

ABSTRACT

Virtuel behandlingsplanlægning anvendes på alle kæbekirurgiske afdelinger i Danmark. Mulighederne udnyttes bl.a. inden for korrektiv kirurgisk behandling af vækstbetingede kæbeanomalier og kraniofaciale anomalier, ansigtstraumatologi samt kirurgisk behandling af benigne og maligne tumorer med efterfølgende rekonstruktion. Ingeniørkompetencer benyttes i denne sammenhæng enten in-house eller i samarbejde med kommercielle udbydere.

Det forudses, at alle større hospitaler inden for den nærmeste fremtid etablerer enheder til varetagelse af disse funktioner med tæt tværfagligt samarbejde med ingeniører. Ikke bare til virtuel planlægning inden for det kæbekirurgiske speciale, men inden for alle skærende specialer, hvor kirurgisk simulering og brug af patientspecifikke implantater er relevant. Kæbekirurgien må anses for foregangsspecialer i den sammenhæng.

EMNEORD Virtual surgical planning | maxillofacial surgery | three dimensional planning



Korrespondanceansvarlig førsteforfatter:
JENS JØRGEN THORN
jens.thorn@rsyd.dk

Virtuel planlægning af maxillofacial kirurgi

JENS JØRGEN THORN, ledende overtandlæge, specialtandlæge i tand-, mund- og kæbekirurgi, ph.d., Kæbekirurgisk Afdeling, Sydvestjysk Sygehus Esbjerg, Syddansk Universitetshospital

MICHAEL BOELSTOFT HOLTE, udviklingschef, lektor, civilingeniør, ph.d., Kæbekirurgisk Afdeling, Sydvestjysk Sygehus Esbjerg, Syddansk Universitetshospital, 3D laboratoriet, Sydvestjysk Sygehus Esbjerg, Syddansk Universitetshospital

SVEN ERIK NØRHOLT, klinisk professor, overtandlæge, specialtandlæge i tand-, mund- og kæbekirurgi, ph.d., Afdeling for tand-, mund- og kæbekirurgi, Aarhus Universitetshospital

THOMAS KOFOD, ledende overtandlæge, specialtandlæge i tand-, mund- og kæbekirurgi, ph.d., Afdeling for Kæbekirurgi, Rigshospitalet, Københavns Universitetshospital

► Accepteret til publikation den 6. april 2021

Tandlægebladet 2021;125:xxx-xxx

MAXILLOFACIAL KIRURGI HAR GENNEMGÅET EN RIVENDE UDVIKLING inden for de sidste årtier. Det skyldes ikke mindst udviklingen af mulighederne for digital manipulation og fortolkning af store datamængder i tre dimensioner. Dette har givet mulighed for nøjagtig 3-dimensionel (3d) gengivelse af anatomiske detaljer, virtuelt at planlægge de kirurgiske procedurer, at producere detaljerede modeller og kirurgiske guides samt muligheden for at kunne printe eller fræse patientspecifikke implantater. De fleste teknikker er taget i brug i udstrakt grad på de danske kæbekirurgiske afdelinger. Behandlingsmulighederne ligger fortrinsvis inden for den korrektive kirurgi af vækstbetingede kæbe- og kraniofaciale anomalier, traumebehandling og inden for såvel benign som malign tumorkirurgi og efterfølgende rekonstruktion (1-5).

Moderne 3d-analyse og kirurgisk planlægning har sine rødder i den 2-dimensionelle radiografi og klassisk cefalometri af ansigtsskelettet, som gradvist er overført til tre dimensioner i takt med udviklingen af Computer Tomografi (CT)-teknologien. Den teknologiske forskning og industri har sideløbende

åbnet mulighederne for print af 3d-objekter. Teknikkerne har åbenlyse fordele i form af bedre diagnostik, mere detaljeret planlægning og større kirurgisk præcision. Tidligere tiders analoge planlægning rummede mange muligheder for fejlskøn og unøjagtigheder i planlægningsfasen. Det samme gør sig gældende med de nye teknikker, såfremt de enkelte trin ikke gennemføres med stor omhyggelighed, og kompenserer ikke for konsekvenserne af et klinisk fejlskøn. Resultatet af behandlingen bliver ikke automatisk bedre end det resultat, klinikerens på forhånd har bestemt sig for og stiler imod (6,7).

3d-optageteknikkerne har givet store fordele inden for både den rumlige gengivelse og kontrastgengivelsen. Den rumlige (spatielle) gengivelse gør det muligt at skelne imellem forskellige objekter i billedfeltet, hvorimod kontrastgengivelsen gør det muligt at skelne intensiteten imellem områder af det gængive. CT-teknologien har sin styrke i gengivelsen af de rumlige forhold i billedfeltet og dermed de forskellige hårdtvævsstrukturer, hvorimod bløddelsstrukturer kun er moderat gengivet. Cone Beam Computed Tomography (CBCT)-teknologien har samme egenskaber, dog med dårligere gengivelse af bløddele, men med langt mindre stråleeksponering og kan derfor i højere grad anvendes i rutinemæssig diagnostik og behandlingsplanlægning. Denne optageteknik er åbenlyst fordelagtig i relation til det kæbekirurgiske speciale, idet der primært er tale om indgreb på de kranieelle hårdtvæv.

Den mest detaljerige gengivelse af overflader fås med 3-dimensionel fotogeometri eller laserscanning. Dette udnyttes i gengivelsen af tænder og okklusion ved intraoral scanning eller ved scanning af dentale modeller. Disse data gemmes som stereolitografiske (STL)-filer og kan integreres i DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)-formatet. Scanningen superimponeres kraniebillederne, hvorved nøjagtigheden af de okklusale relationer øges betydeligt.

Virtual Surgical Planning (VSP)-software er udviklet og i kommerciel brug i flere varianter såsom Materialise ProPlan CMF, KLS Martin IPS CaseDesigner, Patterson Dental Dolphin Imaging, m.fl. Hvis de optagne data findes i et DICOM-format, kan de overføres til disse typer software, der transformerer dem, hvorved de anatomiske detaljer kan gengives præcist og muliggør:

1. korrekt virtuel orientering i tre dimensioner
2. virtuel udførelse af osteotomier og resektioner
3. fjernelse eller manipulation af segmenterne til de ønskede positioner
4. fremstilling af en model og/eller kirurgiske guides
5. fremstilling af patientspecifikke implantater (PSI)
6. postkirurgisk evaluering, kvalitetssikring og forskning

De fleste udbydere tilbyder service til at behandle data. IT-ingeniører foretager den bedst mulige fremstilling (segmentering) og farvelægning af de enkelte elementer og klargør derved det pågældende tilfælde til behandlingsplanlægning. Herefter kan klinikerens via et webmøde sammen med IT-ingeniøren orientere volumenets og planlægge og udføre den virtuelle kirurgi. IT-ingeniøren udfærdiger den endelige rapport, der godkendes af kirurgen. Udbyderen kan herefter overføre data til programmer (Computer-Aided Design (CAD)), der muliggør

Klinisk relevans

Virtuelle behandlingsværktøjer bruges nu rutinemæssigt på landets kæbekirurgiske afdelinger på grund af overlegen diagnostik, bedre behandlingsplanlægning, optimering af kirurgisk præcision og derigennem øget sikkerhed og reduktion af operationstid samt muligheder for postkirurgisk evaluering, kvalitetssikring og forskning. Fordelene ved kombinationen af ingeniørkompetencer og medicinske samt kirurgiske fagområder er åbenbare og har formentlig kun set sin begyndelse i Danmark. Det kæbekirurgiske speciale har vist sig som et oplagt område for denne synergi og kan inspirere andre fagområder til samme form for samarbejde.

fabrikation af hjælpemidler (Computer-Aided Manufacturing (CAM)) til de kirurgiske procedurer som mellembid til positionering af kæbesegmenter og diverse bore- og skæreguides. Det er også muligt at få fremstillet PSI udformet som enten osteosynteseplader, rekonstruktionsskinner, kæbe- eller kranieimplantater og kæbeledsproteser. Disse patientspecifikke produkter er udført i titanium, og print af disse kræver en CE-godkendelse (akronym for Conformité Européenne, produktet lever op til EU-lovgivning for medicinsk udstyr), hvilket kun de største udbydere er i besiddelse af.

Prædiktion af postoperative blødtvævsforandringer repræsenterer fortsat en udfordring. Muskler og hud bevæger sig i modsætning til knogle non-lineært, hvilket gør en nøjagtig prædiktion vanskelig. Der anvendes enten stereofotografi eller foto-mapping på de nyeste tilgængelige CBCT-scannere. De kommercielt tilgængelige softwarepakker inkluderer komplekse materialeegenskaber som viskoelasticitet til gengivelse af blødtvæv, men har stadig unøjagtigheder bl.a. i gengivelse af effekten på læberregionen og de paranasale områder (8,9). Algoritmerne udvikles dog fortsat, og i den nærmeste fremtid må man antage, at bløddelsprædiktionen indgår rutinemæssigt i behandlingsplanlægning med patientinvolvering.

Alternativet til et samarbejde med kommercielle udbydere er selv at gennemføre de enkelte trin i processen indtil fremstilling af PSI. Det første kraniofaciale 3d-laboratorium i Danmark blev startet på Tandlægeskolen i København tilbage i 1989, og dette dannede i 1994 grundlaget for etableringen af 3d Craniofacial Image Research Laboratory imellem Tandlægeskolen, Rigshospitalet og Danmarks Tekniske Universitet. På Kæbekirurgisk Afdeling på Sydvestjysk Sygehus i Esbjerg er der oprettet et 3d-laboratorium for hospitalet. Tre ingeniører behandler data i henhold til ovenstående og gennemfører derved en in-house planlægning af samtlige ortodontisk-kirurgiske behandlinger og større rekonstruktioner indtil fremstilling af PSI. Dertil kommer arbejdsopgaver inden for ortopædkirurgi, øre-næse-hals-kirurgi, kardiologi og arbejdsmedicin. Ud over de beskrevne procedurer anvendes teknikker inden for automatisering, programmering, billedbehandling og -analyse, kunstigt intelligens, biomekanik og Computational Fluid Dyna- ▶

mics (CFD). På Aarhus Universitetshospitals kæbekirurgiske afdeling har man i de sidste 3-4 år selv udført al virtuel planlægning af ortodontisk-kirurgiske behandlinger inklusive fremstilling af mellembid, ligesom man har etableret et printcenter betjent af ingeniører til andre virtuelle opgaver, bl.a. fremstilling af 3d-modeller og saveguides. På Odense Universitetshospital er der oprettet et center for klinisk kunstig intelligens. Centret

skal danne rammerne for et samarbejde imellem de kliniske afdelinger og sundhedsfaglige og tekniske forskere på universitetet om de mange muligheder vedrørende kunstig intelligens. Fordelene og mulighederne ved disse ingeniør-kompetencer inden for de medicinske og kirurgiske discipliner på hospitalerne er så åbenbare, at lignende initiativer givetvis vil opstå på alle større danske hospitaler i nærmeste fremtid. ♦

ABSTRACT (ENGLISH)

VIRTUAL PLANNING IN MAXILLOFACIAL SURGERY

Virtual planning procedures are used routinely in all Departments of Oral and Maxillofacial Surgery in Denmark. The possibilities of virtual planning are exploited within corrective surgery of dentofacial and craniofacial deformities, in traumatology, and in ablation of benign and malignant tumors and subsequent reconstruction. Specialized engineers usually handle the techniques, either in-house or through commercially available systems that can facilitate the vir-

tual planning and potential use of patient specific guides or implants. It is envisaged that all major hospitals in the near future will establish units to perform these functions with close interdisciplinary collaboration with engineers. This would be not just for virtual planning within the maxillofacial specialty, but within all cutting specialties where surgical simulation and use of patient-specific implants are relevant. Maxillofacial surgery is considered to be pioneering in this context.

LITTERATUR

1. Swennen GRJ, Mollemans W, Schutyser F. Three-dimensional treatment planning of orthognathic surgery in the era of virtual imaging. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:2080-92.
2. Stokbro K, Aagaard E, Torkow P et al. Virtual planning in orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2014;43:957-65.
3. Steinbacher DM. Three-dimensional analysis and surgical planning in craniomaxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2015;73:40-56.
4. Hua J, Aziz S, Shum JW. Virtual surgical planning in oral and maxillofacial surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2019;31:519-30.
5. Chen Z, Mo S, Fan X et al. A meta-analysis and systematic review comparing the effectiveness of traditional and virtual surgical planning for orthognathic surgery: based on randomized trials. *J Oral Maxillofac Surg* 2020;79:471.e1-19.
6. Hanafy M, Akoush Y, Abou-ElFetouh A et al. Precision of orthognathic digital plan transfer using patient-specific cutting guides and osteosynthesis versus mixed analogue-digitally planned surgery: a randomized controlled clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2020;49:62-8.
7. Tankersley AC, Nimmich MC, Battan A et al. Comparison of the planned versus actual jaw movement using splint-based virtual surgical planning: How close are we at achieving the planned outcomes? *J Oral Maxillofac Surg* 2019;77:1675-80.
8. Olivetti EC, Nicotera S, Marcolin F et al. 3D soft-tissue prediction methodologies for orthognathic surgery – A literature review. *Appl Sci* 2019;9:4550.
9. Liebrechts J, Xi T, Timmermans M et al. Accuracy of three-dimensional soft tissue simulation in bimaxillary osteotomies. *J Craniomaxillofac Surg* 2015;43:329-35.