt skilyrðum. Alls skiluðu leitarskilyrðin 271 niðurstöðu úr

áður nefndum gagnasöfnum (Tafla 1), sumar greinar voru ekki efninu viðkomandi þótt titillinn gæfi það til kynna og hægt var að fækka greinum til yfirlstrar í 175. Alls 96 greinar um notkun CAD/CAM tölvutækni við heilgómagerð uppfylltu leitarskilyrði. Hins vegar voru 30 tvítaldar í niðurstöðum þar sem um var að ræða sömu greinar. Heildarfjöldi greina sem uppfylltu skilyrði voru samtals 56. Þær voru lesnar til að nýta við fræðilegt yfirlit, sumar þó aðeins að hluta til. Greinarnar voru flokkaðar eftir efnisinntaki til að auðvelda úrvinnslu.

Við gagnavinnslu kom í ljós að sumar eldri greinanna voru ekki sammála því sem kom fram í nýrri greinum. Í svoleiðis tilvikum var hvert tilfelli skoðað frekar og reyndist iðulega að upplýsingarnar höfðu reynst sannar á þeim tíma sem greinarnar voru gefnar út. Breytingar eru örar á þessu sviði svo jafnvel nýlegar greinar innihéldu úreltar upplýsingar að einhverju leyti. Eitt til tvö ár eru hlutfallslega stór hluti af þeim 23 árum sem vélræn heilgómagerð hefur verið að þróast. Því var reynt eftir fremsta megni að velja nýjustu heimildirnar sem voru í boði um efnið hverju sinni.

3.4 Styrkleikar og veikleikar

Rannsóknin verður aldrei sterkari en þær heimildir sem notaðar voru við fræðilegt yfirlit. Einn helsti veikleiki er að fjöldi rannsókna um nýlega tækni sem CAD/CAM er takmarkaður. Þegar verið var að fjalla um einstaka þætti eins og til dæmis ánægju sjúklinga með CAD/CAM framleidda heilgóma eða magn monomer vökva í slíkum gómum liggur aðeins ein rannsókn að baki hvoru efni. Eftir því sem tíminn líður og fleiri rannsóknir verða birtar er hægt að gera samanburð á rannsóknum um sama efni og fá skýrari niðurstöður. Fáar vísindagreinar eru jafnframt styrkleiki yfirlitsins þar sem umfang leitarniðurstaða var viðuráðanlegt til yfirferðar fyrir rannsakanda. Hægt var að skoða allar viðeigandi greinar í stað þess að velja hluta þeirra úr eins og raunin hefði orðið ef um þúsundir greina sem uppfylltu skilyrði hefði verið að ræða.

Alltaf er möguleiki á að einhverjar upplýsingar sem hafa þýðingu fyrir efnið hafi yfirsétt í heimildaleit þar sem leitarskilyrði eru takmörkuð í upphafi.

4 CAD/CAM í heilgómagerð

Í þessu fræðilega yfirliti er greint frá því sem kom fram við gagnasöfnun meðal annars frá tækni við CAD/CAM heilgómagerð, verkferlum mismunandi framleiðenda og kostum og göllum vélgerðra heilgóma.

4.1 Tækni

Til að framleiða hvað sem er með CAD/CAM tækni þarf í grunninn tvennt að vera til staðar. Það er tölvuforrit sem er notað til að skapa þrívíddarhönnun og svo vél sem kallast CNC (e. computer numerically controlled) vél til að framleiða eftir tölvuhönnuninni. Þar sem CAD/CAM tanngervi eru útbúin til að passa í munn bætist við skanni sem er nauðsynlegur í þessu ferli þegar kemur að tannlækningum. Hér er farið betur yfir alla þessa þætti í samhengi við heilgómagerð.

4.1.1 CAD forrit

Í dag er hægt að velja á milli margra ólíkra tölvuforríta til þess að hanna heilgóma. Mismunandi er hvort forritin séu opin eða lokuð.

Lokuð forrit eru hluti af heildstæðum vörulínum með CAM hráefniseiningar til að nota við tölvuframleiðslu heilgómanna. Slík kerfi eru sex talsins en þau eru:

1. AvaDent Digital Dentures.
2. Baltic Denture System.
3. Ceramill Full Denture System.
4. Pala Digital Dentures.
5. WholeYou Nexteeth.
6. Wieland Digital Denture.

(Steinmassl, Klaunzer, Steinmassl, Dumfahrt og Grunert, 2017; Brown, 2016). Möguleikarnir sem þessi CAD hugbúnaðarforrit bjóða upp á eru oft keimlíkir en hvert hefur sín sérkenni.

Opin forrit ganga út frá því að nota hráefniseiningar frá fyrrnefndum kerfum og snúa því aðeins að CAD hluta ferlisins. Fjöldi opinna kerfa standa til boða en dæmi um slík forrit eru 3shape, Dental wings, Exocad og Organical. Einnig er til kerfið VITA VIONIC sem gefur út hráefniseiningar fyrir þessi opnu CAD forrit án þess að bjóða sjálft upp á sérstakt forrit til tölvuhönnunar.

4.1.1.1 Sýndarbithermir

Kerfi sem bjóða upp á innbyggðan sýndarbithermi eru AvaDent og Nexteeth. Sýndarbithermirinn virkar eins og hefðbundinn bithermir nema að afsteypurnar eru stafræn og bithermirinn er hluti af tölvuforriti. Tannlæknirinn mælir liðbrautarhalla sjúklingsins, og Bennet horn við skoðun. Þessar upplýsingar skráir tannsmiðurinn síðan inn í forritið. Í sýndarbitherminum er síðan hægt að skoða bithreyfingar á tanngervinu sem var hannað áður en það er fræst. Hann gerir því tæknilega óþarft að útbúa mátunargóma til að skoða bithreyfingar í munni þó það sé áfram æskilegt af öðrum ástæðum (Baba, Hamad, Goodacre og Goodacre, 2016).

4.1.2 Skannar

Áður en heilgómar eru hannaðir í tölvuforriti þarf að flytja upplýsingar um aðstæður í munni yfir í forritið á stafrænu formi. Mismunandi er hvort þessara upplýsinga er aflað af vinnuafsteypu eða beint úr munnholi. Tækin sem eru notuð til þessa kallast skannar og skiptast þeir í hreyfanlega og sjónræna skanna. Hreyfanlegir skannar búa yfir næmum snertiörmum sem hnita yfirborð afsteypunnar eða slímhúðarinnar og tölvuforritið notar hnitin til að útbúa stafræna mynd. Sjónrænir skannar nota sneiðmyndatöku, leysigeisla eða ljósdíóður til að mynda gómastæðin og setja saman stafræna mynd af þeim (Infante, Yilmaz, McGlumphy og Finger, 2014).

Mörg fyrirtæki framleiða borðstandandi skanna á sviði tannlækninga og fáein bjóða upp á munnskanna. Sum fyrirtæki bjóða upp á nokkra mismunandi skanna. Borðstandandi skannarnir geta skannað mát, afsteypur eða bæði. Munnskannarnir eru notaðir beint í munnholi og því er máttaka óþörf. Gæði þeirra eru misjöfn en í rannsókn sem skoðaði nákvæmni fjögurra mismunandi munnskanna reyndist aðeins einn þeirra nógu nákvæmur til að nota í stað máttöku í heilgómagerð (Patzelt, Vonau, Stampf og Att, 2013).

4.1.3 CNC vélar

CNC vélar framleiða þrívíddarhönnun úr tölvu og sjá þar með um CAM hluta ferlisins kallast. Tölvun stjórna búnaðinum á nákvæman hátt með talnarunum sem vísa í hnitakerfi. Flestar CNC vélar eru þrjú ásá með hreyfigetu um ásana X, Y og Z sem eru hornréttir hver á annan. Rætt er um fjögurra ása CNC vélar ef þær geta snúið vinnuborðinu og fimm ása ef vinnuborðið getur bæði snúist og velst um ás (Bilgin, Baytaroğlu, Erdem og Dilber, 2016). Til að ná fram þeirri nákvæmni sem krafist er í

CAD/CAM framleiðslu tanngerva eru yfirleitt notaðar fimm ása vélar. Framleiðsluaðferð CNC véla er tvenns konar, ýmist afskurðar framleiðsla eða fjöllaga framleiðsla.

4.1.3.1 Afskurðar framleiðsla

Afskurðar framleiðsla (e. subtractive manufacturing) byggist á því að vara er framleidd úr heilli einingu með því að smátt og smátt fjarlægja allt umframefni eftir því sem CAD hönnunin segir til um. Þetta getur verið gert með rafleiðni tækni (e. spark erosion) eða fræsing. Fræsing notast við demants- og karbítbora eða leysigeisla en rafleiðni tæknin byggir á eðliseiginleikum efnis í snertingu við rafstraum. Algengara er að CNC vélar í tannsmíði noti fræsinguna við framleiðsluna. Afskurðarvélar búa yfir mismunandi stærðum af borum og til að ná fram smáum líffræðilegum eiginleikum tanngerva geta minnstu borarnir fræst með nákvæmni upp á 10 μm (Bilgin o. fl., 2016).

4.1.3.2 Fjöllaga framleiðsla

Fjöllaga framleiðsla (e. additive manufacturing) er öfug við framleiðslu með afskurðar aðferðinni. Með forriti sem túlkar þrívíddarhönnun sem tölulega tölvustýringu og sprautustútum og vélrænu kerfi sem vinna skipanir út frá þeim upplýsingum er varan framleidd í nokkrum lögum. Þetta er því oft kallað þrívíddarprentun (Chen, Wang, Lv, Wang og Sun, 2015). Þó að afskurðar framleiðsla sé oftast notuð í tannsmíði er fjöllaga framleiðsla til dæmis notuð til þess að prenta mátunargóma, þrívíddarafsteypur og einstaklingsmátskeiðar.

4.2 Framleiðsluferlar

Tannlaus sjúklingur þarf að fara í minnst fimm heimsóknir til tannlæknis frá fyrsta tíma þar til hann fer heim með nýjar gervitennur ef tanngervið er framleitt með hefðbundnum leiðum. Þetta er langt og tímafrekt ferli og sérstaklega óþægilegt fyrir einstaklinginn sem þarf sennilega að nota gamalt tanngervi sem er orðið lélegt á meðan á því stendur. Með tilkomu vélrænnar heilgómagerðar má fækka þessum heimsóknum allt niður í tvær. Þetta er vegna þess að mörg skref sem venjulega eru framkvæmd í munni skjólstæðingsins er núna hægt að vinna í tölvuforritum eða einfölduð á annan hátt. Framleiðsluferlar með mismunandi forritum við CAD/CAM heilgómaframleiðslu eru keimlíkir þar sem alltaf þarf að afla sömu upplýsinga um aðstæður í munni og nýta þær til að hanna tanngervið. Þó hefur hvert forrit sín sérkenni og því verður hér farið yfir framleiðsluferlið hjá þeim forritum sem eru í boði.

4.2.1 AvaDent Digital Dentures

Fyrirtækið Global Dental Science gefur út kerfið AvaDent Digital Dentures sem hefur verið fáanlegt á markaði síðan 2015. Skjólstæðingur þarf að koma minnst tvisvar sinnum til tannlæknisins í AvaDent ferlinu. Auk hefðbundinna heilgóma býður kerfið upp á að hanna og framleiða sárágóma, staka góma, bitplötur, röntgen stýringar, meðferðargóma, skinnur til að staðfesta staðsetningu þriggja eða fleiri tannplanta og varanlega fest tanngervi á tannplanta.

Fjórar aðferðir eru í boði til máttöku og bitskráningu með AvaDent. Aðalaðferðin notast við fjöldaframleiddar hitapjálur mátskeiðar frá AvaDent sem er hægt að móta þegar þær hafa legið í vatnsbaði þannig að þær passi betur upp í einstaklinginn. Síðan er notaður sérstakur andlitsbogi frá AvaDent og eins konar skeiðar sem fylgja honum til að gera bitskráningu (Infante o.fl., 2014). Einnig er hægt að afrita (e. duplicate) eldra tanngervi sjúklingsins og útbúa mát með afsteypunum ásamt bitskráningu eða að nota GoodFit denture mátskeiðar sem eru nokkurs konar fjöldaframleiddar mátskeiðar með tönnum. AvaDent býður líka upp á að nota venjulega einstaklingsmátskeið og bitrima útbúna af tannsmið (Baba o.fl., 2016).

Tannsmiðurinn tekur við mátum og/eða bitrimum eftir því hvaða aðferð varð fyrir valinu, skannar það og hannar heilgóma í tölvuforritinu. Á þessu stigi eru mátunargómar fræstir ef ætlunin er að skoða hönnunina í munni. Valið stendur á milli tveggja ólíkra mátunargóma. Önnur gerðin er úr tannlitu plastefni hin er úr fræstu gómaplasti með gervitönnum sem hafa verið festar með vaxi.

AvaDent heilgómar eru tvenns konar. Einfasa gómar eru fræstir úr hráefniseiningum sem samanstanda bæði af gómaplasti og uppstilltum tönnum. Af þeim eru tvær gerðir AvaDent XCL-1 og XCL-2. Fyrri gerðin hefur tennur með tannbeinslit en seinni gerðin hefur tennur með tannbeinslit og glerungi ásamt nákvæmari tannlögum sem gerir útliti náttúrulegra (Baba o.fl., 2016). Við gerð tvífasa góma notar AvaDent eiginleika sem kallast Signature Teeth og er nýleg viðbót við kerfið frá 2016.

Signature Teeth

Notkun Signature Teeth er einstök þegar kemur að heilgómagerð. Með því er nefnilega hægt að breyta stærð tanna, lengd og breidd þeirra, gera ávalari eða hvassari allt til að líkja sem nákvæmast eftir fyrra útliti sjúklingsins ekki ósvipað þegar unnið er að krónu- eða brúargerð í CAD forriti. Til að auðvelda vinnuna er hægt að velja allar tennurnar eða

hluta þeirra til að breyta þeim samtímis. Jafnvel er hægt að breyta einni tönn. Tennurnar eru síðan fræstar sér og hráefniseining fyrir gómaplast sér. Ef ætlunin er að máta góminn er tönnunum tyllt í sín stæði með vaxi fyrir máttun. Að lokum eru tennurnar festar varanlega hver í sitt stæði (Global Dental Science, 2017).

4.2.2 Baltic Denture System

Baltic Denture System er frá fyrirtækinu Merz Dental og hefur verið í boði frá árinu 2015. Kerfið er hnitmiðað og býður ekki upp á sveigjanleika í verkferli. Sjúklingur fer alltaf tvisvar sinnum til tannlæknis í ferlinu og kerfið býður ekki upp á máttunargóma. Baltic Denture máttunar- og bitskráningarferlið grundvallast á notkun fylgihlutasetts sem fyrirtækið kallar lykla eða Baltic Denture Key Set. Tveir þessara lykla eru mátskeiðar í efri og neðri góm sem eru líka til bitskráningar þar sem þær hafa tennur. Baltic Denture skeiðarnar eru til í þremur stærðum og hver stærð kemur líka með mismunandi stærðum og lögunum af tönnum. Mögulegt er að losna alfarið við máttunargóma úr ferlinu þar sem mátskeiðar virka sem máttunargómar og hægt er að leggja mat á útlit, varastuðning og annað um leið og máttaka fer fram (Baba o.fl., 2016). Við máttöku er efri góms mátskeiðin fest við sérstakan andlitsboga. Á þessum andlitsboga er lóðréttur armur sem er notaður til að skrá miðlínu. Sílikon mátefni er sett í skeiðina og komið fyrir í munni. Þegar efnið er orðið stíft er það sama gert við neðri góms skeiðina en í staðinn fyrir að festa hana á andlitsbogann er hún smellt föst á efri mátskeiðina. Þannig er afstaðan skráð samhliða máttöku (Steinmassl o.fl., 2017).

Tannsmiður fær máttin send og skannar þau inn í forritið. Þrjár skannanir þarf, eina fyrir hvort mátt og eina til að skanna afstöðu þeirra. Forritið skannar neikvæða eftirmynd af munnholi og birtir sem jákvæða stafræna tölvumynd af gómastæðunum. Forritið útilokar sjálfkrafa þau svæði sem ekki eru hluti af gómastæðum. Tannsmiðurinn handskráir síðan inn kennileiti sem eru sýnileg bæði á þrívíddarmyndum af gómunum og afstöðumyndinni. Forritið notar þær merkingar til að stilla upp gómunum í réttri afstöðu í tölvunni. Á þessu stigi er hægt að stilla inn upplýsingar um miðlínu, bithæð og staðsetningu tanngarðanna (Merz Dental GmbH, 2017).



Mynd 1: Baltic Denture hráfniseining

tannlæknir gert bitslípun í munnholi (Baba o.fl., 2016).

Baltic Denture gómar eru fræstir í fimm ása CNC vél úr hráfniseiningum úr PMMA plastefni. Einingarnar koma í þrem stærðum og hafa innbyggða uppstillingu (Mynd 1). Hægt er að velja milli nokkra mismunandi stærða og útlitsgerða á tönnunum auk mismunandi lögun tanngarða. Þegar fræsingu er lokið er tanngervinu komið aftur til tannlæknisins. Sjúklingur mætir þá í aðra heimsókn sína til tannlæknisins til að fá heilgómana afhenta. Í þeim tilfellum sem þarf að gera minniháttar breytingar getur

4.2.3 Ceramill Full Denture System

Amann Girrbach gefur út Ceramill Full Denture System sem hefur verið til síðan 2015. Heimsóknir sem sjúklingur fer til tannlæknis eru fjórar talsins með því kerfi. Í fyrstu heimsókn eru tekin mát sem síðan eru send til tannsmiðs sem útbýr vinnuafsteypu og bitrima. Í næstu heimsókn er bitskráning þar sem er skráð bithæð, miðlínu, broslínu og augntannalínu auk þess sem gerð er andlitsbogaskráning. Tannsmiðurinn fær bitskráningu, bitrima og afsteypur frá tannlækni. Afsteypur auk bitskráningar eru skannaðar inn í forritið til að fá upplýsingar til að hanna heilgóminn. Tannsmiðurinn handmerkir umbeðin líffræðileg kennileiti svo forritið geti reiknað út hvar er best að staðsetja tanngarðana. Einnig leggur það fram tillögu að uppstillingu og val á gervitönnnum. Tennurnar sem koma til greina kallast Ceramill D-set og hægt er að velja mismunandi liti og útlit af þeim. Þær eru framleiddar af Heraeus Kulzer fyrir Ceramill. Tannsmiðurinn hefur vald til að breyta sjálfvalinni uppstillingu eftir á samkvæmt eigin tilfinningu. Tannlæknirinn skoðar þrívíddarhönnunina til að staðfesta útlit og uppstillingu áður en hún er send í framleiðslu. Notuð er fimm ása CNC vél með vatnskælingu til að skera út úr bleikum vax einingum. (Baba o.fl., 2016).

Fjöldaframleiddu Ceramill D-set plasttennur koma í tilbúnum bökkum og er staðsetning þeirra alltaf nákvæmlega eins, Ceramill hefur einkaleyfi á þessari tækni. Forritið tryggir lágmarks fjarlægð milli tannhálsa og gómaplasts svo afstaða þeirra verði alltaf sú sama í framleiðslunni. Bökkunum er smellt í form sem kallast Plug&Play (Mynd



Mynd 2: Plug&Play með Ceramill D-set bökkum

2) og forritið sendir upplýsingar í fimm ása fræsivél um hvar eigi að fræsa af tannhálsunum. Í lokin eru allar tennurnar festar í sín stæði og uppstillingin send til tannlæknisins (Amann Girrbach, 2017).

Í þriðju heimsókn fær sjúklingurinn að mæta góminn í vaxi og ferlið héðan í frá rauninni alveg eins og um hefðbundinn heilgóm væri að ræða. Ef einhverjar breytingar þarf að gera getur tannlæknirinn gert það eða óskað eftir því af tannsmiðnum. Tannsmiðurinn pakkar síðan gómunum í kylvettur og vinnur frágangsvinnu svo hægt sé að skila settinu. Í fjórðu og síðustu heimsókninni fær skjólstæðingurinn nýju tennurnar afhentar (Baba o.fl., 2016).

4.2.4 Pala Digital Dentures

Pala Digital Dentures er útspil framleiðandans Heraeus Kulzer. Það hefur verið fánlegt frá árinu 2015. Umfjöllun skorti um Pala Digital í báðum þeim greinum sem fundust sem innihéldu yfirlit um fánleg CAD/CAM kerfi fyrir heilgómagerð. Mögulega er það vegna þess að lokatanngervið er ekki útbúið með CAD/CAM tækni en tölvutækni og tölvuframleiðsla kemur víða við sögu í ferlinu.

Fjöldi heimsókna sjúklings til tannlæknis í Pala Digital ferlinu eru tvær en þrjár með mátunargómum. Í fyrstu heimsókn eru mátin tekin í sérstakar mátskeiðar sem Heraeus Kulzer hefur einkaleyfi á. Þær svipa til mátskeiðanna sem fylgja AvaDent kerfinu að því leiti að þær gera bitrima óþarfa því bitskráning er framkvæmd með mátskeiðunum. Þær koma í fjórum stærðum og skiptast í fremri og aftari hluta sem hægt er að taka í sundur. Þegar mát hefur verið tekið af efri og neðri góm er mátefnið skorið þar sem skeiðarnar skiptast og þær teknar í sundur. Til að skrá bithæð og samanbit er pinni sem fylgir með

skrúfaður í fremri helming neðri góms mátskeiðarinnar. Báðar skeiðarnar eru svo látnar aftur upp í sjúklinginn og pinninn skrúfaður niður þar til varirnar mætast í afslappaðri stöðu. Síðan finnur tannlæknirinn samanbit og í þeirri bitstöðu er bætt við bitskráningarefni milli mátskeiðanna báðum megin. Kerfið er líka hægt að nota til að gera staka góma. Þá þarf sérstaka plötu yfir tennta góminn við bitskráningu á móti Pala Digital mátskeiðinni áður en bitskráningarefni er komið fyrir (Pala Digital Dentures, 2017).

Mátskeiðarnar með bitskráningarefninu auk aftari hlutanna sem voru teknir af eru sendir á tannsmíðastofu. Mátin eru skönnuð ásamt bitskráningu. Forritið útbýr þrívíddarafsteypu af gómastæðunum og stillir þau sjálfkrafa í bit út frá upplýsingum sem það fær við skönnun á bitskráningu. Forritið reiknar út frá líffræðilegum aðstæðum hvernig plasttennur skuli nota, staðsetningu miðlínu, bithæð, kúrfu Wilson, kúrfu Spee, bit og afturmörk (e. posterior palatal seal). Tennurnar sem koma til greina eru frá Heraeus Kulzer og kallast Mondial og Mondial i. Þær eru sérstaklega framleiddar með tilliti til CAD/CAM heilgómagerðar. Pala Digital forritið leggur til hvar er best að staðsetja tanngarðana og stillir upp samkvæmt því. Tannsmiðurinn getur gert breytingar á uppstillingu hvernar tannar fyrir sig í tölvunni. Þær eru síðan fræstar í útfærslu af Plug&Play frá Ceramill. Ef tannlæknirinn vill skoða tanngervið áður en það er fullbúið eru mátunargómar útbúnir. Þeir eru gerðir úr hvítu plastefni með fjöllaga framleiðslu. Sjúklingurinn kemur í auka heimsókn til að hægt sé að meta mátunargómana. Lokaútkoman fæst með því að pressa gómana í kývettum og sjóða. Að lokinni frágangsvinnu getur sjúklingurinn fengið tennurnar afhentar (Radz, 2016).

My Digital Denture

Seinni hluta ársins 2016 kynnti Heraeus Kulzer nýja viðbót við þjónustu sína á sviði CAD/CAM heilgómagerðar. Aðilar á þróunarsviði fyrirtækisins sáu að tannsmiðir vildu hafa val um hversu mikið eða lítið væri stuðst við tölvutækni í framleiðsluferlinu. Þannig varð til viðbót við Pala Digital kerfið sem kallast My Digital Denture Powered by Pala®. Það býður upp á meiri sveigjanleika. Í því er til dæmis val um að nota hefðbundnar aðferðir með einstaklingsmátskeiðum og bitrimum við máttöku og bitskráningu í stað Pala Digital mátskeiðanna. Heimsóknum sjúklings til tannlæknis fjölgar í samræmi við það. Einnig eru í boði valmöguleikar í kerfinu til að hanna hermígóma, sárágóma og tannplantastudda góma sem ekki voru til staðar í Pala Digital. Nú er mögulegt að nota

Arctic Digital plasttennur frá Heraeus Kulzer til viðbótar við Mondial tennurnar. Tvenns konar mátunargómar eru í boði. Auk þeirra sem eru heilprentaðir er hægt að fá mátunargóma með þrívíddarprentaðri gómaplötu með þeim plasttönnum sem urðu fyrir valinu áföstum með vaxi. Tannlæknirinn getur því fært tennurnar til í mátuninni ef þarf. Að öðru leiti er kerfið sambærilegt Pala Digital (Heraeus Kulzer, 2016).

4.2.5 Perfit Dental Solutions

Perfit Dental Solutions frá Perfit kallast annað tveggja nýrra kerfa á sviði tölvuvæddrar heilgómagerðar. Forstjórar Perfit státa sig af því að vera með fyrsta kerfið sem býður upp á algerlega stafræna smíði. Eiga þeir þar við að notaður er munnskanni í stað hefðbundinnar mátttöku þar sem mát eða vinnuafsteypan er skannað í borðstandandi skanna (Perfit Dental, 2016). Kerfið var tekið í notkun árið 2017 og var engin umfjöllun um það í yfirlitsgreinum um CAD/CAM heilgómasmíði. Eins voru engar birtar vísindagreinar með umfjöllun um Perfit. Á heimasíðu fyrirtækisins var ekki hægt að nálgast upplýsingar um hvernig smíði heilgómanna er háttáð eftir að munnhol hefur verið skannað og upplýsingarnar sendar áfram á tannsmíðaverkstæði.

4.2.6 VITA VIONIC

Hitt nýja kerfið á markaðnum er frá VITA VIONIC en það var kynnt árið 2016 og síðan í boði snemma árs 2017. Kerfið er frábrugðið fyrirtöldum kerfum að því leiti að það byggir á hráefniseiningum fyrir opin CAD forrit. Það þýðir að VITA VIONIC fylgir enginn tölvubúnaður heldur aðeins hráefniseiningar til framleiðslu tanngerva sem eru hönnuð í opnum CAD forritum. Þetta er þó háð því að forritin hafi innleitt upplýsingar um hráefniseiningarnar frá VITA. Samstarf á milli VITA og viðkomandi fyrirtækis verður að vera til staðar svo hægt sé að bjóða upp á möguleika af þessu tagi. Sveigjanleiki er því í boði við val á skanna, forriti og fræsivél. Sumir sjá það sem ókost að hafa of marga möguleika í boði og telja það draga úr framleiðni en með því að velja þær leiðir sem þykja þægilegar og halda sér við þær er hægt að halda starfseminni hagkvæmri (Steinmassl o.fl. 2017).

Það fer eftir því hversu mikið tannsmiðurinn og tannlæknirinn vilja innleiða CAD/CAM í heilgómaferlið hvort heimsóknir sjúklings til tannlæknisins verði tvær eða fleiri. Hægt er að fá upplýsingar um aðstæður í munnholi af vinnuafsteypum, bitrimum eða með því að skanna mátin beint. Hönnunin er gerð í því forriti sem hefur verið valið. VITA VIONIC kerfið inniheldur vaxeiningar sem eru til í hvítu og bleiku vaxi. Þær eru fræstar út eftir



Mynd 3: VITA VIONIC FRAME með VITAPAN DD FRAME plasttönnum

hönnuninni ef ætlunin eru að gera mátunargóm. VITA hefur keypt réttindi frá Ceramill til að útfæra D-settin og Plug&Play formið sem notað er þegar tannhálsar eru aðlagðir í CNC vél. Útfærslan af bökkunum með plasttönnunum frá VITA kallast VITAPAN DD FRAME og formið sem þeim er stillt í kallast VITA VIONIC FRAME. Af myndum sést að þetta eru sömu hlutirnir með eilítið breyttu útliti

(Mynd 3). Þegar búið er að fræsa tennurnar í CNC vél er þeim tyllt í fræst vaxið fyrir mátun. Einingar kerfisins úr PMMA plastefni sem eru fáanlegar í þrem litum eru fræstar út fyrir lokatanngervið. Plasttönnunum er komið fyrir hverri í sínu sæti og mynduð binding á milli þeirra og gómaplastsins með tveggja þátta fjölliðara sem penslað er á samskeytin. Þar sem kerfið er nýtilkomið er samrýmanleiki með CAD forritum og CNC vélum ennþá frekar takmarkaður. Þau forrit sem bjóða upp á möguleika á að nota VITA VIONIC hráefniseiningar eru 3Shape og Ceramill. Fræsivélar sem geta notað einingarnar eru Ceramill Motion 2, CORiTEC line og Roland GMX line. Búast má við að fleiri forrit og vélar bætist við með tímanum (VITA Zahnfabrik, 2017).

4.2.7 Wieland Digital Denture

Wieland Digital Denture kallast framlag Ivoclar Vivadent til tölvustuddrar heilgómagerðar. Wieland kerfið hefur verið fáanlegt síðan á fyrri hluta ársins 2015. Kerfið krefst þess að sjúklingur komi fjórum sinnum til tannlæknisins en þrisvar sinnum ef það er sleppt því að máta fyrir lokasmíði. Heilgómarnir eru framleiddir með afskurðar framleiðslu. Hefðbundin máttaka fer fram í fyrstu heimsókn sjúklings til tannlæknisins. Auk þess er gerð bitskráning með sérstakri skeið og andlitsboga sem fylgja með kerfinu. (Steinmassl o.fl., 2017). Í næstu heimsókn er komið að því að afla nákvæmari upplýsinga um klínískar aðstæður í munni. Wieland kerfið getur notað upplýsingar af þrennu tagi. Í fyrsta lagi er hægt að afrita þær af eldra tanngervi. Síðan er í boði að skrá þær með tölvugerðum og fræstum bitrimum eða að nota vélgerðar einstaklingsmátskeiðar með inniföldum bitplötum. Bitskráningin úr fyrstu heimsókninni er stillt inn í forritið og nýttist til þess að reikna bitflöt til bráðabirgða í forritinu. Mátskeiðarnar eru svo fræstar þannig

að réttum bitfleti er viðhaldið sé máttaka gerð í báðum gómum í einu. Á þeim eru einnig hök fyrir bitskráningu í munnholi með sporaaðferð (e. Tracer) með sérstöku tæki sem skráir afstöðu kjálkanna (e. Gnathometer). Merkingar eins og miðlína, augntannalína og fleira eru skráðar samhliða á mátskeiðina. Þegar tannsmiðurinn fær nýju mátin í hendurnar skannar hann þau. Forritið ákvarðar bitflöt að nýju og kemur með tillögu að tegund fjöldaframleiddra plastanna og uppstillingu á þeim. Hægt er að gera breytingar á tillögunni eftir höfði tannsmíðs og tannlæknis. Þegar sátt hefur náðst með uppstillinguna er gómahlutanum bætt við og hann hannaður. Ef vill er hægt að fræsa mátunargóma úr hvíttri PMMA plasteiningu. Þegar tölvuhönnun er lokið er gómaplast fræst úr bleikri PMMA plasteiningu. Plasttennur eru festar á sína staði eftir á (Baba o.fl., 2016).

4.2.8 WholeYou Nexteeth

WholeYou var fyrsta fyrirtækið til að bjóða upp á framleiðslukerfi fyrir CAD/CAM heilgóma. Það kerfi kallaðist DENTCA og var fyrsta sinnar tegundar þegar það varð fánlegt árið 2012. Síðar kom WholeYou fram með endurbætt kerfi undir nafninu Nexteeth sem nýtti marga þætti DENTCA kerfisins en með viðbótum. WholeYou Nexteeth býður upp á þriggja heimsókna verkferil eða tveggja heimsókna ef mátunargómum er sleppt. Í fyrstu heimsókn er byrjað á því að mæla bithæð. Síðan er tekið sílikon mát í sérstakar DENTCA mátskeiðar sem koma í þrem stærðum. Penni, sem hægt er að stilla hæðina á, er stilltur samkvæmt bithæð og festur á neðri mátskeiðina. Plötu er komið fyrir á efri mátskeiðina og penninn látinn teikna afstöðu kjálkanna á hana. Ef vilji er fyrir því að framleiða mátunargóma eru þeir útbúnir úr hvítu akrýlefni með fjöllum framleiðslu. Gómaplast er fræst úr bleikri plasteiningu og fjöldaframleiddar plasttennur festar í.

Snemma árs 2017 gaf forstjóri fyrirtækisins út yfirlýsingu um að fyrirtækið myndi hætta að afgreiða pantanir á búnaðinum. Vegna ábyrgðarskilmála mun WholeYou áfram þjónusta þá sem þegar hafa tekið kerfið í notkun og verður því enn eitthvað um WholeYou Nexteeth góma þar til ábyrgð fyrirtækisins rennur út. Í yfirlýsingu fyrirtækisins kom einnig fram að með því að leggjast í frekari vörubrúun vonuðust þeir til þess að geta kynnt nýtt framleiðslukerfi CAD/CAM heilgóma frá WholeYou einhvern daginn (Nishiyama, 2017).

4.3 Rannsóknir

Fyrstu rannsóknir sem birtar voru um tölvugerða heilgóma eru frá 1994. Síðan þá hefur mikið vatn runnið til sjávar og nú er búið að rannsaka margar hliðar á þessari framleiðsluaðferð. Hér er farið yfir niðurstöður úr nýlegum rannsóknum um CAD/CAM heilgóma.

4.3.1 Ánægja sjúklinga

Í afturskyggnri rannsókn á vélgerðum heilgómum reyndist að fólk var almennt ánægt með vélrænu meðferðina. Meðal þeirra sem höfðu áður haft handgerða heilgóma á undan þeim vélrænu mældist ekki munur á ánægju þeirra með tanngervið eftir hvort það var vél- eða handgert (Saponaro, Yilmaz, Johnston, Heshmati og McGlumphy, 2016). Að minnsta kosti tvær aðrar rannsóknir hafa verið gerðar á ánægju sjúklinga með vélgerða heilgóma. Þær voru því miður ekki aðgengilegar hvorki í fullri lengd né útdrættir þeirra.

4.3.2 Viðloðun

Í einni klínískri rannsókn hefur viðloðun (e. retention) CAD/CAM framleidds gómaplasts í efri gómi verið skoðuð í samanburði við viðloðun hitaherts gómaplasts. CAD/CAM framleiddi gómurinn var gerður með AvaDent kerfinu. Krókum var komið fyrir í gómaplastinu til að hægt yrði að framkvæma togprófanir. Prófanir fóru fram á hvorri gerð á meðal tuttugu einstaklinga. Sýnt var fram á að vélræna smíðin hafði marktækt betri viðloðun við gómastæðið gegn togkrafti í lóðréttu stefnu heldur en handgerðu gómarnir. Það er því hægt að mæla með CAD/CAM framleiddum gómum í tilfellum sem fyrir séð er að erfitt verði að mynda gott sog í efri gómi. Þetta var í samræmi við tilgátur. Mótstaða heilgóma gegn togkrafti eykst eftir því sem flötur þeirra slímhúðar megin er nákvæmari neikvæð eftirmynd af gómastæðinu. Því er rökrétt að CAD/CAM heilgómar sem eru fræstir eða prentaðir eftir þrívíddarafsteypu hafi betri viðloðun en hefðbundnir gómar (AlHelal, AlRumaih, Kattadiyil og Goodacre, 2016).

4.3.3 Monomer vökvi

Af mörgum kostum vélrænna heilgóma er oft teflt fram að þeir hljóti að gefa frá sér minna af monomer vökva þar sem þeir eru ekki útbúnir með fjölliðun dufts og vökva. Þessi tilgáta var prófuð í nýlegri rannsókn. Rannsakendurnir framleiddu tíu CAD/CAM heilgóma með hverju kerfanna Baltic Denture System, Whole You Nexteeth, Wieland Digital Dentures og VITA VIONIC. Fyrir samanburðarhóp voru útbúnir hefðbundnir heilgómar úr hitahertu plastefni. Niðurstöður sýndu að enginn vélrænu heilgómanna

losaði marktækt minni metýlakrýlalt vökva miðað við hefðbundnu heilgómana (Steinmassl o.fl., 2016).

4.3.4 Aðlögun

Aðlögun fjöllaga framleiddra heilgóma að gómastæði hefur aðeins verið rannsökuð. Í einu opnu CAD forriti var hannað tanngervi á afsteypu sem var síðan prentað með vaxi. Sömuleiðis var handunnið tanngervi úr vaxi eins og ætlunin væri að útbúa heilgóma úr hitahertu plasti. Báðar gerðir tanngera voru skannaðar auk afsteypu og þannig var hægt að skoða aðlögun hvoru tveggja að afsteypunni. Enginn marktækur munur var á aðlögun heilgómana eftir því hvor aðferðin var notuð. Slík þrívíddarprentun kemur því vel til greina við gerð mátunargóma í heilgómagerð (Chen o.fl, 2015).

4.3.5 Slembdar klínískar tilraunir

Í leitarniðurstöðum voru engar greinar sem notuðu slembdar klínískar tilraunir til að bera saman hefðbundna heilgóma og CAD/CAM heilgóma. Slíkar rannsóknir eru nauðsynlegar til að sýna óyggjandi fram á kosti þess að nota nýja tækni í stað hefðbundnari leiða. Ýmislegt er þó í bígerð og rakst rannsakandi meðal annars á rannsókn á vinnslustigi sem með slembdum klínískum tilraunum á að kanna hvort munur sé á bitkrafti heilgóma eftir því hvort þeir séu unnir með CAD/CAM aðferð eða hefðbundnum leiðum (Dein, 2016). Margar greinar benda á þörfina á slembdum klínískum tilraunum á hefðbundnum og CAD/CAM heilgómum. Því er sennilegt að fleiri fræðimenn víða um heim séu með slíkar rannsóknir á borðinu.

4.4 Aðrar nýjungar

Sífelld er reynt að finna leiðir til að gera alla hluti auðveldari, betri, fljótlegrari og ódýrari. Þótt komnar séu fram leiðir til að framleiða vélgerða heilgóma þykir sumum tilraunamönnum engin ástæða til að stoppa þar. Notkun CAD/CAM tækni í heilgómagerð hefur því teygst sig inn á fleiri svið heldur en bara hönnun og framleiðslu tanngervisins. Vélgerðar einstaklingsmátskeiðar, vélræn mátun í andlitshermi og vélmenni í heilgómasmíði eru allt áhugaverðar nýjungar sem styðjast við CAD/CAM tækni.

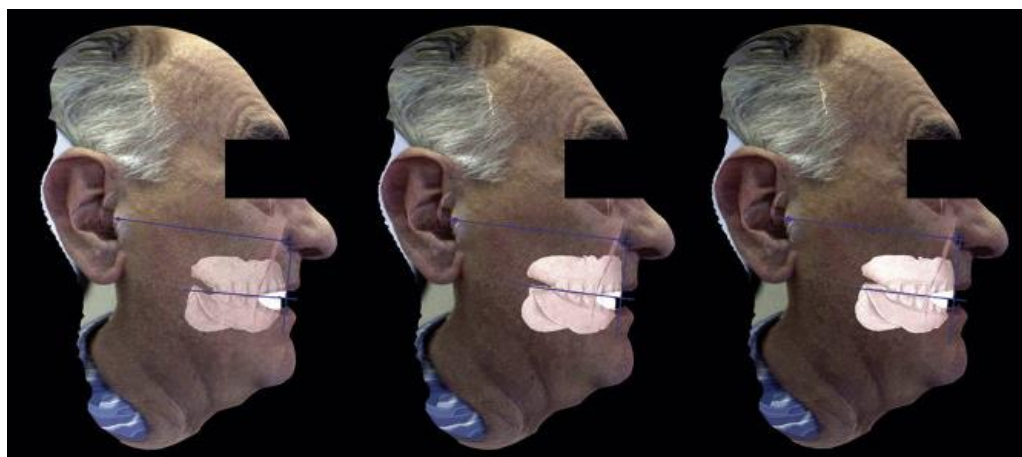
4.4.1 Einstaklingsmátskeiðar

Meðal framleiðslukerfanna sem hér hefur verið fjallað um er aðeins eitt sem býður upp á tölvustudda framleiðslu einstaklingsmátskeiða. Það eru Wieland mátskeiðar sem eru prentaðar með fjöllaga framleiðslu. Sum opin CAD forrit gefa möguleika á að hanna einstaklingsmátskeiða. Hópur tannlækna í Kína könnuðu slíka aðferð og útbjuggu

mátskeið á afsteypu sem þeir höfðu skannað. Síðan var mátskeiðin framleidd með fjöllum framleiðslu. Þrívíddarprentuðu mátskeiðarnar pössuðu vel á vinnuafsteypurnar og höfðu nægilegt rými fyrir mátefni (Chen, Yang, Chen, Wang og Sun, 2016). Annar hópur rannsakenda nýtti aðferðir fyrri hópsins en skoðaði í þessu tilfalli hvort CAD/CAM einstaklingsmátskeiðar væru hagstæðari en handgerðar með tilliti til tíma. Meðaltími sem tók að tölvuframleiða mátskeiðarnar var $(28,6 \pm 2,9)$ mínútur en $(31,1 \pm 5,7)$ mínútur að gera hefðbundnar mátskeiðar. Meðaltími sem fór í að taka mát með vélgerðu mátskeiðunum var $(23,4 \pm 11,5)$ mínútur og $(25,4 \pm 13,0)$ mínútur með þeim handgerðu. Notkun CAD/CAM einstaklingsmátskeiða er því tímasparandi bæði á framleiðslustigi og við klíníska notkun (Wei, Chen, Zhou og Pan, 2017).

4.4.2 Andlitshermir

Ein helsta áskorun tannlækna og tannsmiða við heilgómagerð er að gera tanngervi sem virkar og skjólstæðingurinn er sáttur með útlitslega. Umfang heilgómsins á alla kanta hefur áhrif á virkni andlitsvöðva og hversu mikið teygist á húðinni svo tanngervið hefur heilmikið að segja um ásjónu manneskjunnar sem það ber. Fólk getur virst breiðleitara, langleitara eða jafnvel eldra út af tanngervinu einu saman. Einn af fjölmörgum möguleikum CAD/CAM tækni í heilgómagerð er að nú er hægt að sjá fyrirfram hvaða áhrif á andlitsfall tanngervið mun hafa áður en það er framleitt. Með nákvæmum andlitsskanna og andlitshermi (e. face simulation system) sem líkir eftir teygjanleika húðarinnar er hægt að útbúa stafrænar þrívíddarafsteypur af andlitinu sem geta sýnt útlit með mismunandi hönnuðum tanngervum (Mynd 4). Þau geta tannlæknir og sjúklíngur síðan skoðað og komist að samkomulagi hvaða útlit er ákjósanlegast (Cheng, Cheng, Dai, Jiang, Sun og Li, 2015).



Mynd 4: Skjáskot úr andlitshermi með þremur mismunandi heilsettum í sýndarmátun

Samanburðarrannsókn á vélgerðum heilgómum þar sem notast var við verkferil með mátunargóm annars vegar og mátun í þrívíddarandlitsafsteypur hins vegar sýndi að ekki var marktækur munur á andlitsfalli eftir því hvor aðferðin var notuð (Katase, Kanazawa, Inokoshi og Minakuchi, 2013). Ein takmörkun á notkun þeirra andlitsherma sem þegar eru í boði felst í því að ekki er hægt að breyta afstöðu efri og neðri kjálka í forritinu eftir skönnun. Því er mikilvægt að þetta sé rétt skráð í fyrstu við klíniska skoðun. Andlitshermar eru valkostur fyrir þá sem kjósa alfarið vélgerða heilgóma og verður áhugavert að sjá hvort notkun þeirra breiðist frekar út á komandi árum (Schweiger, Güth, Edelhoff og Stumbaum, 2017).

4.4.3 Gervitannaframleiðsla

Breytingar inni á tannsmíðaverkstæðinu eru eitt en þegar við tölum um hefðbundna heilgóma er merkilega ekki laust við að CAD/CAM tækni komi við sögu. Fjöldaframleiddar plasttennur eru núorðið gerðar með aðstoð CAD/CAM. Plasttennur eru búnar til með því að steypa plastefni í sérstök mót. Minnsta málið er að steypa sjálfar tennurnar en mótin þurfa að vera óaðfinnanleg til þess að framleiðslan standist kröfur. Sérhlærðir tannmótasmiðir sjá um að búa til mótin og getur ferlið tekið upp í tvö ár. Með því að innleiða CAD/CAM tækni í ferlið hefur tannmótasmiðum hjá MerzDental, einum stærsta framleiðsluaðila akrýlgervitanna í heimi, tekist að stytta tímann sem tekur að útbúa mót fyrir sett af gervitönnum niður í aðeins sex mánuði án þess að það komi niður á gæðum vörunnar (MoldMaking Technology, 2011)

4.4.4 Vélmanni

Teymi verkfræðinga við tækniháskólann í Beijing hefur frá aldamótum unnið að forritun vélmannis til notkunar við heilgómagerð.

Markmið þeirra er að vélmannið geti á styttri tíma og árangursríkari hátt framleitt gervitennur án viðkomu tannlæknis eða tannsmíðs. Nýjustu niðurstöður gefa til kynna að þetta sé ekki óraunhæft og hefur þeim tekist



að láta vélmannið stilla upp tönnum (Mynd 5) sem er stórt skref í þessari þróun (Zhang, Jiang, Liang og Hu, 2011).

Mynd 5: Uppstilling tanna gerð með vélmanni.

5 Niðurstöður

Tilgangur þessa fræðilega yfirlits var að skýra hvernig CAD/CAM tölvutækni getur nýst við heilgómagerð í dag og hverjar framtíðarhorfur þessarar tækni eru. Því hefur verið lýst verkferlum sem farið er eftir við notkun þeirra kerfa sem eru aðgengileg til notkunar í vélrænni heilgómagerð. Einnig hefur verið greint fyrir notkun CAD/CAM tækni í heilgómagerð á annan hátt en við hönnun og framleiðslu heilgóma.

5.1 CAD/CAM tækni við heilgómagerð í dag

Framleiðslukerfi til CAD/CAM heilgómagerðar eru orðin átta talsins. Þau eiga ýmislegt sameiginlegt þó ekkert þeirra sé eins. Til að bera saman ólíka eiginleika CAD/CAM framleiðslukerfa í heilgómagerð sem eru í boði, verður stuttlega greint frá þeim auk þess eru helstu ferlar birtir með samantekt í Töflu 2, bls. 26.

Markaðssetning kerfa

Ártal framleiðslukerfa sem yfirlitið nær til gefur til kynna að notkun CAD/CAM tækni við heilgómagerð sé á byrjunarstigi. Fimm kerfanna komu fram fyrir minna en þremur árum síðan og tvö þeirra voru kynnt á liðnu ári. Aðeins eitt kerfi var eldra eða frá árinu 2012 en það hefur verið tilkynnt um stöðvun á framleiðslu þess. Frekari þróun á sviði vélrænnar heilgómagerðar verður því í höndum þessara nýliða komandi ár. Ætla má að fleiri fyrirtæki reyni fyrir sér á þessu sviði miðað við að tveir nýir aðilar hafa bæst í flóruna síðastliðið ár. Einnig er sennilegt að með tímanum komi allir þessir aðilar til með að gera uppfærslur á sínum framleiðslukerfum líkt og Heraeus Kulzer hefur þegar gert með viðbótinni My Digital Dentures og Global Dental Science með Signature Teeth.

Meðferð hjá tannlækni

Mismunandi er hvaða aðferðir eru notaðar til að spara tíma. Sum kerfin nota eingöngu fjöldaframleiddar mátskeiðar í stað einstaklingsmátskeiða og spara þar með eitt skipti. Nýjasta kerfið sem er frá Perfit notar munnskanna í stað máttöku og bitskráningar og sparar þannig tvö skipti. Eftir því sem munnskannar verða nákvæmari má búast við því að algengara verði að sleppa máttöku og notaðir séu munnskannar í staðinn (Tafla 2).

Tafla 2 Yfirlit framleiðslukerfa í heilgómagerð.

Kerfi	Ártal	Meðferð ^b	Máttaka	Bitskráning	Hráefnis-eining	Mátunargómur	Aðferð
AvaDent Digital Dentures [Global Dental Science] ^a	2015	3 (2)	Hitapjálarmátskeiðar	Stillanleg skeið og sérstakur andlitsbogi	Vaxeiningar XCL-1 og XCL-2 PMMA einingar Plasteiningar	Fræst úr vaxeða plasteiningum	Einfasa gómar fræstir í heilu Tvífasa gómar, tennur festar eftir á í fræst gómaplast
Baltic Denture Systems [Merz Dental]	2015	á.e.v. ^c (2)	BD key set mátskeiðar	BD key set	PMMA einingar með innbyggðri uppstillingu	BD key set	Hráefniseining fræst
Ceramill Full Denture [Amann Girrbach]	2015	4 (á.e.v.)	Hefðbundin einstaklings mátskeið	Hefðbundin bitrimi og andlitsbogi	Bleikar vaxeiningar Ceramill d-set plasttennur í bökkum	Fræst úr vaxeiningum með plasttönnum	Plasttennur fræstar í Plug&play formi Hitahert PMMA
Pala Digital Dentures [Heraeus Kulzer]	2015	3 (2)	PD mátskeiðar	Mátskeið stillanleg fyrir bitskráningu	Mondial plasttennur í bökkum	Prentaðir úr hvítu plastefni	Plasttennur fræstar í form Hitahert PMMA
Perfit Dental Solutions [Perfit]	2017	á.e.v. (2)	Munnskanni	Munnskanni	Upplýsingar vantar	Á ekki við	Upplýsingar vantar
VITA VIONIC [VITA]	2017	5-3 (2)	Hefðbundin einstaklings mátskeið	Hefðbundnir bitrimar eða framkallað í CAD forriti	Vitapan dd frame Vaxeiningar PMMA einingar	Fræst úr vaxeiningum með plasttönnum	Plasttennur fræstar í VITA Vionic frame, Fræst PMMA Lakk til bindingar
Whole You Nexteeth [Whole You]	2012-2017	3 (2)	Dentca mátskeiðar	Mátskeiðar, penni og plata	Plasteiningar fyrir gómaplast	Prentaðir úr hvítu akrýlefnisefni	Fræst gómaplast Plasttennur festar í
Wieland Digital Denture [Ivoclar Vivadent]	2015	4 (3)	Prentuð einstaklings mátskeið	Stillanleg skeið og sérstakur andlitsbogi	PMMA einingar hvítar eða bleikar	Fræst úr hvítu PMMA	Fræst gómaplast Plasttennur festar í

^a [Framleiðandi], ^b skipti sem sjúklingur er í meðferð hjá tannlækni með eða (án) mátunargóma. ^c Á ekki við.

Nokkur kerfi framkvæma bitskráningu í fyrstu heimsókn með sértilgerðum skeiðum í stað þess að útbúa bitrima og spara þannig eitt skipti. Þau kerfi sem fræsa gómaplast spara tíma sem annars fer í að pakka og sjóða gómana á hefðbundinn hátt. Öll kerfin nema Ceramill Full Denture System bjóða upp á valmöguleika á því að sleppa heimsókn þar sem mátunargómar eru prófaðir. VITA VIONIC býður upp á mestan sveigjaleika þar sem heimsóknir til tannlæknis geta verið frá tveim til fimm allt eftir því hvaða skrefum tannlæknir og tannsmiður ákveða að sleppa eða kjósa að framkvæma með aðstoð CAD/CAM. Tvö kerfi, Ceramill og VITA VIONIC geta notað hefðbundnar

einstaklingsmátskeiðar við máttöku en Wieland notar fjöllaga framleiddar einstaklingsmátskeiðar.

Mátunargómar

Aðeins Baltic Denture System og Perfit Dental Solutions bjóða ekki upp á mátunargóma. Annars eru mátunargómarnir ýmist fræstir úr hráefniseiningum úr vaxi eða plastefni. Mátskeiðar með innbyggðum tönnum í Baltic Denture lykla settinu gefa möguleika á að sjá fyrir útlit að einhverju leyti þótt ekki sé um eiginlega mátunargóma að ræða. Mátun er stór hluti af upplifun sjúklings af ferlinu. Með mátun fær hann meðal annars tækifæri til að segja skoðanir sínar á útliti og láta vita af óþægindum. Það að hafa haft áhrif á gerð heilgómana getur haft mikið að segja þegar kemur að ánægju sjúklingsins með lokaútkomuna. Því er sennilegt að vélræn kerfi í heilgómagerð muni áfram flest halda mátunargómum inni sem hluta af ferlinu í stað þess að leggja áherslu á sem fæstar heimsóknir til tannlæknis án mátunar.

Hráefniseiningar

Hráefniseiningar fyrir gómaplast eru ýmist úr vaxi eða plasti. Þær sem eru úr vaxi eru fræstar, fræstum plasttönnum komið fyrir í þeirra stæði og sú samsetning er fyrst notuð sem mátunargómur. Þegar nauðsynlegar aðlaganir hafa verið gerðar eftir mátun eru gómarnir pakkaðir og hitahert plastefni soðið eins og er gert með hefðbundna heilgóma. Ceramill og Pala nota þessa aðferð. Hráefniseiningar fyrir gómaplast úr plasti eru fræstar sér og tennur síðan festar við með lími eða lakki eftir kerfum. Þau kerfi sem nota slíka aðferð eru AvaDent, VITA VIONIC, Wieland Digital Dentures og Nexteeth. Þau framleiðslukerfi sem fræsa gómana í vax spara tíma tannsmiðsins sem annars færi í að móta til vaxið.

Baltic Denture system gómar eru einnig fræstir úr plasteiningum en eru ólíkir að því leiti að tanngarðarnir eru þegar uppstilltir í einingunum. Því er ekki hægt að gera útlitslegar breytingar heldur stendur valið á milli nokkurra ólíkra stærða, tannforma og tannlita í tilbúnu einingunum. Þetta getur virkað vel hjá einstaklingum sem hafa nálægt meðaltals liðbrautarhalla og Bennet horn en bithreyfingar yrðu óeðlilegar hjá einstaklingum sem eru langt frá þessum gildum. Auk þess verður ekki hægt að viðhalda útlitslegum sérkennum sjúklingsins.

Ceramill Full Denture System, Pala Digital Dentures og VITA VIONIC nota öll sams konar leiðir til þess að aðlaga tannhálsa á fjöldaframleiddum plasttönnum sem á að nota í heilgómana. Sem stendur er Amann Girrbach (Ceramill) með einkaleyfi á þessari tækni. Ákjósanlegra væri auðvitað fyrir fyrirtækin að eiga sína eigin aðferð til að þurfa ekki að greiða leyfisgjöld til annarra aðila. Ef til vill munu því önnur fyrirtæki finna upp aðrar leiðir til að fræsa til plasttennur á vélrænan hátt. Mikill tímasparnaður felst í notkun þessarar tækni í stað þess að fræsa tannhálsa með handstykki.

Tímalega séð er hagkvæmara fyrir tannsmiðinn ef gómarnir eru fræstir beint úr plasti. Hér er þó aðeins átt við styttri tíma sem tannsmiður þarf að eyða í handvirknan hluta framleiðslunnar þar sem fræsing í CNC vélum getur verið tímafrek. Kostur vaxgómanna fram yfir þá sem eru fræstir beint í plast er að hægt er að máta gómana og gera aðlaganir í vaxi eins og þurfa þykir.

AvaDent Digital Dentures býður annars vegar upp á hráefniseiningar með tilbúinni uppstillingu líkt og Baltic Denture hráefniseiningarnar. Hins vegar notast þeir við hráefniseiningar úr plasti sem eru fræstar og tennur eru festar í eftir á. Tennurnar eru útbúnar með viðbót við AvaDent kerfið sem kallast Signature Teeth. Sú tækni er bylting í heilgómagerð þar sem hægt er að hanna hverja tönn fyrir sig handa einstaklingi í stað þess að nota fjöldaframleiddar plasttennur. Tennurnar eru síðan fræstar út í CNC vél. Þetta gæti virst tímafrekt og er það sannarlega ef ætlunin er að breyta hverri einustu tönn sérstaklega. Eiginleikar forritsins bjóða þó upp á það að velja hvaða tönnum þú vilt breyta og þá aðlagast þær allar í réttum hlutföllum þegar tannsmiðurinn breytir einni þeirra.

Í fyrsta sinn eru því komnir fram möguleikar á því að útbúa heilgóma sem líkja svo sem næst kemur nákvæmlega eftir náttúrulegum tönnum þess sem tanngervið fær. Þetta er sannarlega bylting frá fjöldaframleiddum plasttönnum. Eflaust eru margir tilbúnir til að greiða herra verð fyrir gervitennur sem endurspeglar gamla brosið þeirra svo það ætti að vera hægt að verðleggja tímann sem fer í slíka aukavinnu.

Framleiðsluáðferð

Engar upplýsingar var að finna um ferlið eftir munnskönnun í kerfinu Perfit Dental Solutions og því var ekki hægt að segja frekar frá framleiðsluáðferðum þess. Nánast öll framleiðsla heilgóma í þessu yfirliti fer fram í CNC vél með afskurði, sem skilur eftir ónýtanlega efnisafganga. Undanskildir eru mátunargómar frá Pala Digital Dentures og

Whole You Nexteeth. Þeir eru gerðir með fjöllaga framleiðslu úr hvítu plastefni. Slík framleiðsla er ákjósanleg með tilliti til efnisnotkunar þar sem ekkert umframefni er notað. Í ljósi aukinnar áherslu á efnisnýtingu í hvers kyns iðnaði og framleiðslu er líklegt að privíddarprentun verði innleidd enn frekar í framleiðsluferli vélgerðra heilgóma.

5.2 Umræður

5.2.1 Þörf fyrir heilgóma

Tannleysi á Íslandi fer minnkandi jafnt og þétt og sama þróun á sér stað í flestum vestrænum ríkjum. Rannsóknir sýna að tannlausum Íslendingum á aldrinum 18-79 ára hefur fækkað úr 25,5% árið 1990 niður í 4,9% árið 2012 (Hólmfríður Guðmundsdóttir og Jón Óskar Guðlaugsson, 2014). Þrátt fyrir hlutfallslega minna tannleysi mun eftirspurn eftir heilgómagerð ekki hverfa næstu áratugi vegna aldursþróunar. Mannfjöldaspá Hagstofu Íslands gerir ráð fyrir að meðalaldur haldi áfram að hækka næstu fjörutíu árin. Árið 2016 var hlutfall þeirra sem eru 65 ára og eldri undir 15% en það kemur til með að vaxa yfir 20% árið 2035 og yfir 25% árið 2061 (Hagstofa Íslands, 2016). Aðferðir sem notaðar eru í heilgómagerð er einnig hægt að beita við framleiðslu tannplantastuddra tanngerva eða ásetugóma, þar sem hluti tanngervis er úr plastefnum. Aukning hefur verið í framleiðslu þeirra í stað heilgóma fyrir algerlega tannlausa einstaklinga.

5.2.2 Hægfara tæknibreytingar

Sagan sýnir að breytingar á sviði heilgómagerðar eru hægar og sömu tækni við gerð heilgóma er viðhaldið áratugum eða jafnvel öldum saman. Þó er greinilegt að þegar byltingarkenndar aðferðir hafa komið fram á sjónarsviðið verða þær fljótt vinsælar og breiðast hratt út og marka þannig regluleg kaflaskil í faginu. Með því að gera þetta fræðilega yfirlit er hægt að álykta hvaða þróun hefur þegar orðið á CAD/CAM tækni í heilgómagerð og hvernig framtíð gervitannsmíði lítur út með tilliti hennar og hvort það sé komið að næsta kafla í sögu heilgómagerðar.

5.2.3 Arðbær fjárfesting eða ekki

Í kjölfar nýlegra yfirlýsinga frá WholeYou um framleiðslustöðvun á tölvuvædda heilgómakerfinu þeirra er skiljanlegt að fagfólk fari sér hægt í að fjárfesta í CAD/CAM tækjabúnaði til heilgómagerðar, sérstaklega á íslenskum markaði þar sem fáir eru um sama bitann. Tæknin mun hins vegar halda áfram að þróast. Bjartsýni gagnvart framtíðinni einkennir viðhorf rannsakenda á CAD/CAM heilgómagerð í þeim greinum sem voru skoðaðar. Allir virðast þeir hafa trú á því að framtíð heilgómagerðar beri með

sér aukna innleiðingu tölvutækni og að sú breyting muni verða til hags fyrir tannlækninn, tannsmiðinn og sjúklinginn. Eins og með aðrar nýjungar eru þó alltaf einhverjar mótbáru til staðar sem þarf að svara fyrir með rannsóknum sem styðja ágæti nýjunganna.

5.2.4 Tölvugerðir heilgómar eða hefðbundnir

Rannsóknir á notkun CAD/CAM tækni við heilgómagerð eru af skornum skammti og þá sjaldnast nema ein rannsókn um hvert efni. Nauðsynlegt er að fleiri rannsakendur taki fyrir sömu viðfangsefni til þess að staðfesta eða fella fyrri niðurstöður. Eins eru aðrar hliðar á vélgerðum heilgómum sem enn á eftir að kanna. Dæmi um það sem þörf er á að skoða hjá vélgerðum heilgómum er bitkraftur, endingartími og langtímaáhrif. Þar sem mörg forrit og framleiðsluferfi eru í boði væri óskandi ef slíkar rannsóknir prófuðu CAD/CAM heilgóma frá ólíkum framleiðendum. Rannsóknir af því tagi eru kostnaðarsamar þar sem nauðsynlegur búnaður er mismunandi milli kerfa og getur kostað sitt. Steinmassl (2016) og félagar sem rannsökuðu magn monomer vökva í vélgerðum heilgómum fengu þó að láni nauðsynleg áhöld frá framleiðendum. Það er hvatning til annarra rannsakenda að framleiðendur séu tilbúnir til að veita slíkan stuðning til þeirra sem eru áhugasamir um slíkar rannsóknir. Vonandi verður þetta til fjölgunar næstu árin á samanburðarrannsóknum á eiginleikum vélgerðra tanngerva frá ólíkum framleiðendum.

Í þeim verklýsingum frá útgefendum CAD/CAM framleiðsluferfanna sem voru aðgengilegar og töldust ítarlegar var þó litlar upplýsingar að fá um ferlið sem lendir í höndum tannsmiðsins. Heimasíður og bæklingar miðuðust að því að selja tannlæknum og sjúklingum hugmyndina um tölvuhannaða heilgóma og sjaldnast minnst orði á tannsmiði. Nákvæmar lýsingar voru af máttöku og bitskráningu en skrefin eftir að þær upplýsingar eru sendar til tannsmiðs voru oftast óljós. Upplýsingarnar voru aðallega um ferlið sem enn er handvirkt en ekki það sem fer fram í tölvuforritinu. Því var ekki hægt að greina frá ólíkum eiginleikum CAD forritanna. Það væri áskorun að prófa hvaða möguleika hvert forrit býður upp á og gefa yfirlit yfir það svo að fagfólk gæti nýtt sér niðurstöðurnar til að mynda sér skoðun á hvaða kerfi þeir telja ákjósanlegast.

5.2.5 Heilgómagerð framtíðarinnar

Lagt var upp með að svara rannsóknarspurningunni:

Hverjar eru framtíðarhorfur tölvustuddrar heilgómagerðar í stað hefðbundinnar?

Hvernig heilgómagerð verður í framtíðinni er ekki hægt að segja fyrir með vissu. Eins og útlitið er í dag verður áframhaldandi eftirspurn eftir gervitönum lengi vel. Náttúrulega

útlítandi plasttennur hafa reynst vel og því eru það helst eru það framleiðsluaðferðir þeirra sem útséð er að taki breytingum.

Helstu meðmæli með að innleiða vélræna framleiðslu í heilgómagerð eru tímasparnaður, sem næst fyrst og fremst með því að fækka þeim skiptum sem sjúklingur þarf að mæta í stólinn til tannlæknis. Vanalega eru þessar heimsóknir fimm talsins þegar notaðar eru hefðbundnar vinnuaðferðir en kerfin sem um ræðir ná að fækka þessum skiptum niður í allt að tvær heimsóknir. Meðferðaraðilar og tannheilsuteymið geta nýtt CAD/CAM tæknina við meðferðaráætlun heilgomasjúklinga. Hægt er að skoða niðurstöðu áætlaðar meðferðar áður en raunveruleg framleiðsla tanngervisins á sér stað með tilliti til bithreyfinga í sýndarbithermum og núna útlitslega með tilkomu andlitsherma.

5.2.6 Annað rannsóknarefni

Áhugavert væri að gera rannsókn á vinnu tannsmiðsins í tengslum við vélgerða heilgóma. Til dæmis hvað hann er lengi að gera tanngervi með hefðbundnum leiðum eða að hanna það í tölvuforriti. Eins væri athyglisvert að skoða þekkingu og viðhorf tannlækna annars vegar og tannsmiða hins vegar á notkun CAD/CAM við heilgómagerð. Hliðarnar eru margar á nýtingu CAD/CAM tækni við heilgómagerð. Eftir því sem möguleikar bætast við verður skemmtilegt að skoða líka hver þróunin verður þegar kemur að tannplantastuddum heilgómum og CAD/CAM, eða ásetugómum eða jafnvel tannpörtum.

Ályktun um framtíð tölvustuddrar heilgómagerðar

Niðurstöðurnar gefa til kynna að CAD/CAM tækni við hönnun og framleiðslu heilgóma hafi farið fram, sem sést í auknu framboði á kerfum til verksins. Þótt áfram sé þörf á tannsmiðum til heilgómagerðar, verða tannsmiðir framtíðarinnar ef til vill í sömu stöðu og starfsstétt prentara í kjölfar iðnbyltingarinnar. Ekki síst í ljósi þess að tilraunir með vélmenni til framleiðslu heilgóma eru á byrjunarstigi.

Heimildir

- AlHelal, A. A., AlRumaih, H. S., Kattadiyil, M. og Goodacre, C. J. (2016). Comparison of retention between maxillary milled and conventional denture bases: A clinical study. *J Prosthet Dent*, 117(2), 233-238. doi:10.1016/j.prosdent.2016.08.007
- Amann Girrbach. (2017). Ceramill® fds [bæklingur]. Sótt 19. apríl 2017 af https://www.amanngirrbach.com/fileadmin/_agweb_2013/media/mediathek/Print/Catalogues_Brochures/Brochures/EN/Ceramill_FDS_Folder_EN.pdf
- Anderson, T., O'Connor, S. og Ogden, A. R. (2004). An early eighteenth-century denture from Rochester, Kent, England. *Antiquity*, 78(302), 858-864. doi:10.1017/S0003598X00113493
- Baba, N. Z., Hamad, S. A., Goodacre, B. J. og Goodacre, C. J. (2016). Current techniques in CAD/CAM denture fabrication [vefútgáfa]. *Gen Dent*, 64(6), 23-28.
- Bilgin, M. S., Baytaroglu, E. N., Erdem, A. og Dilber, E. (2016). A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication. *Eur J Dent*, 10(2), 286-291. doi:10.4103/1305-7456.178304
- Brown, C. (2016). Digital Options expanding for Dentures [vefútgáfa]. *Inside Dent Technol*, 7(10), 38-43.
- Chen, H., Wang, H., Lv, P., Wang, Y. og Sun, Y. (2015). Quantative Evaluation of Tissue Surface Adaption of CAD-Designed and 3D Printed Wax Pattern of Maxillary Complete Denture. *BioMed Res Int*. doi:10.1155/2015/453968
- Chen, H., Yang, X., Chen, L., Wang, Y. og Sun, Y. (2016). Application of FDM three-dimensional printing technology in the digital manufacture of custom edentulous mandible trays. *Sci Rep*, 6. doi:10.1038/srep19207

- Cheng, C., Cheng, X., Dai, N., Jiang, X., Sun, Y., og Li, W. (2015). Prediction of facial deformation after complete denture prosthesis using BP neural network. *Comput Biol Med*, 66, 103-112. doi:10.1016/j.combiomed.2015.08.018
- Dein, A. E. G. E. (2016). Biting Force in Heat Cured Acrylic Resin Versus CAD/CAM Maxillary Single Denture Bases. Sótt 5. apríl 2017 af <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02996123>
- MoldMaking Technology. (2011, 18. janúar). *Dental Mold Challenges Are Overcome with the Right 3-D Design-for-Manufacturing Solution*. Sótt 17. apríl 2017 af <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/dental-mold-challenges-overcome-with-the-right-3-d-design-for-manufacturing-solution>
- Fischer, D. K. (2016, desember). *Scientific Documentation SR Vivodent* [bæklingur]. Schaun: Ivoclar Vivadent AG. Sótt 19. apríl 2017 af <https://www.ivoclarvivadent.com/zoolu-website/media/document/37443>
- Global Dental Science. (2017). AvaDent Signature Teeth. Sótt 5. maí 2017 af <http://www.avadent.com/software/avadent-software-solutions/avadent-signature-teeth/>
- Hagstofa Íslands. (2016). Mannfjöldaspá 2016-2065 [vefútgáfa]. *Hagtíðindi* 101(17).
- Heraeus Kulzer. (2016). *My Digital Denture* [bæklingur]. Sótt 21. apríl 2017 af http://kulzerus.com/media/webmedia_local/north_america/pdf_files/brochures/MyDigitalDenture_SellSheet_Spread.pdf
- Hólmfríður Guðmundsdóttir og Jón Óskar Guðlaugsson. (2014). Tannlausum á Íslandi fækkar hratt [vefútgáfa]. *Tannlæknablaðið*, 32(1), 50-51.
- Infante, L., Yilmaz, B., McGlumphy, E. og Finger, I. (2014). Fabricating complete dentures with CAD/CAM technology. *J Prosthet Dent*, 111(5), 351-355. doi:10.1016/j.prosdent.2013.10.014
- Ivoclar Vivadent. (2015). *Digital Denture: Complete denture prosthetics for the 21st century*. Sótt 10. apríl 2017 af <https://www.linkedin.com/pulse/digital-denture-complete-prosthetics-21st-century-dds-mba-csmp>

- Katase, H., Kanazawa, M., Inokoshi, M. og Minakuchi, S. (2013). Face simulation system for complete dentures by applying rapid prototyping. *J Prosthet Dent*, 109(6), 353-360. doi:10.1016/S0022-3913(13)60316-9
- Maeda, Y., Minoura, M., Tsutsumi, S., Okada, M. og Nokubi, T. (1994). A CAD/CAM system for removable denture. Part I: Fabrication of complete dentures [vefútgáfa]. *Int J Prosthodont*, 7(1), 17-21.
- Merz Dental GmbH. (2017). *Baltic Denture System*. Sótt 17. apríl 2017 af <http://www.baltic-denture-system.com/>
- Murray, M. D., Darvell, B. W. (1993). The evolution of the complete denture base. Theories of complete denture retention – A review. Part 1. *Aust Dent J*, 38(3), 216-219. doi:10.1111/j.1834-7819.1993.tb03067.x
- Nishiyama, Y. (2017, 1. febrúar). Nexteeth Discontinuance Notification. Sótt 17. apríl 2017 af <https://www.wholeyou.com/nexteeth-discontinuance-notification>
- Ohno, T. og Hasaka, Y. (2013). The dawn of modern dentistry in Japan: The transfer of knowledge and skills from foreign dentists to Japanese counterparts in the Yokohama Foreign Settlement. *Jpn Dent Sci Rev*, 49(1), 5-13. doi:10.1016/j.jdsr.2012.10.001
- Pala Digital Dentures. (2017). Taking impressions. Sótt 15. apríl 2017 af <http://www.paladigitaldentures.com/ClientResources/TakingImpressions.aspx>
- Patzelt, S. B. M., Vonau, S., Stampf, S. og Att, W. (2013). Assessing the feasibility and accuracy of digitizing edentulous jaws. *J Am Dent Assoc*, 144(8), 914-920. doi:10.14219/jada.archive.2013.0209
- Powers, N. (2006). Archaeological evidence for dental innovation: an eighteenth century porcelain prosthesis belonging to Archbishop Arthur Richard Dillon. *Br Dent J*, 201(7), 459-463. doi:10.1038/sj.bdj.4814117
- Radz, G. M. (2016). Digital Dentures: Achieving Precision and Aesthetics [vefútgáfa]. *Dent Today*, 35(6), 77-80.

- Saponaro, P. C., Yilmaz, B., Johnston, W., Heshmati, R. H. og McGlumphy, E. A. (2016). Evaluation of patient experience and satisfaction with CAD-CAM-fabricated complete dentures: A retrospective survey study. *J Prosthet Dent*, 116(4), 524-528. doi:10.1016/j.prosdent.2016.01.034
- Schweiger, J., Güth, J., Edelhoff, D. og Stumbaum, J. (2017). Virtual evaluation for CAD-CAM-fabricated complete dentures. *J Prosthet Dent*, 117(1), 28-33. doi:0.1016/j.prosdent.2016.05.015
- Soratur, S. H. (2006). *Essentials of Prosthodontics*. Nýja-Delí: Jaypee Brothers Medical Publisher.
- Steinmassl, P., Wiedemair, V., Huck, C., Klaunzer, F., Steinmassl, O., Grunert, I. og Dumfahrt, H. (2016). Do CAD/CAM dentures really release less monomer than conventional dentures? *Clin Oral Invest*. doi:10.1007/s00784-016-1961-6
- Steinmassl, P., Klaunzer, F., Steinmassl, O., Dumfahrt, H. og Grunert, I. (2017). Evaluation of Currently Available CAD/CAM Denture Systems. *Int J Prosthodont* 30(2), 116-122. doi:10.11607/ijp.5031
- Thalji, G. og Jia-mahasap, W. (2017). CAD/CAM Removable Dental Prostheses: a Review of Digital Impression Techniques for Edentulous Arches and Advancements on Design and Manufacturing Systems. *Curr Oral Health Rep*, 4(2), 151-157. doi:10.1007/s40496-017-0137-z
- VITA Zahnfabrik. (2017, febrúar). VITA VIONIC solutions [bæklingur]. Sótt 19. apríl 2017 af https://mam.vita-zahnfabrik.com/portal/ecms_mdb_download.php?id=55932&sprache=en&cls_session_id
- Wei, L., Chen, H., Zhou, Y. S. og Pan, S. X. (2017). Evaluation of production and clinical working time of computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) custom trays for complete denture [útdráttur]. *Beijing Da Xue Xue Bao*, 18(49), 86-91. Sótt 15. apríl 2017 af <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28203010>

Wimmer, T., Gallus, K., Eichberger, M. og Stawarczyk, B. (2016). Complete Denture fabrication supported by CAD/CAM. *J Prosthet Dent*, 115 (5), 541-546. doi:10.1016/j.prosdent.2015.10.016

Woodforde, J. (1968). *The strange story of false teeth*. London: Routledge & Kegan Paul.

Zhang, Y., Jiang, J., Liang, T. og Hu, W. (2011). Kinematics Modeling and Experimentation of the Multi-manipulator Tooth-arrangement Robot for Full Denture Manufacturing. *J Med Syst*, 35(6), 1421-1429. doi:10.1007/s10916-009-9419-x

Myndaskrá

Mynd 1: Merz Dental GmbH. (2017).

Mynd 2: Amann Girrbach. (2017).

Mynd 3: VITA Zahnfabrik. (2017, febrúar).

Mynd 4: Cheng, C., Cheng, X., Dai, N., Jiang, X., Sun, Y., og Li, W. (2015).

Mynd 5: Zhang, Y., Jiang, J., Liang, T. og Hu, W. (2011).