

ABSTRACT

INTRAORAL SCANNING OG DENTAL CAD/CAM: ER DE TRADITIONELLE ANALOGTEKNIKKERS TID FORBI?

Digitaliseringen har ændret de måder, vi lever, arbejder og kommunikerer på. Den har ført til øget produktivitet, effektivitet og innovation, men også udfordringer i form af personbeskyttelse, sikkerhed og digital ulighed i forskellige dele af verden.

Digitalisering er en proces, som involverer anvendelse af digitale redskaber og metoder for at forbedre eller ændre måden, forskellige opgaver udføres på. I dentalindustrien har digitaliseringen ført til mange ændringer i diagnostik, kliniske procedurer, interaktion med patienter samt administration. Digitaliseringen har ført til forbedrede behandlingsmetoder, nye materialer, forbedret patientsikkerhed og større involvering af patienterne i behandlingerne.

Den digitale transformation har inden for odontologien haft tre fokusområder: CAD/CAM-systemer, billedteknologier og administrationssystemer for tandklinikker. Udviklingen i disse områder er gjort mulig pga. fremkomst af kraftigere computere og afspejler et ønske om at rationalisere manuelle arbejds gange inden for tandplejen.

Intraorale scannere bliver stadig mere populære blandt tandlæger. Udstyrets præcision, hastighed og brugervenlighed har udviklet sig drastisk de seneste 10 år. Selv om der er forskelle mellem scannere, er de fleste af dem i stand til at reproducere en enkelt tand med rimelig nøjagtighed.

CAD/CAM-produktion af protetiske restaureringer er blevet dominerende i de seneste år. Dette er primært et resultat af ønsket om en mere rationel og økonomisk drift, men også et resultat af den generelle teknologiske udvikling. Ændrede behandlingsbehov og patienternes ønske om mere æstetiske restaureringer har påvirket udviklingen. Skiftet fra den traditionelle håndværksbaserede produktion har ført til omfattende ændringer i drift og kompetencebehov i tandplejen.

EMNEORD Dentistry, operative | dental technology | digital scan | computer-aided design | computer aided manufacturing



Korrespondanceansvarlig forfatter:

HENRIK SKJERVEN

Henrik.skjerven@odont.uio.no

Intraoral scanning og dental CAD/CAM: Er de traditionelle analoge teknikkers tid forbi?

HENRIK SKJERVEN, specialist i oral protetik, ph.d., specialtandlæge, Klinik for Specialbehandling, Institutt for klinisk odontologi, Det Odontologiske Fakultet, Universitetet i Oslo

► Accepteret til publikation den 23. februar 2024

[Online før print]

DIGITALISERING HAR ÆNDRET MÅDEN, VI LEVER, ARBEJDER OG KOMMUNIKERER PÅ. Digitaliseringen har ført til øget produktivitet, effektivitet og innovation, men også udfordringer som personbeskyttelse, sikkerhed og digital ulighed i forskellige dele af verden. Denne oversigtsartikel giver en videnskabelig gennemgang af de vigtigste udviklingslinjer inden for digitalisering i odontologien med fokus på digitale aftrykssystemer og digitalt design og produktion af tandtekniske produkter.

I tandlægebranchen har digitalisering ført til mange ændringer i både diagnostik, kliniske procedurer, interaktion med patienterne og administration. Digitaliseringen har medført forbedrede behandlingsmetoder, nye materialer, øget patientsikkerhed og bedre patientinddragelse.

Den digitale transformation inden for odontologien har haft tre fokusområder: CAD/CAM-systemer, billedteknologier og administrationssystemer for tandlægepraksis. Udviklingen på disse områder er blevet drevet frem af de muligheder, der er opstået med kraftigere computere og af et ønske om at rationalisere driften inden for tandplejen.

I de nordiske lande var den tandtekniske branche tidligt ude med digitalisering, da man så muligheder for at overføre omkostningstunge manuelle arbejdsopgaver forbundet med manuel tandteknisk fremstilling til en mere rationel digital produktion. Det traditionelle håndværk er blevet kvantificeret og lagt ind i en digital produktionslinje. Digitaliseringen af de manuelle produktionsmetoder har sandsynligvis medført, at den variation, der var forbundet med manuel produktion, er blevet mindre (1). Den har nok også medført, at tandteknikerens intuition og håndværk har fået mindre betydning, hvil-

ket over tid vil få en betydning for de mere specielle og sjældnere anvendte tandtekniske konstruktioner. Digitaliseringen har påvirket tandlægenes brug af tandtekniske produkter, da mindre arbejdsintensive produkter er faldet i pris i forhold til traditionelle produkter, som kræver større arbejdsindsats fra tandteknikerne. Tandteknikerens digitalisering har endvidere motiveret leverandørindustrien til at udvikle nye materialer og produktionsmetoder, der egner sig til en digitaliseret produktion. Disse materialer er udviklet for at kunne fremstille restaureringer, som kun har behov for et minimum af manuelle arbejdsoperationer i fremstillingsprocesserne frem til aflevering til patienten. Denne udvikling vil sikkert fortsætte i fremtiden, ved at man benytter kunstig intelligens i designprocesserne, og ved at rutineprodukter i større grad vil blive produceret på tandlægenes klinikker. Mange ser udviklingen af dentale 3D-printere med tilhørende biokompatible materialer som en af fremtidens vigtigste teknologier (2).

Den digitale produktionslinje

Tandteknikerens digitale produktionslinje kan være direkte eller indirekte. I den indirekte arbejdsgang sender tandlægen et analogt aftryk, som digitaliseres direkte eller fra en gipsmodel på laboratoriet ved hjælp af en ekstraoral scanner. Gipsmodellen vil have de afvigelser, som er knyttet til det konventionelle aftryk, udstøbning med gips og manuel frilæggelse af præparationsgrænser, som det fremgår af Fig. 1.

Den ekstraorale scanner er udviklet til anvendelse i et tandteknisk laboratorium og kan digitalisere og fremstille gipsmodellens overflade i computeren med høj præcision.

I den direkte digitale produktionslinje vil man eliminere gipsmodellen, ved at tandlægen digitaliserer tænderne direkte i patientens mund med en intraoral scanner. Den manuelle an-

vendelse af den intraorale scanner (IOS) og scanningsystemet vil påvirke nøjagtigheden på den digitale model i større grad end tandteknikerens ekstraorale scanner og lægger derfor begrænsninger på, hvad man kan producere.

Forskellige ekstraorale og intraorale scannere er baseret på forskellige digitaliseringsprincipper til at fange rådata i form af scanskyer med punkter orienteret i et metrisk tredimensionelt koordinatsystem (3): Konfokal mikroskopi, triangulering, interferometri og wavefront sampling er eksempler på forskellige digitaliseringsprincipper (4). Scanskyerne danner grundlaget for fremstillingen af tredimensionelle modeller i computerne. De fleste intraorale scannere på markedet i dag er i stand til at digitalisere orale overflader tilstrækkelig nøjagtigt til fremstilling af tilfredsstillende enkelttandsrestaureringer (5). Fig. 2A viser en præparation til partiel krone på 5+, hvor den intraorale scan klart gengiver præparationens overflade og grænser.

Et typisk intraoralt scan vil bestå af den tandbue, hvor tandbehandlingen udføres, antagonist og et sammenbid. Sammenbidet er et scan af facialfladerne. Flere studier peger på, at de digitale scannere er mindst lige så nøjagtige som de analoge aftryksteknikker til de fleste af de konventionelle odontologiske procedurer inden for fast protetik (6). De analoge aftryk har til trods for udviklingen inden for intraorale scannere stadig en vigtig plads i odontologisk praksis ved specielle procedurer som aftryk til større implantatretinerede broer og helproteser samt ved processer, som kræver konventionelle gipsmodeller, som fx visse keramer (7).

GENNEMGANG AF VIDENSKABELIG LITTERATUR

Intraoral scanning

De intraorale scannersystemer har gennemgået en betydelig udvikling, siden de første systemer kom på markedet i 1985. ▶

Ekstraoralt scan af en gipsmodel

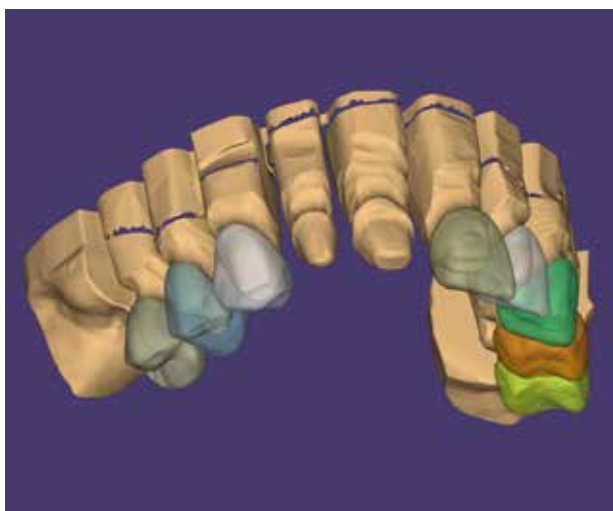


Fig. 1. Ekstraoral scanning af en gipsmodel med digitalt designede restaureringer.
Fig. 1. Extraoral scan of a plaster cast with digitally designed restorations.

Intraoralt scan af en præparation



Fig. 2. A. Intraoral scanning af en præparation til partiel krone på 5+.
Fig. 2. A. Intraoral scanning of a veneer preparation on tooth no. 15.

To forskellige intraorale scannere blev lanceret næsten samtidigt. Begge kunne digitalisere en præpareret tand til fremstilling af en restaurering. CEREC 1 er den maskine, som flest associerer med det første CAD/CAM-system, da den kunne digitalisere den præparerede tand og desuden havde en integreret fræsemaskine, som kunne fremstille restaureringen (8). CEREC betyder ”CERamic REConstruction”. Systemet var baseret på triangulering af lys for at digitalisere tanden. Tre separate lysstråler fokuserede i 3D-rummet for at foretage målinger af tandens overflade. Da forskellige overflader reflekterede lyset forskelligt, blev overfladerne påført et lag af pulver inden digitaliseringen. Scanneren tog enkeltoptagelser af tanden, som skulle rehabiliteres, så scanningen tog lang tid. Allerede den første generation af CEREC-systemet viste tilfredsstillende resultater (9,10).

Moderne scannere benytter andre scanningsprincipper til digitalisering af overflader. Derfor er pulver ikke længere nødvendigt. Moderne sensorer er hurtigere, så scanningen tager betydeligt mindre tid. Studier har vist, at intraoral scanning ved visse indikationer er hurtigere end konventionelle aftryk (11,12). Den kliniske anvendelse af moderne intraorale scannere er enklere for tandlægen, da maskinerne digitaliserer overfladerne hurtigere, og man kan variere afstanden mellem tandoverfladen og scannerhovedet. Selve scannerhovedet på moderne scannere er også lettere og mindre og dermed enklere at manøvrere rundt i patientens mund. Scannerhovederne er koblet op til en computer, som enten kan være en separat bærbar PC eller integreret i en totaløsning, som omfatter hele scannersystemet. Computerne er med tiden blevet meget hurtigere til at behandle de data, den modtager fra scanneren. Desuden er det påkrævet med en skærm, som viser den overflade, der scannes, og vejleder operatøren. Nogle leverandører tilbyder trådløse scannere, som let kan flyttes fra klinik til klinik.

Studier, som måler patienttilfredshed (PROMS: Patient reported outcome measures), rapporterer i de fleste tilfælde, at patienterne foretrækker intraoral scanning. Faktorer, som forbindes med konventionelle aftryk (dårlig smag, lang hærdeperiode og vejtrækningsproblemer), finder patienterne mindre udaltale ved digitale aftryk (13,14).

De intraorale scanneres nøjagtighed

Nøjagtigheden på intraorale scanninger er afhængig af flere faktorer. Selvom der er forskelle i nøjagtighed mellem forskellige scannere, kan de fleste digitalisere en enkeltstående tand med tilfredsstillende præcision (15,16). Nøjagtigheden af digitale scanninger måles i ”trueness” og ”precision”. Trueness beskriver, hvor nøjagtigt scanneren gengiver objektet. Precision beskriver afvigelse mellem gentagne scanninger af det samme objekt.

Der er publiceret mange videnskabelige artikler, som forsøger at beskrive nøjagtigheden i intraorale scannere. Artiklerne viser stor heterogenitet, og det er vanskeligt at sammenligne dem direkte. Mange studier er laboratoriestudier med de begrænsninger, det giver. Andre studier måler scannerens nøjagtighed ved at beskrive slutresultatet: fx en restaurerings kanttilslutning, hvilket også inkluderer afvigelser, der er knyttet til

fremstillingsprocesserne. Pga. heterogeniteten er det vanskeligt at finde en entydig tolkning af litteraturen.

For de fleste tandlæger vil mindre tanderstatninger udgøre størstedelen af det protetiske arbejde. En systematisk oversigt og metaanalyse fra 2023 har sammenlignet konventionelle og analoge aftryk i fremstillingen af zirkoniabroer på op til fire led. Oversigten omfattede ni studier, hvoraf kun et var *in vivo*. Forfatterens konklusion var, at intraoral scanning resulterede i bedre kanttilslutning end analoge aftryk i broer op til fire led (17). Andre oversigter rapporterer ingen forskel mellem analoge og digitale aftryk (6,18).

Hvis man skal tage et digitalt aftryk til en større restaurering, er man nødt til at følge den scannerspecifikke scanningsprotokol for at opnå tilfredsstillende nøjagtighed på den digitale model (19). Producentens scanningsprotokol angiver, hvordan man skal bevæge scanneren i patientens mund for at opnå en så nøjagtig digital model som muligt. Protokollerne er baseret på scanningsprincippet, hastigheden og afstanden mellem scannerhovedet og det underlag, som skal digitaliseres. Scanneren benytter anatomien i de intraorale flader til at opbygge den tredimensionelle model. Et bevægeligt underlag (som kind, tunge og læber) vil ikke kunne benyttes i opbygningen af modellen, da det ikke er statisk. Dette medfører, at det i de fleste tilfælde vil være vanskeligere at scanne underkæben end overkæben. Endvidere vil små arealer med skarpe kanter, som incisalkanter i fronten, være vanskeligere at scanne og digitalisere med nøjagtighed. Studier har vist, at helkæbescanninger har lavere nøjagtighed end kvadrantscanninger (20,21). Det er vigtigt, at tandlægen følger den optimale scanningsprocedure over midtlinjen og er bekendt med de begrænsende faktorer ved intraorale scannere (22). For større tandforankrede rekonstruktioner vil nøjagtigheden i scanneren, typen og tandlægens anvendelse af scanneren have en større indvirkning. Fugtighed, baggrundslys og kalibrering af scanneren har også betydning. Med en optimal scanningsprocedure er det muligt at tage digitale fuldkæbeaftryk med tilfredsstillende grad af nøjagtighed (23). Med en optimal procedure vil nøjagtigheden være god nok til tandforankrede broer, men ikke til fiksturettinerede broer, hvor kravene til nøjagtig tilpasning er højere.

En systematisk oversigtsartikel fra 2023 har samlet studier fra 2012 til 2022 (24). Ud af 3.815 fundne studier blev 53 inkluderet. Studierne beskrev 26 forskellige intraorale scannere. 50 af studierne var *in vitro* (laboratorie-) studier. Forfatterne inddelte materialet i fire grupper af fuldkæbescanninger: Helkæber med tænder, tandløse helkæber, tandløse kæber med fiksturer og partielt tandløse helkæber med implantater. Forfatterne rapporterede, at de forskellige scannere havde forskellig nøjagtighed i de forskellige grupper, og at nyere scannere havde bedre nøjagtighed end ældre. De fandt en klar sammenhæng mellem nøjagtighed og den type kæbe, som blev scannet. Resultaterne tydede på, at det er muligt at scanne helkæber med tænder med tilfredsstillende nøjagtighed, omend ikke alle scannere har lige gode resultater. Resultaterne viste, at det er udfordrende at digitalisere tandløse kæber, idet kun ét scannersystem viste klinisk acceptable resultater. For tandløse og partielt tandløse kæber med implantater viste resultaterne, at

disse er udfordrende at scanne med tilstrækkelig nøjagtighed. Der er også andre studier, som viser, at intraoral scanning af fiksturer er teknisk udfordrende og afhængig af kæbe, scanningsskema, distancen mellem fiksturerne og fiksturerens vinkling (25,26).

Til trods for de modstridende resultater i litteraturen har denne forfatter igennem mange år scannet op til to fiksturer i samme kvadrant med gode resultater.

Scanning af fiksturer

Ved scanning af fiksturer benytter man fiksturspecifikke ”scanningslegemer” (27). Hvis fiksturerne står dybt, er man afhængig af, at en tilstrækkelig del af scanningslegemet er synlig over slimhinderanden. Ved scanning af fiksturer, som skal indgå i brokonstruktioner, vil man ofte vælge at scanne på distanceniveau. Dette forudsætter, at man har egne scanningslegemer for de specifikke afstande, som skal benyttes. Litteraturen om nøjagtigheden af implantataftryk ved større broer med intraorale scannere viser varierende resultater, og det tilrådes, at klinikerne er tilbageholdende med anvendelsen (28). Der udvikles nye procedurer for anvendelse af intraorale scannere til rehabilitering af fiksturer (29), men yderligere studier er nødvendige, før dette kan anbefales. Nye typer af scannere viser lovende resultater for hele tandløse kæber med fiksturer (30), men pga. store anskaffelsesudgifter har disse ikke vundet større udbredelse.

De intraorale scannere kan også benyttes til fremstilling af andre typer protetiske erstatninger som fx midlertidige proteser med bukkede bøjler (31). En begrænsning for fremstilling af aftagelige proteser vil være, at det ikke er muligt at scanne for funktionsaftryk af bevægeligt blødtvæv. Her kan man benytte konventionelle aftryksmaterialer i kombination med digitale aftryk for at opnå et tilfredsstillende aftryk af blødtvævet.

Tillægsfunktioner i de intraorale scannere

Mange scannere har tillægsfunktioner udover ren aftrykstagningsfunktion. Funktioner som farvevalg (32-34), måling af underskæring og tilgængelig plads for restaureringsmateriale på præparerede piller er funktioner, som kan hjælpe tandlægen i kliniske procedurer og desuden højne kvaliteten på slutproduktet. Anvendelse af intraorale scannere til opfølgning af tandlid er et eksempel på diagnostisk anvendelse (35). Når nøjagtigheden på forskellige scannere er sammenlignelig, er det sådanne tillægsfunktioner, der adskiller de forskellige producenters scannere fra hinanden. Tandlæger, som overvejer at købe en scanner, bør overveje, hvilke af disse tillægsfunktioner der passer ind i deres praksisdrift, inden de beslutter sig for en bestemt scanner.

De fleste scannere har i dag en åben arkitektur, så tandlægerne kan hente de digitale aftryk ud i såkaldte åbne filformater som .stl og .ply. Disse filer er ikke krypterede og kan læses i frit tilgængelige programmer. Adgang til åbne filformater er vigtig, når man ønsker at lagre de digitale modeller som studiemodeller eller benytte filerne i styret implantatkirurgi, clear aligner-behandlinger eller smile design-procedurer.

Disse tillægsfunktioner er eksempler på, at den intraorale scanner bliver mere end blot en aftryksmaskine – den bliver et

klinisk relevans

Digitaliseringen vinder stadig større indpas inden for odontologien og den tandtekniske branche. Teknologien påvirker i stadig større grad, hvordan disse erhvervsgrupper udfører deres arbejdsopgaver. Digitale hjælpemidler benyttes ikke kun til administrative opgaver, men også i klinikken. Odontologisk diagnostik, behandlingsplanlægning og kliniske procedurer er påvirket af nye digitale hjælpemidler. 3D-scanning gør det muligt for tandlægerne at digitalisere tænder, og 3D-print kan producere fysiske modeller fra digitale aftryk. Tandteknikerne har investeret i dataassisterede designprogrammer og digitale produktionsmetoder for at opnå en hurtigere og mere rationel produktion af tandtekniske arbejder. Teknologien har også ændret patientoplevelsen via reduceret behandlingstid, øget komfort og større patientinddragelse.

instrument til øget interaktion med patienten, assisterer tandlægen ved kliniske procedurer og forbedrer forudsigeligheden i rehabiliteringer.

CAD/CAM

Fremstilling af tandtekniske arbejder ved hjælp af CAD/CAM (Computer Assisted Design – Computer Assisted Manufacturing) er i løbet af de seneste år blevet nærmest enerådende i den tandtekniske branche. Dette skyldes primært et ønske om en mere rationel og økonomisk drift, men er også et resultat af den teknologiske udvikling generelt. Ændrede behandlingsbehov og patienternes ønske om mere æstetiske restaureringer har påvirket udviklingen. Omlægning fra den traditionelle håndværksbaserede produktion har medført omfattende ændringer i drift og kompetencebehov i den tandtekniske branche. I dag er der fokus på CAD/CAM-produktioner, der kræver kompetence inden for digitalt design, fræseteknologier, lasersintrinng og 3D-print. Dette er en stor udfordring for de skoler, der uddanner tandteknikere. Omlægning til en digital produktion er også en udfordring for de videnskabelige miljøer, som skal forstå og evaluere disse digitale produktionsteknologier fra et videnskabeligt ståsted. Der er ingen tvivl om, at den digitale produktionsteknologi er kommet for at blive, og at den vil blive videreudviklet i fremtiden (36).

CAD/CAM-systemernes opbygning

Et CAD/CAM-system består af følgende komponenter: et digitaliseringsværktøj, som kan omdanne intraoral geometri til et format, som computeren kan behandle, og et designsoftware, som kan behandle data og designe objektet som ønsket. Resultatet af designprocessen er et datasæt, som er optimeret for den valgte produktionsteknologi. Den sidste del er et produktionsværktøj, som kan omforme datasættet til et fysisk produkt. Dette produktionsværktøj kan fysisk befinde sig på tandlægens klinik, i et tandteknisk laboratorium eller i en industriel produktionsenhed. Resultatet af denne proces er et ▶

Præparationsgrænser på den digitale model

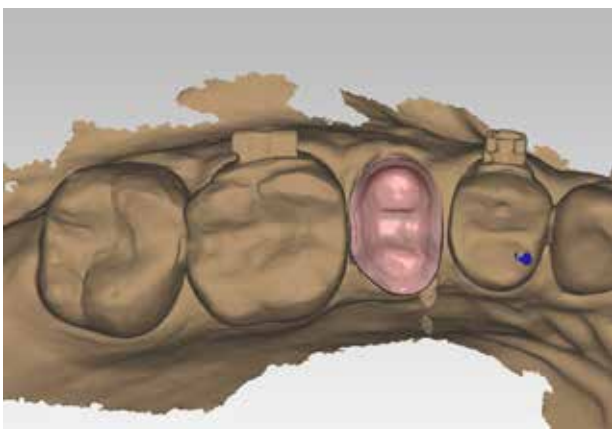


Fig. 2. B. Tandteknikeren markerer præparationsgrænser på den digitale model.
Fig. 2. B. The dental technician places the preparation margin on the digital model.

CAD-design

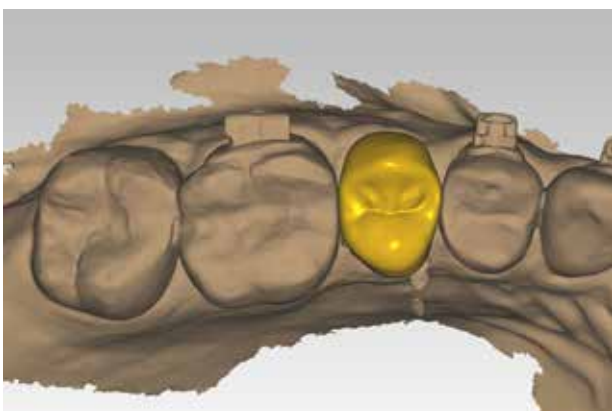


Fig. 2. C. Digitalt design af partiel krone på 5+.
Fig. 2. C. Digital design of a veneerlay on tooth no. 15.

objekt, som i varierende grad må forarbejdes for at blive klar til udlevering til patienten.

CAD/CAM-fremstilling af tandtekniske produkter indledes med, at de intraorale overflader digitaliseres. Dette kan gøres direkte ved hjælp af en intraoral scanner eller ved, at man scanner det analoge aftryk eller en gipsmodel i en bordscanner.

Digitaliseringsmetoderne vil være behæftet med de usikkerheder, der er knyttet til hvert nødvendigt trin i processen: Scanner man en gipsmodel, vil slutresultatet af scanningen indeholde de usikkerheder, der er knyttet til det analoge aftryk, udstøbningen af gipsmodellen, frilæggelsen af præparationsgrænsen og scanningen. De forskellige digitaliseringsmetoder er blevet evalueret i videnskabelige studier. De fleste studier vurderer på grundlag af restaureringens marginale kanttilslut-

ning og tilpasning til stubben. Disse resultater vil også inkludere de usikkerheder, der er knyttet til fremstilling af restaureringen. Konklusionerne i de forskellige studier er ikke entydige. De fleste studier rapporterer, at det er muligt at opnå tilfredsstillende resultater med alle metoderne. Systematiske efterundersøgelser konkluderer, at det sandsynligvis er gunstigt at digitalisere de intraorale overflader direkte, men at dette afhænger af scanner typen, antallet (og typen) af tilbageværende tænder samt den type restaurering, der fremstilles (37). Endvidere påpeger flere forfattere, at alle procedurer i fremstillingsprocesserne har indbyggede usikkerheder, og at det formentlig vil være fordelagtigt at reducere antallet af påkrævede procedurer frem til slutproduktet.

CAD – dataassisteret design

CAD-delen omfatter designet af den ønskede restaurering. Dette gøres i egne dataprogrammer, som er lavet til fremstilling af dentale restaureringer. De digitaliserede overflader behandles indledningsvis i programvaren efter de samme trin, som blev fulgt ved fremstilling af konventionelle gipsmodeller. De traditionelle håndværksprocesser er blevet digitaliseret. Indledningsvis markerer tandteknikeren præparationsgrænser på den digitale overflade. Det er vanskeligere at markere en korrekt præparationsgrænse på en slice type-præparation kontra en chamfer type-præparation i programvaren (38). Hvor man tidligere lagde et lag lak på gipsmodellen for at sætte plads af til cement, kvantificeres denne nu ind i det digitale design af restaureringen, som det fremgår af Fig. 2B.

Forskellige typer kunstig intelligens er indbygget i mange programmer med henblik på at assistere tandteknikeren i designet af restaureringen (39). Fig. 2C viser computerens forslag til design af en partiel krone. Dette giver kvalitetssikrende funktionalitet, som fx at man sikrer adækvat dimensionering af materialerne, en tilfredsstillende kanttilslutning og ditto æstetik.

Udviklingen løber hurtigt på dette område, og nye typer kunstig intelligens udvikles stadig med henblik på at forbedre slutprodukterne (40). Efter designprocessen eksporteres den digitale fil og klargøres for produktion.

Nogle programmer har også mulighed for at udarbejde smile design på 2D- og 3D-fremstillinger af patientens ansigt for optimering af det æstetiske slutresultat (41).

Efter at designet af restaureringen er afsluttet, klargøres filen for den digitale produktion af det fysiske produkt.

CAD – dataassisteret produktion

CAD/CAM-fremstilling siger ikke noget om, hvordan restaureringerne fremstilles fysisk på laboratoriet: Der findes additive og subtraktive fremstillingsteknologier. Blandt de additive finder vi diverse typer 3D-printteknologier, og blandt de subtraktive finder vi fræseteknologierne. Anvendelsen af de forskellige teknologier er tæt knyttet til de materialer, der benyttes. Leverandørindustrien udvikler stadig nye materialer tilpasset disse fremstillingsmetoder. Der lægges mange resurser i at udvikle materialer, som kræver et minimum af manuel færdiggørelse efter CAM-processen. Det drejer sig hovedsagelig om monoli-

Postoperativt foto 5+



Fig. 2. D. Postoperativt foto af partiel krone i monolitisk LiSi2 på 5+.

Fig. 2. D. Postoperative photo of a monolithic LiSi2 veneerlay on tooth 15.

tiske materialer. De vigtigste grupper til mindre restaureringer er zirkonia og forskellige typer glaskeramer (42,43). Materialeudviklingen går i retning af stadig stærkere og mere æstetiske materialer til fremstilling af monolitiske restaureringer. Fig. 2D viser det postoperative resultat efter behandling med en partiel krone i monolitisk litiumdisilikat.

Produktionsudgiften for traditionelle todelte restaureringstyper med en kerne, som påbrændes et dækkeram, vil være højere end for monolitiske restaureringer. De traditionelle todelte restaureringstyper kræver også fremstilling af en model for at opbygge kontaktpunkter mod nabetænderne. I produktioner, hvor det protetiske arbejde er baseret på et intraoralt scan, vil denne model i de fleste tilfælde blive 3D-printet. De 3D-printede modeller er arbejdskrævende, kostbare og vanskelige at producere med høj nøjagtighed (44). Det er derfor ønskeligt

at eliminere modellerne i produktionen af de mindre protetiske restaureringer.

Fræseteknologierne kan fremstille nøjagtigt tilpassede monolitiske restaureringer; men maskinerne kræver meget vedligeholdelse for de tandtekniske laboratorier. Flere af de aktuelle materialer fræses derfor ud, før de gennemgår en sintringsproces. Subtraktive fræseteknologier er også mindre miljøvenlige end additive processer, da restaureringerne fræses ud af blokke, hvor der vil være et materialeoverskud i tillæg til det materiale, som fræses bort. Dette er desuden en begrænsning i forhold til muligheden for fremstilling af interne geometrier i objekterne. Dette har en effekt på de anbefalede præparationsteknikker, da det er problematisk at fræse intern geometri under 1 mm (45,46). Det anbefales at afrunde skarpe kanter på stubben, så tilslutningen mellem den fræsede krone og stubben bliver så optimal som muligt.

Additive 3D-printteknologier vil sikkert få et større potentiale i fremtiden. Man kan 3D-printe både metaller, polymerer og zirkonia (47). Materialespildet er mindre, og maskinerne kræver ikke så meget vedligeholdelse som fræs maskinerne. Man kan også fremstille mere kompliceret intern geometri. Der er i dag problemer i relation til æstetik, abrasionsresistens og dimensional nøjagtighed for protetiske erstatninger, der er fremstillet på 3D-printere (48).

KONKLUSIONER

Det fulde potentiale i den digitale produktionslinje er stadig under udvikling. Der sker en voldsom udvikling inden for odontologisk teknologi og software. En optimal anvendelse af teknologierne vil kunne optimere samarbejdet mellem patient, tandtekniker og tandlæge og sikre et godt slutresultat. For de konventionelle, mindre, protetiske restaureringer er intraoral scanning et ligeværdigt alternativ til de analoge aftryk. For større protetiske rehabiliteringer bør man indtil videre fortsat benytte konventionelle aftryksmaterialer for at sikre en optimal gengivelse af den intraorale situation. ♦ ▶

ABSTRACT (ENGLISH)

INTRAORAL SCANNING AND DENTAL CAD/CAM: IS THE ERA OF TRADITIONAL ANALOG METHODS OVER?

Digitisation has changed the way we live, work and communicate. It has led to an increase in productivity, efficiency, and innovation, but also challenges such as privacy, security and digital inequality in different parts of the world.

Digitisation is a process that involves the use of digital tools and methods to improve or change the way in which various tasks are conducted. In the dental industry, digitisation has led to many changes in diagnostics, clinical procedures, interaction with patients and administration. Digitisation has led to improved treatment methods, new materials, increased patient safety and better patient participation.

The digital transformation in the dental health field has had three foci: CAD / CAM systems, imaging technologies and administration systems for dental practices. Development in these areas has been driven forward by the opportunities

provided by more powerful computers and by the desire to rationalise operations in the dental health industry.

Intraoral scanners are increasingly popular among dentists. Their accuracy, speed and ease of use have developed drastically during the last 10 years. Even though there are differences between different scanners, most of them can reproduce a single abutment tooth with a reasonable accuracy. CAD/CAM production of prosthetic restorations has become dominant in the dental industry in recent years. This is primarily a result of a desire for a more rational and more economical operation, but also a result of technology development in general. Changing treatment needs and the patients' desire for more aesthetic restorations have influenced these developments. Conversion from the traditional craft-based production has led to extensive changes in operations and competence needs in the dental technology industry.

LITTERATUR

- Mahmood DJH, Braian M, Larsson C et al. Production tolerance of conventional and digital workflow in the manufacturing of glass ceramic crowns. *Dent Mater* 2019;35:486-94.
- Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry – State of the art. *Oper Dent* 2020;45:30-40.
- Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G et al. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Opt Lasers Eng* 2014;54:203-21.
- Richert R, Goujat A, Venet L et al. Intraoral scanner technologies: a review to make a successful impression. *J Healthc Eng* 2017;2017:1-9.
- Mangano F, Gandolfi A, Luongo G et al. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health* 2017;17:149.
- Hasanzade M, Aminikhah M, Afrashtehfar KI et al. Marginal and internal adaptation of single crowns and fixed dental prostheses by using digital and conventional workflows: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2021;126:360-8.
-
- Mörmann WH, Brandestini M, Lutz F et al. Chairside computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int* 1989;20:329-39.
- Molin M, Karlsson S. The fit of gold inlays and three ceramic inlay systems. A clinical and in vitro study. *Acta Odontol Scand* 1993;51:201-6.
- Molin MK, Karlsson SL. A randomized 5-year clinical evaluation of 3 ceramic inlay systems. *Int J Prosthodont* 2000;13:194-200.
- Gallardo YR, Bohner L, Tortamano P et al. Patient outcomes and procedure working time for digital versus conventional impressions: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2018;119:214-9.
- Sivaramakrishnan G, Alsobaiei M, Sridharan K. Patient preference and operating time for digital versus conventional impressions: a network meta-analysis. *Aust Dent J* 2020;65:58-69.
- Manicone PF, De Angelis P, Rella E et al. Patient preference and clinical working time between digital scanning and conventional impression making for implant-supported prostheses: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2022;128:589-96.
- Siqueira R, Galli M, Chen Z et al. Intraoral scanning reduces procedure time and improves patient comfort in fixed prosthodontics and implant dentistry: a systematic review. *Clin Oral Investig* 2021;25:6517-31.
- Nedelcu R, Olsson P, Nystrom I, Thor A. Finish line distinctness and accuracy in 7 intraoral scanners versus conventional impression: an in vitro descriptive comparison. *BMC Oral Health* 2018;18:27.
- Braian M, Wennerberg A. Trueness and precision of 5 intraoral scanners for scanning edentulous and dentate complete-arch mandibular casts: a comparative in vitro study. *J Prosthet Dent* 2019;122:129-36 e2.
- Morsy N, El Kateb M, Azer A et al. Fit of zirconia fixed partial dentures fabricated from conventional impressions and digital scans: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2023;130:28-34.
- Bandiaky ON, Le Bars P, Gaudin A et al. Comparative assessment of complete-coverage, fixed tooth-supported prostheses fabricated from digital scans or conventional impressions: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2022;127:71-9.
- Gavounelis NA, Gogola CC, Halaizonetis DJ. The effect of scanning strategy on intraoral scanner's accuracy. *Dent J* 2022;10:123.
- Chen Y, Zhai Z, Watanabe S et al. Understanding the effect of scan spans on the accuracy of intraoral and desktop scanners. *J Dent* 2022;124:104220.
- Waldecker M, Rues S, Behnisch R et al. Effect of scan-path length on the scanning accuracy of completely dentate and partially edentulous maxillae. *J Prosthet Dent* 2022;131:146-54.
- Revilla-León M, Kois DE, Kois JC. A guide for maximizing the accuracy of intraoral digital scans. Part 1: operator factors. *J Esthet Restor Dent* 2023;35:230-40.
- Abduo J, Eleyoufi M. Accuracy of intraoral scanners: a systematic review of influencing factors. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2018;26:101-21.
- Vitai V, Németh A, Sólyom E et al. Evaluation of the accuracy of intraoral scanners for complete-arch scanning: a systematic review and network meta-analysis. *J Dent* 2023;137:104636.
- Papaspyridakos P, Vazouras K, Chen YW et al. Digital vs conventional implant impressions: a sys-

- tematic review and meta-analysis. *J Prosthodont* 2020;29:660-78.
26. Zhang YJ, Shi JY, Qian SJ et al. Accuracy of full-arch digital implant impressions taken using intraoral scanners and related variables: a systematic review. *Int J Oral Implantol (Berl)* 2021;14:157-79.
 27. Mizumoto RM, Yilmaz B. Intraoral scan bodies in implant dentistry: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2018;120:343-52.
 28. Sanda M, Miyoshi K, Baba K. Trueness and precision of digital implant impressions by intraoral scanners: a literature review. *Int J Implant Dent* 2021;7:97.
 29. Paspaspyridakos P, Bedrossian EA, Ntovas P et al. Reverse scan body: The scan pattern affects the fit of complete arch prototype prostheses. *J Prosthodont* 2023;32:186-91.
 30. Pozzi A, Carosi P, Gallucci GO et al. Accuracy of complete-arch digital implant impression with intraoral optical scanning and stereophotogrammetry: an in vivo prospective comparative study. *Clin Oral Implants Res* 2023;34:1106-17.
 31. Alrumaih HS. Clinical applications of intraoral scanning in removable prosthodontics: a literature review. *J Prosthodont* 2021;30:747-62.
 32. Akl MA, Mansour DE, Zheng F. The Role of Intraoral Scanners in the Shade Matching Process: a Systematic Review. *J Prosthodont* 2023;32:196-203.
 33. Czigola A, Róth I, Vitai V et al. Comparing the effectiveness of shade measurement by intraoral scanner, digital spectrophotometer, and visual shade assessment. *J Esthet Restor Dent* 2021;33:1166-74.
 34. Liberato WF, Barreto IC, Costa PP et al. A comparison between visual, intraoral scanner, and spectrophotometer shade matching: a clinical study. *J Prosthet Dent* 2019;121:271-5.
 35. Angelone F, Ponsiglione AM, Ricciardi C et al. Diagnostic applications of intraoral scanners: a systematic review. *J Imaging* 2023;9:134.
 36. Rekow ED. Digital dentistry: The new state of the art - Is it disruptive or destructive? *Dent Mater* 2020;36:9-24.
 37. Mishra SK, Nahar RV, Sonnahalli NK et al. Marginal gap and internal fit of fixed dental prostheses fabricated using intraoral vs extraoral scanning: a systematic review and meta-analysis. *Int J Prosthodont* 2023;36:91-103.
 38. Rizonaki M, Jacquet W, Bottenberg P et al. Evaluation of marginal and internal fit of lithium disilicate CAD/CAM crowns with different finish lines by using a micro-CT technique. *J Prosthet Dent* 2022;127:890-8.
 39. Liu CM, Lin WC, Lee SY. Evaluation of the efficiency, trueness, and clinical application of novel artificial intelligence design for dental crown prostheses. *Dent Mater* 2024;40:19-27.
 40. Yang J, Hao Z, Xu J et al. Fusion machine learning model predicts CAD/CAM ceramic colors and the corresponding minimal thicknesses over various clinical backgrounds. *Dent Mater* 2023. (Set 2023 februar). Tilgængelig fra: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37996303/>.
 41. Coachman C, Calamita MA, Sesma N. Dynamic Documentation of the smile and the 2D/3D digital smile design process. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2017;37:183-93.
 42. Leitão CIMB, Fernandes GVDO, Azevedo LPP et al. Clinical performance of monolithic CAD/CAM tooth-supported zirconia restorations: systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont Res* 2022;66:374-84.
 43. Spitznagel FA, Boldt J, Gierthmühlen PC. CAD/CAM ceramic restorative materials for natural teeth. *J Dent Res* 2018;97:1082-91.
 44. Park JM, Jeon J, Koak JY et al. Dimensional accuracy and surface characteristics of 3D-printed dental casts. *J Prosthet Dent* 2021;126:427-37.
 45. Kirsch C, Ender A, Attin T et al. Trueness of four different milling procedures used in dental CAD/CAM systems. *Clin Oral Investig* 2017;21:551-8.
 46. Tapie L, Lebon N, Mawussi B et al. Understanding dental CAD/CAM for restorations--accuracy from a mechanical engineering viewpoint. *Int J Comput Dent* 2015;18:343-67.
 47. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: a review. *Dent Mater* 2019;35:825-46.
 48. Della Bona A, Cantelli V, Britto VT et al. 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review. *Dent Mater* 2021;37:336-50.