

Thomas Klit Pedersen, Michel Dalstra, Paolo Cattaneo, Johan Blomlöf, Jytte Buhl, Sven Erik Nørholt, Birte Melsen

Anvendelse af digitale dentale og 3-D virtuelle modeller i ortodontiske, ortokirurgiske og rekonstruktive kirurgiske behandlinger

Planlægning af omfattende og komplicerede behandlinger indenfor ortodonti, ortognatkirurgi og rekonstruktiv facial kirurgi har altid været forbundet med en vanskelig arbejdsgang præget af forsøget på at forene forskelligartede registreringer til en fælles realistisk målsætning for de involverede specialer. Behandlingsplanen er central i disse behandlingsforløb, som udføres af et team repræsenterende forskellige specialer og skal derfor opfylde kravet til at formidle indtryk af behandlingens slutresultat, kommunikere detaljerne i hvordan målet opnås, interventionstræne og prædikere det forventede udfald. Udfærdigelse af behandlingsplanen er baseret på forskelligartede analyser af studiemodeller, røntgenbilleder og foto, som i nogen grad har kunnet kombineres til et såkaldt VTO (visual treatment objectives), hvor røntgenbilleder og modeller indgår til en tilnærmelsesvis tredimensionel fremstilling af behandlingsresultatet og også giver et indtryk af, hvilke ændringer der kræves for at opnå resultatet. Med udviklingen i computere og digitalisering

af røntgenbilleder, foto og modeller er det blevet muligt at fremstille det digitale VTO, som stadig sublimeres til at visualisere det ønskede behandlingsmål. Desuden kan der udvikles algoritmer til morphing dvs. en grafisk fremstilling med glidende overgang fra «før-billeder» til virtuelle «efter-billeder», af 3-D fotodata på baggrund af skeletale ændringer, men også forskellige trin i behandlingen kan visualiseres. Der vil være fokus på at kunne demonstrere effekten af de valgte metoder til opnåelse af det ønskede behandlingsmål, interventionstræne, forudsige effekten på bløddelene og at kunne journalisere det opnåede resultat. Videreudvikling vil kunne muliggøre design af apparatur til ortodontiske opgaver, templates til montering af osteosyntesematerialer (således anatomiske strukturer beskyttes) og fremstilling af kirurgiske skinner til angivelse af planlagt position af kæberne ved flytning og derved sikre korrekt position af proc. condylaris i kæbeledet. Fremstilling af implantater til rekonstruktion af manglende knogle og understøttelse af blødt væv er ligeledes et potentiale for den digitale teknik.

Forfattere

Thomas Klit Pedersen, (corresponding), professor MSO, overtandlæge, DDS, Ph.d., Afd. For Tand- mund- og kæbekirurgi, Aarhus Universitetshospital, Sektion for Ortodonti, Institut for Odontologi, Aarhus Universitet, thompede@rm.dk

Michel Dalstra, lektor, civilingeniør, Ph.d., Sektion for Ortodonti, Institut for Odontologi, Aarhus Universitet
michel.dalstra@odontologi.au.dk

Paolo Cattaneo, lektor, civilingeniør, Ph.d., Sektion for Ortodonti, Institut for Odontologi, Aarhus Universitet
paolo.cattaneo@odontologi.au.dk

Johan Blomlöf, docent, overtandlæge, DDS, Ph.d., Afd. For Tand- mund- og kæbekirurgi, Aarhus Universitetshospital, perbloml@rm.dk

Jytte Buhl, overtandlæge, DDS, Afd. For Tand- mund- og kæbekirurgi, Aarhus Universitetshospital, jyttbuhl@rm.dk

Sven Erik Nørholt, professor, overtandlæge, DDS, Ph.d., Afd. For Tand- mund- og kæbekirurgi, Aarhus Universitetshospital, Sektion for Oral Kirurgi, Institut for Odontologi, Aarhus Universitet, sven.erik.noerholt@rm.dk

Birte Melsen, professor emeritus, DDS, Dr.Odont, R.1, Sektion for Ortodonti, Institut for Odontologi, Aarhus, Universitet, birte.melsen@odontologi.au.dk

Optimale ortodontiske og ortognatkirurgiske behandlinger er baseret på præcis planlægning, prædiktion og behandlingsanalyse. Endvidere har kvalitetssikring og kommunikation med patienterne høj prioritet. Den digitale

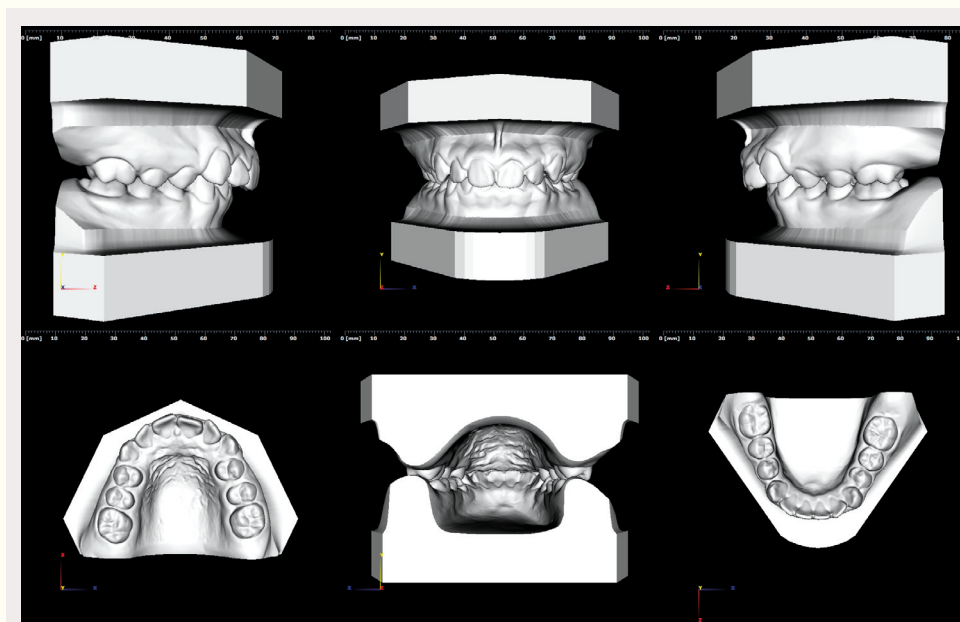
Hovedpunkter

- Digitalisering af dentale studiemodeller kan løse problemerne omkring opbevaring, holdbarhed og kopiering.
- 3-D fototeknik øger muligheden for vurdering af ansigtsmorfologi i forbindelse med ortognatkirurgisk planlægning.
- Digital planlægning af ortokirurgiske behandlinger kan afløse artikulatoren og dermed visualisere knogleinterferenser.
- Implantater og transplantater til rekonstruktion af ansigtet kan nøjagtigt fremstilles som kopier af virtuelle 3-D objekter.

teknologi har medført et paradigmeskifte indenfor behandlingsplanlægning og lagring af kliniske registreringer. Omkostningerne og omstændighederne ved opbevaring og kopiering af journalmateriale kan forbedres betydeligt og mulighederne for at dele informativt materiale som dentale modeller, foto og røntgenbilleder er langt enklere. Desuden er der et væsentligt potentiale i fusionering af de tre medier. Der er dog fortsat udfordringer vedrørende den kliniske anvendelse, der skal findes løsninger på. Implementering i behandlingsforløbet kræver ændringer i logistikken omkring røntgen, fremstilling af 3-D model, virtuel kirurgi og skinnedremstilling. Der skal være sikkerhed for et højt

Faktaboks

Digital fremstilling af 3-D modeller som gengiver tandbuer, okklusion, kæber, kranie og bløddeler har vundet indpas i planlægningen af ortodontiske, ortokirurgiske og rekonstruktive behandlinger. Dette åbner mulighed for et samlet datasæt, som gengiver de anatomiske forhold præcist. På grundlag heraf kan en 3-dimensional behandlingsplan udarbejdes, hvorved behandlingsprincipperne kan vurderes i forhold til realistisk udførelse. Behandlingsmålet kan visualiseres, de enkelte trin i interventionen kan planlægges og de nødvendige guide-skiner og templates fremstilles.

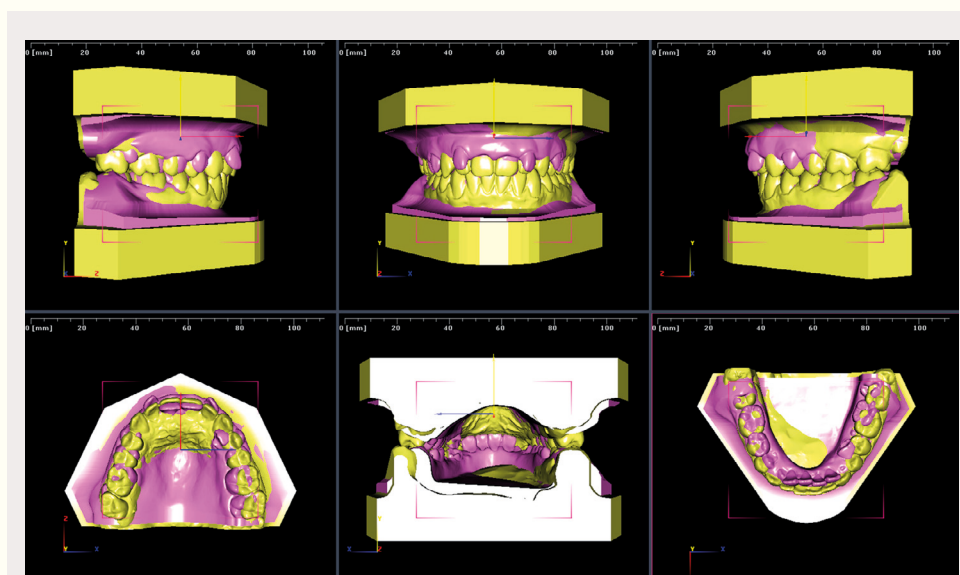


Figur 1. Standard fremstilling af digitalt modelsæt.

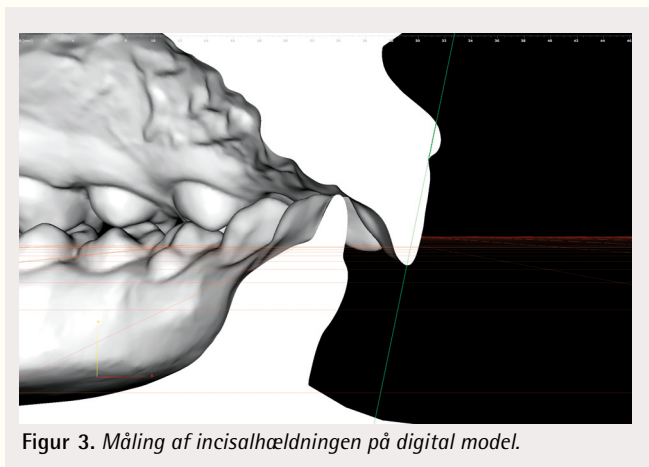
niveau af præcision. Der forekommer endvidere traditionsbetingede barrierer, som skal overkommes; mange klinikere vil stadig foretrække den fysiske fornemmelse af okklusion som gipsmodeller formidler frem for udelukkende at betragte de virtuelle modeller på en skærm. Der eksisterer adskillige digitale muligheder til erstatning af konventionelle gipsmodeller og foto. Digital planlægning af orthognatkirurgi og fremstilling af operationsskiner er muligt. Ligesom det er muligt individuelt at fremstille implantater, hvor der behøves rekonstruktion af knogledefekter, f.eks. udbygning af zygoma.

Digitale studie modeller

Digitale modeller (figur 1) blev introduceret omkring århundredeskiftet af det amerikanske firma OrthoCAD®, og de første publikationer var fokuseret på at validere metoden ved at sammenligne målinger foretaget på henholdsvis virtuelle modeller og gips modeller, der stadig blev regnet som «the gold standard». Reliabilitet og reproducerbarhed af målinger foretaget på gips og digitale modeller blev sammenlignet og det blev fastslået at digitale modeller var et anbefalelsesværdigt alternativ til gipsmodeller i relation til behandlingsplanlægning (1–3). Senere demonstrerede en række undersøgelser, at både intra- og inter-



Figur 2. Superimponering på rugae palatina af digitale modeller viser okklusion og tandstilling før (lilla) og efter (gul) ortodontisk behandling.



Figur 3. Måling af incisalhældningen på digital model.

eksaminer reproducerbarhed var signifikant bedre i relation til målinger udført på digitale modeller end på konventionelle gips modeller (4–6).

Brugen af virtuelle modeller betød, at opbevaringsplads under og efter behandling blev overflødig. En anden fordel, var at risiko for beskadigelse og slid af modeller, ved gentagende brug (til undervisning etc.) var elimineret. Endelig blev muligheden for at «dele» modeller med flere behandlere i tilfælde af multi-disciplinære behandlinger fremhævet som en fordel (5; 7; 8).

De digitale modeller byder desuden på muligheden for at foretage en lang række analyser, der ikke lader sig gøre på konventionelle modeller. Behandlingsinducerede ændringer kan visualiseres ved superimponering på rugae i ganen (figur 2). Ved at «skære» modellerne i forskellige planer vil det være muligt at fastslå incisivernes bucco-linguale inklinationer og dermed fastlægge hvilke ændringer, der er realistiske med væsentlig mindre metodefejl end hvis tilsvarende mål var udført på profilrøntgen billeder (9; 10) (figur 3). Brugen af virtuelle modeller kan således i stort omfang erstatte cephalometriske undersøgelser, hvor mange beslutninger er baseret på incisivernes hældning kombineret med bløddelsprofilen. I relation til forskning udgør digitale modeller et værdifuldt materiale, der i relation til mange problemstillinger overgår profilrøntgen og studiemodeller. Ved at observere, hvad der sker i den tidlige voksne alder i forhold til de digitale modeller, muliggøres en vurdering af kriterierne for udvælgelse til ortodonti.

Scanning af modeller er aktuelt «State of the Art», imidlertid ligger der et potentiale i intraoral scanning, som med tiden kan afløse konventionel aftrykstagning.

Brugen af digitale modeller i relation til analyser af efterbehandlingsundersøgelser har endnu ikke været genstand for megen opmærksomhed. De virtuelle modeller med simulerede behandlingsmål kan udleveres til patienten og henvisende tandlæge. Eftersom det ortodontisk behandlings resultat aldrig kan forventes at være stabilt, da også ubehandlede tandsæt ændrer sig kontinuerligt ikke alene hos børn, men også hos voksne (11; 12), bør stabilitet derfor snarere betragtes som en «vedligeholdelsesmulig – maintainable» situation, og de fleste behandlingsresultater vil kræve vedligeholdelse af det opnåede resultat, dvs.

vedligeholdelse af tænder og parodontium, men også i mange tilfælde en mekanisk retention. Ved at præsentere patienten og den praktiserende tandlæge for det opnåede resultat i form af en digital model er ansvaret for vedligeholdelsen placeret, og patient og tandlæge har mulighed for tage passende forholdsregler.

3-D foto

2-D foto er udbredt til vurdering af ansigtets morfologi og er en vigtig klinisk registrering i såvel behandlingsplanlægning som forskning indenfor ortodonti og ortognatkirurgi (13; 14). Gennem det sidste årti er der udviklet forskellige 3-D applikationer til fremstilling af overflader, hvor formålet stadig er at vurdere ansigtsform og morfologi men på en langt mere realistisk måde (15; 16). De to mest anvendte teknikker i dag er 3-D laser scanning og 3-D fototeknik. Sidstnævnte er blevet førstevalg på grund af præcision, hurtighed og realistisk gengivelse af bløddelsstrukturer (17). I modsætning til fototeknikken benytter en laserscanning sig af en laserstråle, som skal vandre over hele ansigtets overflade, hvilket er en relativ langsom proces med risiko for bevægelsesartefakter. Endvidere kan der være tale om skadevirkning på patientens øjne ved anvendelse af laser. 3-D fototeknik anvender forbundne kameraer, to eller flere, parvist konfigurerede og med struktureret lyssætning, som giver mulighed for hurtig kortlægning (2 ms) af 3-D koordinater og præcis fremstilling overfladestrukturen (18).

Virtuel planlægning af ortognatkirurgi

Ortognatkirurgisk planlægning, som omfatter forskydning af en eller begge kæber, udføres traditionelt med indstøbning af over- og underkæbemodeller i artikulator, hvor flytninger og fremstilling af operationsskinner kan foregå. Det er af stor betydning, at modellerne placeres præcist i forhold til Frankfort horisontalplanet og kæbeleddene, og at relationerne mellem maxil og mandibel er korrekte. Ved montering af overkæbemodellen i artikulatoren anvendes ansigtsbueregistrering, der imidlertid er forbundet med flere fejlkilder, som påvirker præcisionen (19), specielt når der er tale om udtalte ansigtsasymmetrier. Oprindeligt blev 3-D planlægning baseret på CT-scanninger, som er forbundet med høj strålingsdosis. Med introduktionen af conebeam CT-scanninger (CBCT) er det blevet muligt at reducere både stråledosis

1. Aftrykstagning, sammenbid, CBCT-scanning, klinisk vurdering

2. Initial planlægning baseret på klinisk vurdering og CBCT-scanning

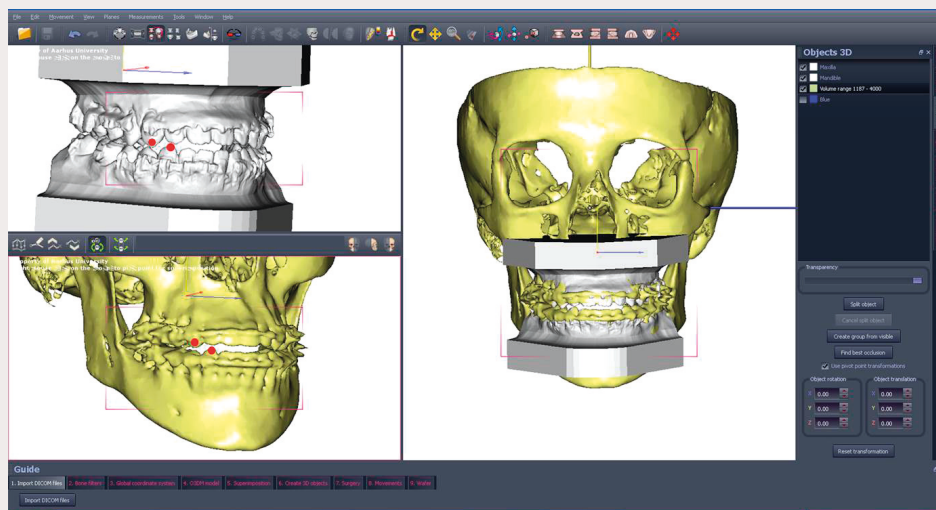
3. Dannelse af 3D model, fusionering med digitale modeller

4. Dannelse af osteotomilinjier

5. Flytning af segmenterne efter initiale plan

6. Fremstilling af virtuel skinne

Figur 4. De seks trin i planlægningen af virtuel ortognatkirurgi og fremstilling af operationsskinne.



Figur 5. Superimponering af digitale modeller i et 3-D objekt af et kranie. Fem til otte let genkendelige punkter f.eks. spidsen af hjørnetandens cuspides, to er her angivet med rødt mærke, bliver brugt til punktregistrering for både den maxillære og den mandibulære model.

sis og omkostninger betydeligt. CBCT gengiver dog ikke tænderne med tilstrækkelig nøjagtighed, og den største udfordring i udviklingen af et pålideligt 3-D system, har været at få fremstillet tændernes konturer præcist nok til fabrikation af en operationsskinne til styring af kæbeflytningerne peroperativt. Gateno et al. (20) demonstrerede imidlertid, at fremstillingen af en STL (stereolitografisk) baseret operationsskinne ikke klinisk kunne adskilles fra en konventionel fremstillet. Præcise okklusionsrelieffer kan opnås ved at fusionere den 3-dimensionelle virtuelle kranie-model med et datasæt, som nøjagtigt gengiver tænderne. Dette kan foretages enten ved hjælp af en CBCT scanning med høj opløselighed af aftryk af tandbuerne (21) eller ved at indsætte digitale modeller (22) og derved skabe en komposit 3D model bestående af kraniet og de digitalt fremstillede tandbuer. Ved kombinationen af digitale modeller og CBCT udnyttes den høje opløsning af den digitale model og den lave røntgen dosis ved CBCT til at optimere detaljeringen af det nødvendige kirurgiske indgreb (23; 24). Reproducerbarheden af denne metode overstiger klart metodefejlen forbundet alene med artikulatormontagen brugt i forbindelse med gipskirurgi (25). Anvendelse af 3-D medfører en betydelig øgning af information betydeligt vedrørende de aktuelle ændringer i knoglesegmenternes position, hvor interferenser eller for store afstande mellem knoglesegmenterne

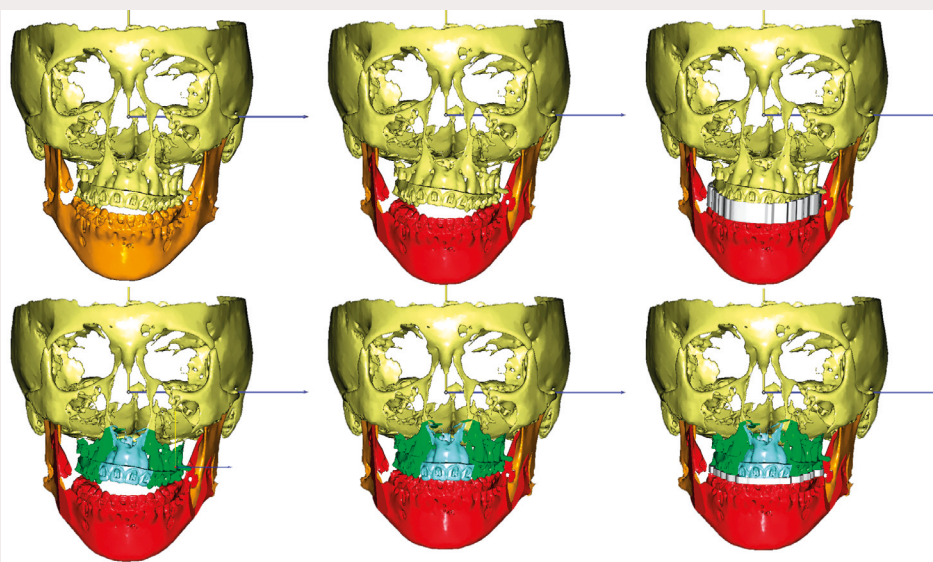
bliver tydeliggjorte. Derved sikres en højere grad af realistiske kæbeflytninger allerede i planlægningsfasen. Til en vis grad svarer anvendelsen af en virtuel 3-D model til anvendelsen af fysiske 3-D modeller, som har været anvendt i mere end 10 år på Kæbekirurgisk afd. til såvel rekonstruktive som korrektive opgaver.

Virtuel planlægning af ortognatkirurgi kræver tydeligvis en ændring i den konventionelle måde, de forskellige trin i planlægningen opfattes på, og det er af væsentlig betydning, at validiteten af de udførte flytninger kan verificeres. Det er dog klart, at der ligger store potentielle for-

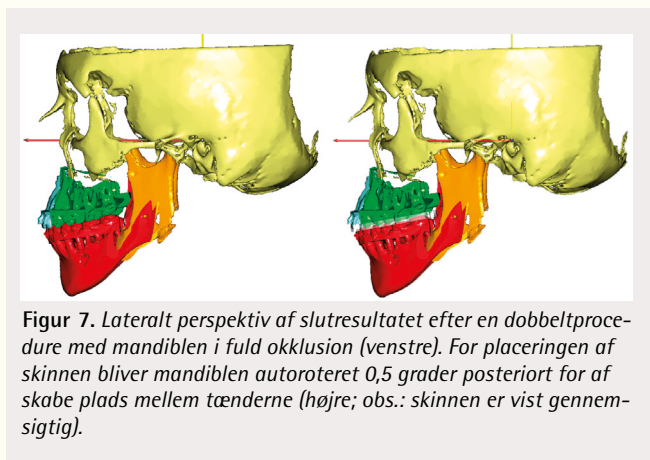
dele ved anvendelse af virtuel planlægning, da flere fejlkilder ved planlægningen kan elimineres, når kombination af planlægning i artikulatormontagen og 2-D cephalometri ikke længere er nødvendig.

Kæbekirurgisk afd. og Sektion for Ortodonti har gennem nogle år samarbejdet om at udvikle en metode til virtuel planlægning og fremstilling af STL baserede operationsskinner. Systemet er baseret på CBCT scanning og virtuelle modeller. Der anvendes O3DM Surgical Planning fra O3DM (OrtoLab, Czeszochowa, Poland). Planlægningen omfatter 6 trin (figur 4).

På basis af alginataftryk af over-og underkæbetandbuen fremstilles virtuelle modeller. Sammenbid tages med condylerne placeret korrekt i kæbeleddene og med en tykkelse, der akkurat til-



Figur 6. De forskellige trin i en dobbeltprocedure. Top/venstre: prækirurgisk situation; top/midt: resultat efter sagittal split og flytning af mandiblen; top/højre: placering af intermedier skinne; bund/venstre: tredeling af maxillen; bund/midt: resultat efter flytning af maxilalsegmenterne og autorotation af mandiblen; bund/højre: placering af slutskinnen.



Figur 7. Lateral perspektiv af slutresultatet efter en dobbeltprocedure med mandiblen i fuld okklusion (venstre). For placeringen af skinnen bliver mandiblen autoroteret 0,5 grader posterior for af skabe plads mellem tænderne (højre; obs.: skinnen er vist gennem-sigtig).

lader en anelse afstand mellem tænderne og indenfor rotationsbevægelsen i kæbeledene. Herved undgås føringer ved sammenbid, idet okklusionen før kirurgien ikke er entydig, og det bliver muligt at adskille den virtuelle over-og underkæbemodel. CBCT-scanningen tages med dette sammenbid for at sikre sammenfald af condylens position med den klinisk fastlagte.

Der foretages herefter en initial planlægning i overensstemmelse med de retningslinjer, der er besluttet ved den prækirurgiske konference.

3-D modellen genereres og sammensættes med de virtuelle modeller af tandbuerne (figur 5). Dette foregår i programmet ved at udvælge fem til otte, let genkendelige punkter på både 3-D modellen af kraniet og på den digitale model, idet de to objekter vises samtidigt på skærmen og simultant kan roteres og forskydes

efter behov. 3-D modellen af kraniet og de to digitale modeller sammensættes derved til ét 3-D objekt.

Osteotomilinjerne angives og 3-D modellen deles i de relevante objekter. Hvis den ortokirurgiske plan omfatter osteotomi på mandiblen og maxillen, vil der være tale om tre objekter: mandibel, maxil og kraniet. I mange tilfælde vil der yderligere være tale om deling af maxillen, således der optræder eksempelvis fem objekter: mandibel, tre maxilsegmenter og kraniet (figur 6).

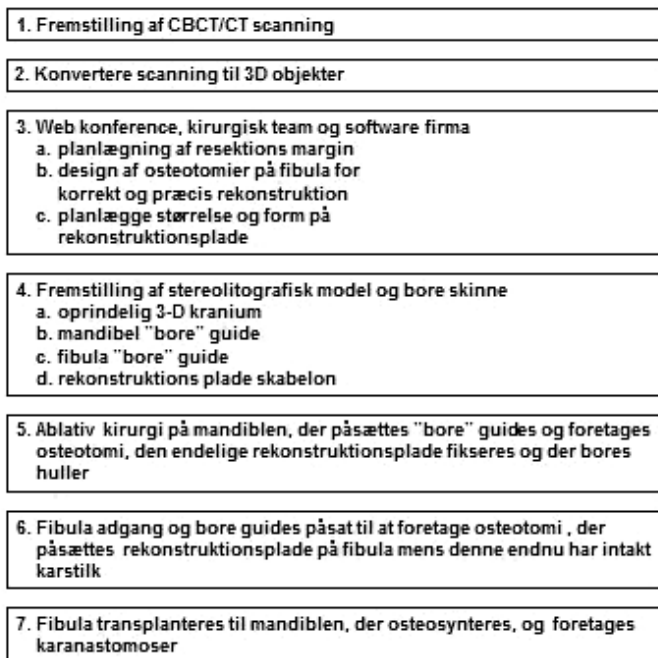
De frigjorte segmenter kan nu flyttes efter den initiale plan, og kirurgen kan kontrollere flytningerne med hensyn til interferenser eller rumdannelse mellem segmenterne, ligesom planens overordnede mål kan vurderes og konfereres med ortodontisten. Der er i programmet indbygget en rotationsbevægelse i kæbeledene, således der kan foretages autorotation af mandiblen efter behov. Dette er nødvendigt ved fremstilling af operationsskinnen, hvor mandiblen autoroterer let posterior, således der kan defineres et rum mellem tandbuerne, hvis datasæt angiver operationsskinnens udformning (figur 7).

Systemet er operationelt og anvendes på langt de fleste af Kæbekirurgisk afd.'s ortognatkirurgiske patienter. Det er planen, at der skal udvikles en mulighed for at inddrage 3D foto, således bløddelsprofilen kan genereres, og der kan udvikles en algoritme, der forudsiger ændringerne i bløddelsprojektionerne. Den virtuelle planlægning vil potentielt kunne udvikles til også at danne basis for fremstilling af templates, der kan angive flytninger på knogleniveau og indikere den præcise position af skruer og andet osteosyntesemateriale.

Rekonstruktiv kirurgi

Den tredimensionelle rekonstruktion af defekter i ansigts-skelettet efter ablation af benigne eller maligne tumorer, efter traumer og ved udtalte asymmetrier er en stor udfordring. Anvendelse af 3-D teknologi har udvidet mulighederne for tilpasning af transplantater og fremstilling af patientspecifikke implantater i fx. polyetheretherketon (PEEK). PEEK er et termoplastisk biomateriale, som er formstabilt og biologisk inert. Materialet er radiolucent på røntgen og giver ikke artefakter ved røntgen- eller magnet resonans undersøgelse. Det påvirkes ikke af strålebehandling f.eks. gammastråling. Materialet bruges indenfor traume- og ortopædisk kirurgi (26).

Rekonstruktioner efter ablativ tumorkirurgi foregår i et interdisciplinært samarbejde mellem



Figur 8. Flowdiagram ved rekonstruktion med fibula transplantat.

onkologer, plastik kirurger, ØNH læger og kæbekirurger, og den prækirurgiske behandlingsplanlægning kan faciliteres ved hjælp af virtuel kirurgi, hvor man konverterer CT/CBCT billeder til 3-D objekter, som tillader visualisering af kirurgien ved team konferencerne.

Ved rekonstruktion af f.eks. mandiblen efter tumorkirurgi anvendes der ofte et mikrovaskulært fibulatransplantat. Det er vanskeligt at foretage korrekt osteotomi på fibula og efterfølgende tilpasse transplantatet i tre dimensioner med tæt knoglekontakt samtidig med korrekt condylposition. Ved den virtuelle planlægning kan der fremstilles kirurgiske guides, som angiver osteotomilinjerne svarende til mandiblen og «bore» guides til fibula, hvor den præcise længde, vinkel og knæk på fibulatransplantatet angives. Resektions- og osteotomilinjere kan planlægges og rekonstruktionsplader kan tilpasses præoperativt. Figur 8 viser flowdiagram anvendt ved rekonstruktion med f.eks. fibula transplantat (27).

Fordelene ved anvendelse af virtuel kirurgi er samtidig, at den præcise størrelse på fibula transplantatet kan fastlægges, hvorved patienten spares for mere ekstensiv kirurgi ved udtagelsen af fibula. Desuden fås bedre knoglekontakt mellem osteotomilinjerne, da transplantatet er meget præcist udskåret. Donorstedets morbiditet bliver lavere, da iskæmitiden nedsættes, og anvendelsen af bore-guides og for-bukkede plader resulterer i at operationstiden totalt nedsættes (27–29). Indlæggelses- og rekonvalescensperioden nedsættes tilsvarende.

Ved store ansigtsasymmetrier kan den virtuelle 3D model anvendes til at estimere volumen af et individuelt fremstillet implantat eller lade den virtuelle model spejle den uafficerede side over den afficerede. Efter at have subtraheret siderne fra hinanden fremstår asymmetrien som forskel i volumen. Denne volumenforskel kan bruges til, via computersoftware, at forme et patientspecifikt PEEK implantat, som kan indopereres direkte på knoglen for at kompensere for asymmetrien. Denne teknik kan også bruges til fremstilling af patientspecifikt osteosyntesemateriale i titanium, fx. ved rekonstruktion af store blow-out frakturer i orbita.

Den stadige udvikling af soft-ware vil fremover muliggøre design af apparatur til ortodontiske flytninger og forskellige hjælpemidler anvendt under udførelsen af kirurgien. Der kan fremstilles templates, som angiver positionen af skruer til osteosyntese, som med sikkerhed placeres uden risiko for tilstødende anatomiske strukturer. Osteosyntesemateriale kan tænkes fremstillet individuelt og således fungerer som entydig indikator for den korrekte position af knoglesegmenterne og korrekt stilling af kæbeledet.

Deklaration

O3DM Surgical Planning fra O3DM er udviklet i et samarbejde mellem Sektion for Ortodonti, Aarhus Universitet, Kæbekirurgisk afd., Aarhus Universitetshospital og OrtoLab, Czeszochowa, Polen.

English summary

Pedersen TK, Dalstra M, Cattaneo P, Blomlöf J, Buhl J, Nørholt SE, Melsen B

The use of digital casts and 3-D models in orthodontics, orthognathic and reconstructive surgery

Nor Tannlegeforen Tid. 2014; 124: 10–16.

Detailed planning in relation to extensive and difficult orthodontics, orthognathic surgery and facial reconstructive treatment involve a complicated workflow, attempting to merge heterogenous registrations such as dental plaster casts, 2-dimensional radiographs and conventional photos into a common realistic treatment goal for the involved specialities.

Performed by a team of different specialities treatment planning is essential for the treatment course, and has to accomplish standards related to communication of end result and details in treatment execution, training of intervention and prediction of the final outcome. Treatment planning has traditionally been based on analysis of plaster study casts, radiographs and photo. Attempts have been made to merge these different types of registrations into a VTO (visual treatment objectives) rendering a three-dimensional image of the treatment result but with a limited information of the changes demanded to obtain the final goals. The introduction of the conebeamCT scanner, the development of computer software and virtual study casts combined with three-dimensional photos has made it possible to create a true digital VTO, improving not only the visualization of the treatment goal, making it possible to develop algorithms morphing three-dimensional photodata on skeletal modifications, but also to establish the principles for reaching the result, interventional training, prediction of the effect on soft tissue and journalize the outcome for further evaluation and quality assessment. Further development will result in the design of appliance for orthodontic purposes, templates and guide splints for planned skeletal movements and for support during the surgical procedure resulting in correct position of material for osteosynthesis in relation to the anatomy and the bony segments i.e. the temporomandibular condyle. In addition, fabrication of implants for reconstruction of lacking bone and adjustments of bonetransplants is an issue for digital three-dimensional technique.

Litteratur

1. Cha BK, Choi JI, Jost-Brinkmann PG, Jeong YM. Applications of three-dimensionally scanned models in orthodontics. *Int J Comput Dent* 2007 Jan; 10 (1): 41–52.
2. Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003 Jul; 124 (1): 101–5.
3. Whetten JL, Williamson PC, Heo G, Varnhagen C, Major PW. Variations in orthodontic treatment planning decisions of Class II patients between virtual 3-dimensional models and traditional plaster study models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006 Oct; 130 (4): 485–91.
4. Dalstra M, Melsen B. From alginate impressions to digital virtual models: accuracy and reproducibility. *Journal of Orthodontics*. In press 2007.

5. Leifert MF, Leifert MM, Efstratiadis SS, Cangialosi TJ. Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009 Jul; 136 (1): 16–4.
6. Mullen SR, Martin CA, Ngan P, Gladwin M. Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007 Sep; 132 (3): 346–52.
7. Asquith J, Gillgrass T, Mossey P. Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study. *Eur J Orthod* 2007 Oct; 29 (5): 517–22.
8. Mangiacapra R, Butti AC, Salvato A, Biagi R. Traditional plaster casts and dental digital models: intra-examiner reliability of measurements. *Prog Orthod* 2009; 10 (2): 48–53.
9. Gracco A, Buranello M, Cozzani M, Siciliani G. Digital and plaster models: a comparison of measurements and times. *Prog Orthod* 2007; 8 (2): 252–9.
10. Horton HM, Miller JR, Gaillard PR, Larson BE. Technique comparison for efficient orthodontic tooth measurements using digital models. *Angle Orthod* 2010 Mar; 80 (2): 254–61.
11. Behrents RG. The biological basis for understanding craniofacial growth during adulthood. *Prog Clin Biol Res* 1985; 187: 307–19.
12. Behrents RG, Harris EF, Vaden JL, Williams RA, Kemp DH. Relapse of orthodontic treatment results: growth as an etiologic factor. *J Charles H Tweed Int Found* 1989 Apr; 17: 65–80.
13. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning. Part I. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993 Apr; 103 (4): 299–312.
14. Peck H, Peck S. A concept of facial esthetics. *Angle Orthod* 1970 Oct; 40 (4): 284–318.
15. Jacobs RA. Three-dimensional photography. *Plast Reconstr Surg* 2001 Jan; 107 (1): 276–7.
16. Marcus JR, Domeshek LF, Das R, Marshall S, Nightingale R, Stokes TH, et al. Objective three-dimensional analysis of cranial morphology. *Eplasty* 2008; 8: e20.
17. Plooi J, Maal TJ, Haers P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Berge SJ. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2011 Apr; 40 (4): 341–52.
18. Lane C, Harrell W, Jr. Completing the 3-dimensional picture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008 Apr; 133 (4): 612–20.
19. Wolford LM, Galiano A. A simple and accurate method for mounting models in orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2007 Jul; 65 (7): 1406–9.
20. Gateno J, Xia J, Teichgraber JF, Rosen A, Hultgren B, Vaden T. The precision of computer-generated surgical splints. *J Oral Maxillofac Surg* 2003 Jul; 61 (7): 814–7.
21. Swennen GR, Mollemans W, De CC, Abeloos J, Lamoral P, Lip-pens F, et al. A cone-beam computed tomography triple scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model appropriate for orthognathic surgery planning. *J Craniofac Surg* 2009 Mar; 20 (2): 297–307.
22. Gateno J, Xia JJ, Teichgraber JF. New Methods to Evaluate Craniofacial Deformity and to Plan Surgical Correction. *Semin Orthod* 2011 Sep 1; 17 (3): 225–34.
23. Swennen GR, Mommaerts MY, Abeloos J, De CC, Lamoral P, Neyt N, et al. The use of a wax bite wafer and a double computed tomography scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model. *J Craniofac Surg* 2007 May; 18 (3): 533–9.
24. Swennen GR, Mollemans W, De CC, Abeloos J, Lamoral P, Lip-pens F, et al. A cone-beam computed tomography triple scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model appropriate for orthognathic surgery planning. *J Craniofac Surg* 2009 Mar; 20 (2): 297–307.
25. Ellis E, III, Tharanon W, Gambrell K. Accuracy of face-bow transfer: effect on surgical prediction and postsurgical result. *J Oral Maxillofac Surg* 1992 Jun; 50 (6): 562–7.
26. Kurtz SM, Devine JN. PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials* 2007 Nov; 28 (32): 4845–69.
27. Sink J, Hamlar D, Kademani D, Khariwala SS. Computer-aided stereolithography for presurgical planning in fibula free tissue reconstruction of the mandible. *J Reconstr Microsurg* 2012 Jul; 28 (6): 395–403.
28. Hirsch DL, Garfein ES, Christensen AM, Weimer KA, Saddeh PB, Levine JP. Use of computer-aided design and computer-aided manufacturing to produce orthognathically ideal surgical outcomes: a paradigm shift in head and neck reconstruction. *J Oral Maxillofac Surg* 2009 Oct; 67 (10): 2115–22.
29. Roser SM, Ramachandra S, Blair H, Grist W, Carlson GW, Christensen AM, et al. The accuracy of virtual surgical planning in free fibula mandibular reconstruction: comparison of planned and final results. *J Oral Maxillofac Surg* 2010 Nov; 68 (11): 2824–32.

Adresse: Thomas Klit Pedersen, e-post: thompede@rm.dk

Artikkelen har gjennomgått ekstern faglig vurdering.

Pedersen TK, Dalstra M, Cattaneo P, Blomlöf J, Buhl J, Nørholt SE, Melsen B. Anvendelse af digitale dentale og 3-D virtuelle modeller i ortodontiske, ortokirurgiske og rekonstruktive kirurgiske behandlinger. *Nor Tannlegeforen Tid*. 2014; 124: 10–16.