

## ABSTRACT

**BAGGRUND** - Behandling af ansigtsfrakturer omfatter åben reposition og osteosyntese af frakturer i anatomisk korrekt position, samt ved behov enten primær eller sekundær rekonstruktion af traumatiske defekter. Planlægning og behandling udføres på baggrund af klinisk og radiologisk udredning. Radiologisk udredning baseres på CT-scanninger, og segmentering af ansigtskraniet danner grundlag for samlet behandlingsplanlægning ved reponering af komplekse ansigtstraumer samt vurdering af behov for rekonstruktion. Postoperative CT-scanninger anvendes til vurdering af det operative resultat. Virtuel kirurgisk planlægning kan med fordel anvendes til såvel primær traumebehandling som sekundær reposition og rekonstruktion ved post-traumatisk malposition, malokklusion og defekter.

**PATIENTTILFÆLDE** - 28-årig mand indbringes i 2017 til Rigshospitalets TraumeCenter grundet eksplosionsulykke. Patienten gennemgår primær debridement og efterfølgende sekundær rekonstruktion ved hjælp af virtuel kirurgisk planlægning på baggrund af spejling af anatomi og patientspecifikke implantater.

**KONKLUSION** - Virtuel kirurgisk planlægning og brugen af patientspecifikke guides, implantater og navigation muliggør behandling af komplekse traumer og traumatiske defekter med stor nøjagtighed.

**EMNEORD** Virtual surgical planning | facial trauma | explosion | reconstruction | patientspecific implants



Korrespondanceansvarlig førsteforfatter:  
**THOMAS KOFOD**  
thomas.steengaard@regionh.dk

## Virtuel kirurgisk planlægning ved behandling af ansigtstraumer

**THOMAS KOFOD**, ledende overtdlæge, specialtdlæge i kæbekirurgi, ph.d., Afdeling for Kæbekirurgi, Rigshospitalet, Københavns Universitetshospital

**LIBANA RAFFOUL BJØRNSTRUP**, specialtdlæge i kæbekirurgi, Afdeling for Kæbekirurgi, Rigshospitalet, Københavns Universitetshospital

**EVEN NISJA**, specialtdlæge i kæbekirurgi, Afdeling for Kæbekirurgi, Rigshospitalet, Københavns Universitetshospital

► Accepteret til publikation den 28. maj 2021

Tandlægebladet 2021;125:xxx-xxx

**G** **ENOPBYGNING AF TRAUMATISKE DEFEKTER** i ansigtsskelettet stiller generelt krav til den efterfølgende rekonstruktion om at sikre ikke bare funktion og komfort, men også æstetik. Virtuel behandlingsplanlægning i forbindelse med behandling af ansigtstraumer omfatter primært mulighed for segmentering og reposition af frakturer. På baggrund heraf kan data eksporteres i form af STL-filer til enten 3d-printer for modelfremstilling til patientspecifik tilpasning af standardimplantater og/eller overførsel til navigationsudstyr med henblik på intraoperativ kontrol af reposition og placering af implantater (fx titaniumnet til rekonstruktion af øjenhule) (1,2).

I det aktuelle patienttilfælde har knusningsbruddet skabt defekter svarende til temporalknoglen, størstedelen af venstre kindben og størstedelen af venstre øjenhules ossøse begrænsning og endelig dele af overkæben. Rekonstruktionen skal sikre dels ydre form (projektion) og støtte af muskler og blødtvæv, men tillige samtidig sikre korrekt form og størrelse af øjenhulen.

Ved brug af virtuel planlægning kan traumatiske defekter visualiseres, så det præcist kan vurderes, hvilke rekonstruktive behov der kræves, fx tilpasning af knogletransplantater og/eller brug af patientspecifikke implantater (PSI) for at genopbygge patienternes anatomi og funktion.

## PATIENTTILFÆLDE

En 28-årig mand indbringes i 2017 til Rigshospitalets TraumeCenter efter eksplosions-skade ved sprængning af kloakrør. Patienten er multitraumatiseret, har omfattende skader, bl.a. traumatisk subaraknoidal blødning, miltlæsion, læsioner efter penetrerende fremmedlegemer på hoved og krop. I ansigtet ses omfattende bløddelsskader efter penetrerende fremmedlegemer, herunder penetrerende skade på begge øjeæbler og ossøse skader svarende til venstre kindben, maksil, orbita og os temporale. Skaderne nødvendiggør akut behandling. Patienten får i løbet af de efterfølgende otte timer anlagt intrakranielt trykmåler til monitorering af intrakranielt tryk grundet traumatisk subaraknoidal blødning, fjernelse af milten grundet ruptur, anlagt trakeostomi og behandlet øjenskader af respektive nabospecialer. Grundet omfattende skader fjernes øjeæblet på venstre side. Da det penetrerende materiale er inficeret, kunne der ikke gennemføres reposition og osteosyntese af ansigtsfrakturerne primært. Patienten behandles derfor i kæbekirurgisk regi med primær debridement af penetrerende skader på hoved og hals som primær behandling, herunder med fjernelse af fremmedlegemer temporalt. Knap et år efter primær traumebehandling planlægges og gennemføres sekundær rekonstruktion af de traumatiske defekter og samtidig ossøs rekonstruktion af traumatiske defekter svarende til alveolarprocessen i over- og underkæbe.

## Behandlingsplanlægning

Behandlingsplanlægningen blev foretaget på baggrund af de kliniske fund og CT-scanning i samarbejde mellem kæbekirurger og klinisk ingeniør tilknyttet TRUMATCH CMF Personalized Solutions DePuySynthes & Materialise.

I det aktuelle tilfælde var det relevant at anvende virtuel kirurgisk planlægning til identifikation af fremmedlegemer (Fig. 1), resektion og samtidig stillingtagen til, hvilken type af se-

kundær rekonstruktion der kan opfylde de nødvendige behov. Patienten var udtalt generet af posttraumatisk deformt udseende og utilstrækkelig øjenprotesefunktion. Den sekundære rekonstruktion af den komplekse posttraumatiske ossøse defekt svarende til dels os temporale, os sphenoidale, os zygomaticus og os maxillae blev planlagt til genopbygning med PSI på baggrund af spejling af anatomiske strukturer på højre side. (Fig. 2). Grundet den komplekse struktur var der behov for opdeling af PSI for placering af disse.

## Behandling

Den primære kæbekirurgiske behandling omfatter fjernelse af fremmedlegemer og oprensning af kaviteter efter penetrerende traumer svarende til hoved og hals. Gennemgående traumatisk kavitet til basis cranii blev inspiceret via indgangshul infraorbitalt på venstre side og uden tegn på væske (liquor)-sivning efter fjernelse af fremmedlegeme (Fig. 3). Kaviteten blev efterladt til sekundær granulering og skrumpning.

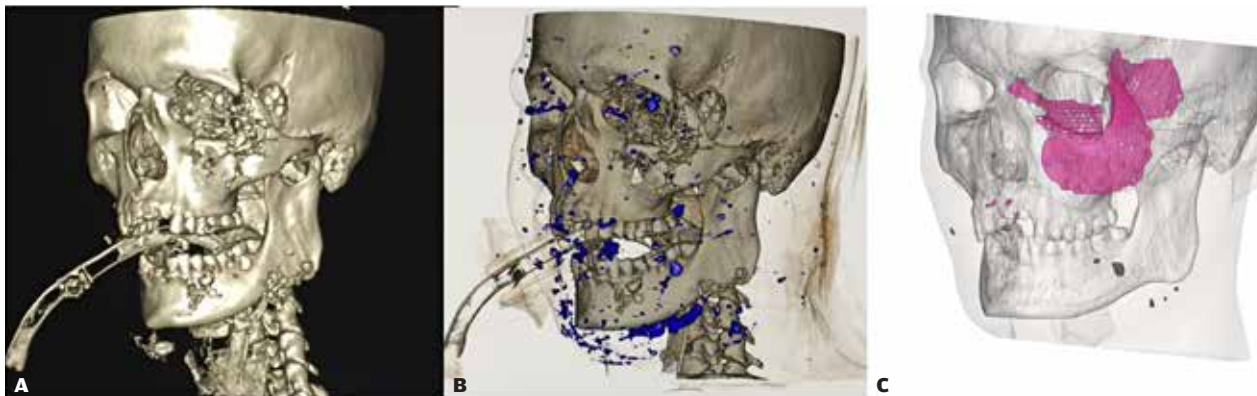
Via oral og koronal adgang blev den traumatiske defekt sekundært frilagt. Fremstillede guides til entydig placering af PSI indsættes og anvendes, hvorefter der foretages ukomplikeret placering af PSI og endvidere lokal ossøs genopbygning af processus alveolaris maxillae et mandibulae med henblik på implantatprotetisk erstatning (Fig. 4-6).

## DISKUSSION

Ved såvel primær som sekundær reponering af frakturer, der involverer orbita, har der været tradition for anvendelse af virtuelt kirurgisk planlægningsværktøj til såvel præoperativ som postoperativ evaluering (3,4). Tilsvarende har fundet relevans ved komplekse frakturer og ved frakturer med samtidige avulsionsdefekter, fx skud eller granatskader (5-8).

Målet for behandlingerne er uafhængigt af, om de omfatter ossøs reposition, ossøs rekonstruktion af ansigtsskelettet ▶

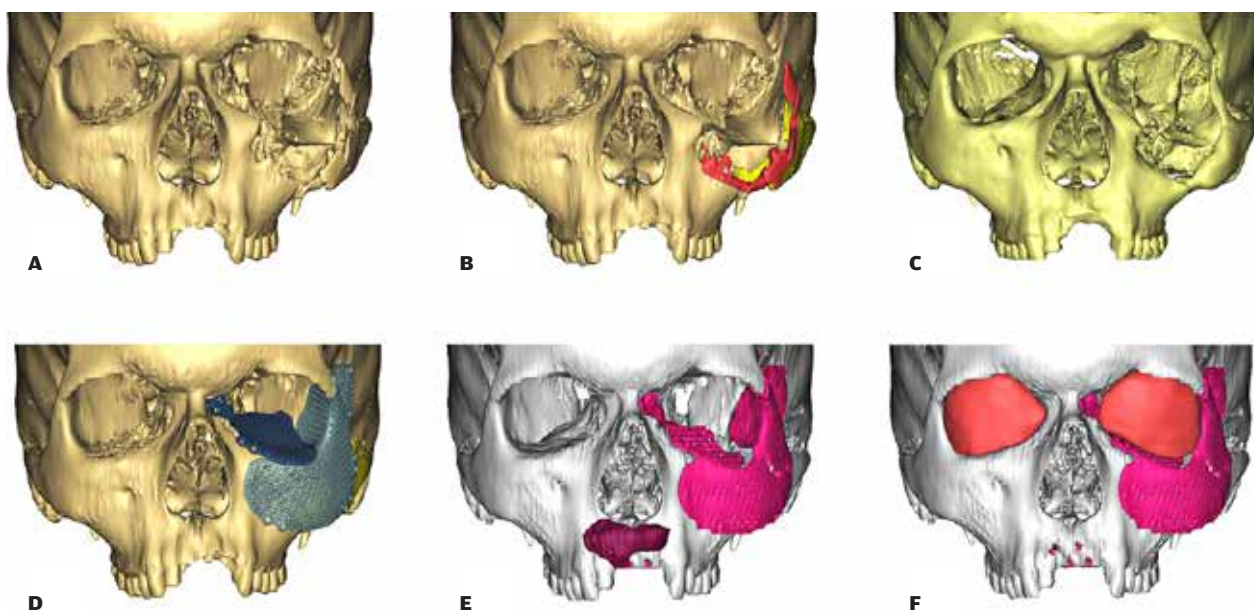
## Traumevisualisering



**Fig. 1. A.** 3d-gengivelse af CT-scanning. **B.** 3d-gengivelse af CT-scanning med blåfarvet segmentering af fremmedlegemer. **C.** 3d-gengivelse af CBCT-scanning med lilla farvet segmentering af fremmedlegemer.

**Fig. 1. A.** 3D rendering of CT scan. **B.** 3D rendering of CT scan with blue-coloured segmentation for visualization of foreign material. **C.** 3D rendering of CT scan with purple-coloured segmentation for visualisation of foreign material.

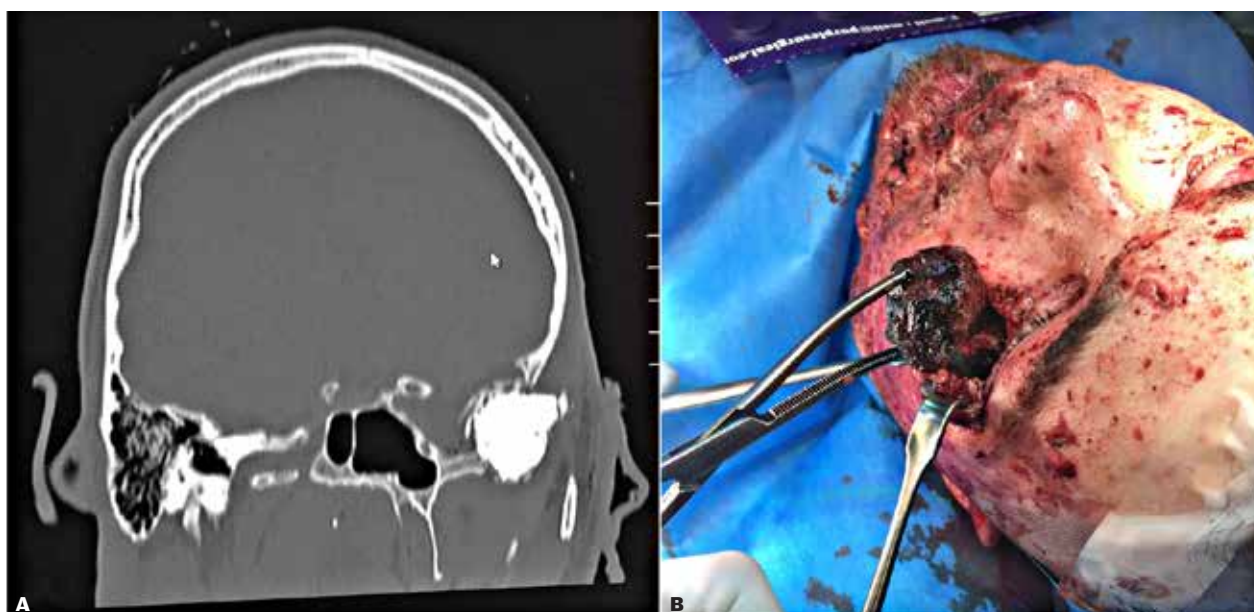
## Virtuel kirurgisk behandlingsplanlægning



**Fig. 2. A.** Gengivelse af ansigtsskelet for præoperativ vurdering af trauma. **B.** Virtuelt planlagt knoglefjernelse ved primær kirurgisk behandling markeret med rødt. **C.** Defekt efter heling 4 måneder efter primær behandling. **D.** Planlagt rekonstruktion med patientspecifikke implantater. **E.** Segmenteret postoperativ CBCT-scanning med visning af PSI superimponeret på planlagt position og genopbygning af processus alveolaris. **F.** Segmentering af orbita-volumen.

**Fig. 2. A.** Segmentation of facial skeleton for preoperative planning. **B.** Virtually planned bone removal marked in red prior to primary surgical treatment. **C.** Complex midface defect 4 months after primary treatment. **D.** Planned reconstruction with PSI. **E.** Segmented postoperative CBCT showing placement of PSI superimposed on planned position, and augmentation of the alveolar process. **F.** Segmentation of orbital volume.

## Primær traumebehandling



**Fig. 3. A.** CT-scanning visende fremmedlegeme svarende til os temporale med lokalt knusningsbrud. **B.** Fjernelse af fremmedlegeme gennem indgangshul.

**Fig. 3. A.** CT-scan showing locally comminuted fracture in the temporal bone, caused by a foreign body. **B.** Removal of foreign body through entrance wound.



## Postoperativ placering af PSI

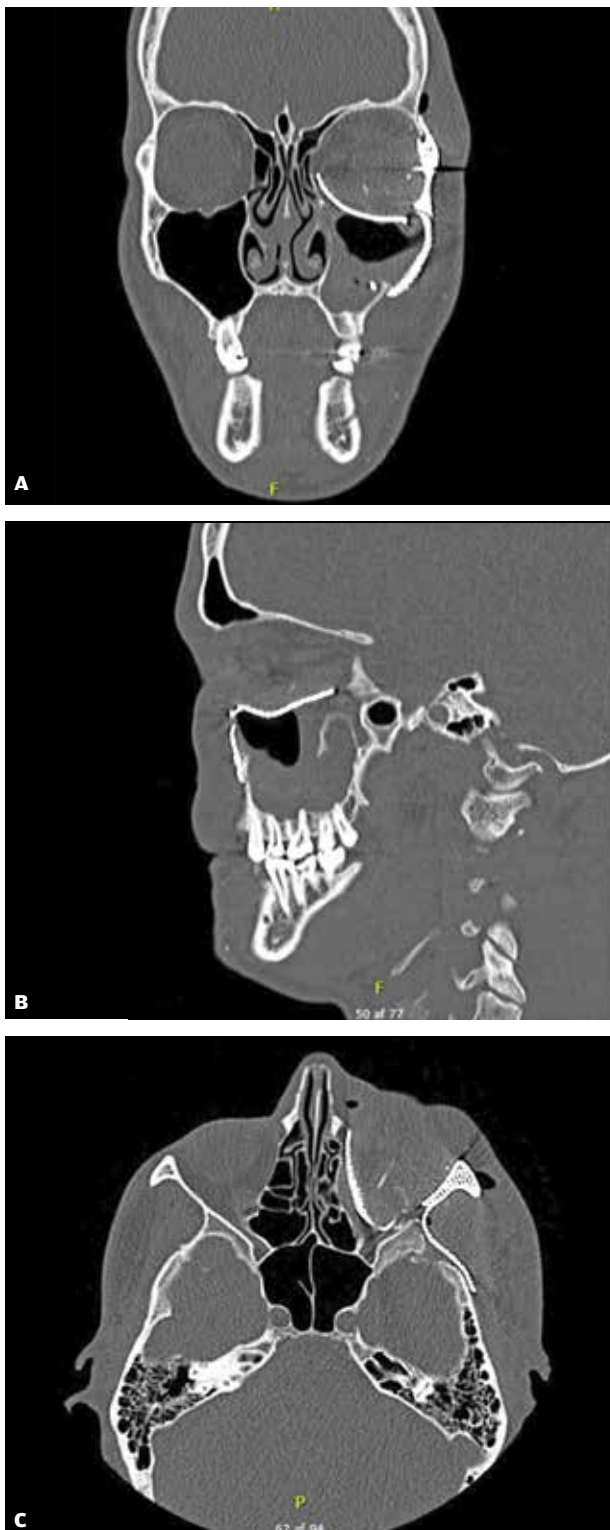


Fig. 4. A-C. CT-scanning visende indsatte PSI i 3 projektioner.  
Fig. 4. A-C. CT-scan showing inserted PSI in 3 projections.

## klinisk relevans

Virtuel kirurgisk planlægning anvendes til visualisering af ansigtstraumer samt til planlægning og evaluering af den kirurgiske behandling. Virtuel reponering af ansigtsfrakturer muliggør evaluering og visualisering af behandlingskrævende defekter forud for behandling. Der kan præoperativt fremstilles en fysisk 3d-model for patientspecifikke tilpasninger af standardimplantater, fx titaniumnet til rekonstruktion af øjenhuler eller rekonstruktionsskinner. Tilsvarende danner virtuel kirurgisk planlægning grundlaget for reposition og rekonstruktion af posttraumatiske defekter, malposition eller malokklusion. Muligheden for spejling af i øvrigt intakt anatomi og derigennem genopbygning af ansigtsskelettet anvendes ofte. Sekundære rekonstruktioner gennemføres guidede, hvilket øger præcisionen og kvaliteten af de udførte rekonstruktioner af posttraumatiske defekter.

eller genskabelse med patientspecifikke implantater at genopbygge til skeletal symmetri og volumen. Dette sker på baggrund af segmentering af knogle og ofte spejling af denne. Det har som følge heraf været muligt at genskabe korrekt volumen og form af orbita. Dette har vist at være tilstrækkeligt til, at de fleste patienter opnår tilfredsstillende synsforhold. Imidlertid reterer der en gruppe, som, trods fuldstændig korrektion af orbitavolumen skeletalt, fortsat oplever malposition af øjeæblet, enophthalmus og diplopi, formentlig grundet traumatisk arvævsskrumpning, fra såvel traume som kirurgisk behandling (9). Forbedring af behandlingsresultatet hos denne gruppe vil formentlig skulle afhjælpes gennem yderligere indsigt i det traumatiserede øjes bløddelsforhold og planlagt overkorrektion af implantater eller knogletransplantater for at kompensere for det skrumpede orbita-indhold.

I forbindelse med akut primær traumekirurgi er det grundet tidskrav og logistiske forhold vanskeligt at arbejde med patientspecifikke implantater. Man har i stedet anvendt prætilpassede standardimplantater eller tilpasset implantater på baggrund af 3d-modeller baseret på spejling.

Aktuelt deltager Afdeling for Kæbekirurgi, Rigshospitalet, i et samarbejde med TruMatch CMF om udvikling af accelereret planlægning af PSI-design og logistik, således at patientspecifikke implantater til orbita-rekonstruktion kan finde anvendelse ved den primære traumekirurgi, hvilket vil kræve, at PSI til orbital rekonstruktion kan leveres på maksimalt 5-6 dage. ♦

Patienten har givet tilladelse til, at Tandlægebladet bringer genkendelige billeder. ▶

## Postoperativt efter oral rehabilitering



**Fig. 5.** Ortopan fra 2020 med endelig implantatunderstøttet oral rehabilitering og rekonstruktion med PSI.  
**Fig. 5.** Panoramic x-ray from 2020 showing final implant-based oral rehabilitation and reconstruction with PSI.

## Klinisk - før og efter



**Fig. 6.** Klinisk foto af patient før (A) og efter (B) rekonstruktion med PSI.  
**Fig. 6.** Clinical photos of the patient before (A), and after (B) reconstruction with PSI.

## ABSTRACT (ENGLISH)

### PLANNING AND TREATMENT OF FACIAL FRACTURES

**BACKGROUND** - Treatment of facial fractures includes open repositioning and osteosynthesis of fractures in the anatomically correct position and if necessary, either primary or secondary reconstruction of traumatic defects. Planning and treatment are performed on the basis of clinical and radiological assessment. CT scans and segmentation of the facial skeleton form the basis of overall treatment planning and postoperative CT scans are used to assess the operative outcome. Virtual surgical planning can be used with advantage for both primary trauma treatment and secondary repositioning and reconstruction in post-traumatic malposition, malocclusion and defects.

**CASE STUDIES** - A 28-year-old man is brought to Rigshospitalets TraumeCenter in 2017 after an explosion accident. The patient undergoes primary debridement and subsequent secondary reconstruction using virtual surgical planning based on mirroring of anatomy and patient-specific implants.

**CONCLUSION** - Virtual surgical planning and the use of patient-specific guides, implants and navigation enable the treatment of complex traumas and traumatic defects with great accuracy.

## LITTERATUR

1. Dreizin D, Nam AJ, Hirsch J et al. New and emerging patient-centered CT imaging and image-guided treatment paradigms for maxillofacial trauma. *Emerg Radiol* 2018;25:533-45.
2. Susarla SM, Duncan K, Mahoney NR et al. Virtual surgical planning for orbital reconstruction. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2015;22:442-6.
3. Jansen J, Dubois L, Schreurs R et al. Should virtual mirroring be used in the preoperative planning of an orbital reconstruction? *J Oral Maxillofac Surg* 2018;76:380-7.
4. Tel A, Sembronio S, Costa F et al. Endoscopically assisted computer-guided repair of internal orbital floor fractures: an updated protocol for minimally invasive management. *J Craniomaxillofac Surg* 2019;47:1943-51.
5. Thor A. Preoperative planning of virtual osteotomies followed by fabrication of patient specific reconstruction plate for secondary correction and fixation of displaced bilateral mandibular body fracture. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 2016;9:188-94.
6. Maloney KD, Rutner T. Virtual surgical planning and hardware fabrication prior to open reduction and internal fixation of atrophic edentulous mandible fractures. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 2019;12:156-62.
7. Castro-Núñez J, Shelton JM, Snyder S et al. Virtual surgical planning for the management of severe atrophic mandible fractures. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 2018;11:150-6.
8. Khatib B, Gelesko S, Amundson M et al. Updates in management of craniomaxillofacial gunshot wounds and reconstruction of the mandible. *Facial Plast Surg Clin North Am* 2017;25:563-76.
9. Zimmerer RM, Gellrich NC, von Bülow S et al. Is there more to the clinical outcome in posttraumatic reconstruction of the inferior and medial orbital walls than accuracy of implant placement and implant surface contouring? A prospective multicenter study to identify predictors of clinical outcome. *J Craniomaxillofac Surg* 2018;46:578-87.