

Intraoperative Navigation und computerassistierte Chirurgie in der MKG-Chirurgie

Allgemeines und Traumatologie

■ Frank Wilde, Alexander Schramm

Zusammenfassung

Der Gesichtsschädel ist sehr häufig von Verletzungen betroffen, welche neben ästhetischen insbesondere funktionelle Defizite bei den Betroffenen hinterlassen können. Die computerassistierte Rekonstruktion gibt dem Operateur die Möglichkeit, ein vorhersagbares Rekonstruktionsergebnis des knöchernen Gesichtsschädels zu erreichen. Die Kombination aus virtueller präoperativer Planung, intraoperativer Instrumentennavigation und intraoperativer Bildgebung wird routinemäßig an der Autorenklinik bei komplexen Verletzungen des Gesichtsschädels eingesetzt. Mithilfe der präoperativen Planung kann das erstrebte Rekonstruktionsergebnis millimetergenau vorgeplant und durch intraoperative Instrumentennavigation umgesetzt werden. Die intraoperative Bildgebung ergänzt die Therapie durch zusätzliche intraoperative Endkontrolle des Operationsergebnisses. Durch die Anwendung der computerassistierten Chirurgie bei der Versorgung von Verletzungen des Gesichtsschädels können intraoperative Fehlpositionierungen und Fehlkonturierungen der knöchernen Fragmente und der eingebrachten Transplantate verhindert werden. Dies ist ein herausragender Beitrag zur Qualitätssicherung bei diesen komplexen Operationen und senkt damit die Zahl notwendiger Folgeeingriffe.

Intraoperative Navigation and Computer-Assisted Surgery in Maxillofacial Procedures

Injury to the facial skeleton may result not only in aesthetic but also in functional deficits. Computer-assisted surgery holds promise for predictable reconstructive results. In clinical routine the authors use the combination of preoperative planning, intraoperative navigation and intraoperative imaging to treat complex facial trauma. With preoperative planning the intended reconstructive results can be precisely predetermined and realised intraoperatively with the help of navigated surgery. Intraoperative imaging achieves the final intraoperative validation of the procedure. Using computer-assisted surgery the dislocation and malformation of fragments and transplants can be avoided in facial reconstruction. This offers a valid quality control of the surgical outcome and the number of further operations can be reduced in such complex reconstructive surgery.

Bildgebung (Computertomografie oder digitale Volumetomografie). Allen Modalitäten gemeinsam ist die Verarbeitung digitaler Daten. Zusammengefügt in eine Softwareplattform lässt sich die Therapie präoperativ simulieren, intraoperativ kontrollieren und das postoperative Ergebnis validieren.

Computerbasierte Planung

Computergestützte virtuelle Planungen und Operationssimulationen bieten den Vorteil der Detailtreue ohne Informationsverlust und die Möglichkeit, beliebig viele und verschieden geartete Simulationen durchzuführen. Ziel der Operationsplanung ist die Erstellung eines virtuellen Modells, das dem angestrebten Operationsergebnis entspricht. Damit soll die Vorhersagbarkeit im Hinblick auf das gewünschte Operationsziel sowie die Sicherheit des chirurgischen Eingriffs erhöht werden [6, 7].

Neben den grundlegenden Modellbewegungen, wie Rotation und Translation, der Kalkulation von Schnitten aus jeder beliebigen Sicht, sollen auch die Definition eines Hautschnitts und des Zugangswegs zum Zielgebiet ebenso möglich sein wie eine interaktive Simulation der Wirkung von Operationsinstrumenten. Moderne Operationsplanungssysteme ermöglichen neben dem automatischen Segmentieren und der Spiegelung einzelner Teilbereiche des Datensatzes auch die freie Verschiebung und Verformung der Segmente sowie den Import von CAD-Datensätzen zur Simulation jeglicher präformierter 3-dimensionaler Körper (Zahnimplantate, Titangitterstrukturen, etc.). So können knochenbasierte Rekonstruktionen und knochenverlagernde Operationen virtuell durchgeführt werden. Das Ergebnis der Simulation (virtuelles Modell) dient intraoperativ als Schablone, wenn die intraoperative Instrumentennavigation verwendet wird oder Insertionsschablonen präoperativ angefertigt wurden. Bei der

Einleitung

Operative Eingriffe im Kopf-Hals-Bereich erfordern eingehende Kenntnisse der anatomischen Strukturen. Insbesondere

im Schädelbereich treffen funktionell und ästhetisch wichtige Strukturen auf engstem Raum aufeinander. Die Anwendung der intraoperativen Navigation ermöglicht eine Korrelation von anatomischem Situs und präoperativ erhobenen Datensatz. Man unterscheidet präoperative Analyse, virtuelle Planung und Simulation von intraoperativer Instrumentennavigation und intraoperativer

OP-JOURNAL 2011; 27: 124–129
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0031-1280253>

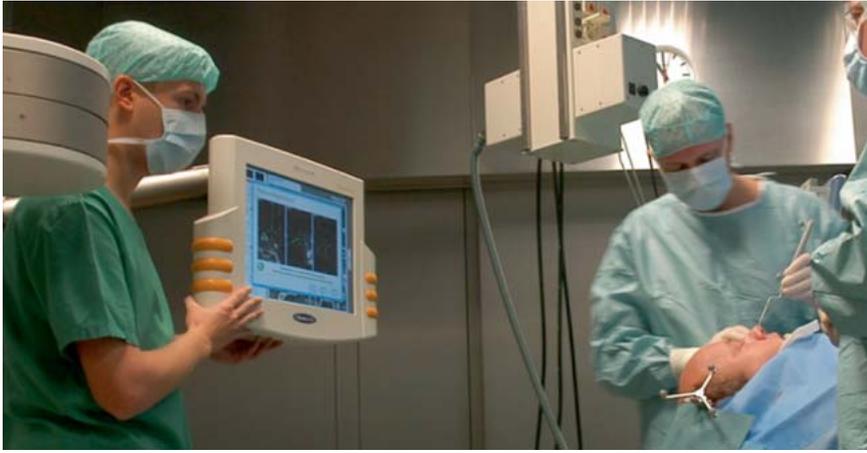


Abb. 1 Intraoperative Instrumentennavigation. Pointerbasierte Infrarotortung zur Visualisierung des anatomischen Situs und zum Abgleich der Rekonstruktion mit der präoperativ erstellten virtuellen Schablone.

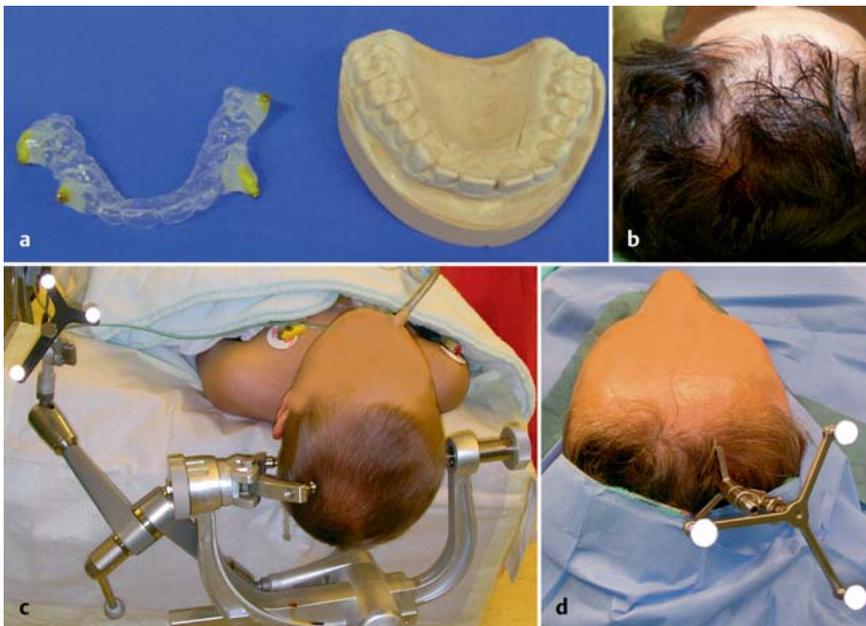


Abb. 2a bis d a, b Referenzierungssysteme für die intraoperative Navigation. a Nicht-invasive Referenzierung mit der individuell laborgefertigten Tiefziehschiene für den Oberkiefer. In 4 anpolymerisierte Sägemodellpins wurden 4 Titanminischrauben inseriert. b Invasive Referenzierung mit selbstbohrenden Titanminischrauben, welche vor Datensatzerhebung in Lokalanästhesie in die Schädelkalotte inseriert werden. Die Stichinzisionsstelle der Schraubeninsertion parietal links ist mit einem blauen Kreuz markiert. c, d Invasive und nicht-invasive Registrierung. c Der an einer Mayfield-Klemme befestigte Reflektorenstern verfolgt die Bewegungen des Patientenkopfes und des Operationstisches. d Die Befestigung des Reflektorensterns kann mit 1 Minischraube und 3 Stahlpins direkt transkutan an der Schädelkalotte erfolgen.

intraoperativen Bildgebung mit 3-D-C-Bögen (digitale Volumetomografie) kann die Fusion der prä- und intraoperativen Datensätze sowohl zur intraoperativen Referenzierung eines Navigationssystems verwendet, als auch das intraoperative Operationsergebnis mit der präoperativ erstellten Simulation verglichen werden [6, 7].

Die Operationsplanung dient der Erstellung eines virtuellen Modells. Dieses entspricht dem angestrebten Operationsergebnis und dient intraoperativ als Schablone für die Instrumentennavigation.

Intraoperative Instrumentennavigation

Zur Eichung eines Navigationssystems muss eine Ausgangsposition festgelegt

werden, um den virtuellen Patienten auf dem Monitor mit dem echten Patienten auf dem Operationstisch in Deckung zu bringen. Dies erfolgt durch Referenzpunkte, welche eindeutig am Patienten identifizierbar und auch im Datensatz auffindbar sein müssen. Dieser Abgleichvorgang wird Referenzierung genannt. Zu Beginn der Operation werden diese Referenzpunkte nacheinander im Situs mit einem Lokalisationssystem abgetastet und parallel dazu in den Bilddaten digitalisiert. Ist die Referenzierung, also die Herstellung des räumlichen Bezuges, abgeschlossen, kann anhand der berechneten Transformation die Position des Instruments im Raum in dem 3-D-Modell und in Relation zu der geplanten Trajektorie und dem Zielgebiet dargestellt werden (**Abb. 1**).

Bei invasiven Referenzierungen werden vor Datenakquisition Schraubenmarker transkutan in Lokalanästhesie am Kopf des Patienten angebracht. Bei der ausschließlichen Verwendung von CT-Datensätzen, dies ist insbesondere bei traumatischen Fragestellungen der Fall, werden daher Osteosyntheseschrauben vor Datensatzakquisition in Lokalanästhesie subkutan inseriert (**Abb. 2b**).

Die Vorteile von nicht-invasiven Referenzierungen liegen in der einfacheren Handhabung. In der MKG-Chirurgie stellen Zahnbogenschienen das nicht-invasive Referenzierungsverfahren der Wahl dar. Zur Herstellung wird eine Situationsabformung vom Oberkiefer durchgeführt und daraus ein Gipsmodell und so eine Kunststoffschiene hergestellt. An die Schienenbasis werden entweder Titanminischrauben oder Basiskomponenten zur Aufnahme der CT-/MR-Marker anpolymerisiert [7]. Dieser Typus kann bei nahezu allen Therapien von ausreichend bezahlten Patienten verwendet werden (**Abb. 2a**).

Die Grundlage der intraoperativen Instrumentennavigation stellt die Referenzierung dar. Durch diese wird der virtuelle Patient auf dem Monitor mit dem echten Patienten auf dem Operationstisch zur Deckung gebracht.

Eine weitere Notwendigkeit ist das permanente Registrieren der Patientenposition, da Bewegungen während der Operation nicht zu verhindern oder für den chirurgischen Eingriff sogar notwendig sind. Dies wird durch einen Reflektorenstern erreicht, welcher fest mit dem Patientenkopf verbunden sein muss. Die

einfachste und hinreichend genaue Methode stellt den Einsatz der in der Neurochirurgie routinemäßig verwendeten metallischen Kopfhaltervorrichtung, der Mayfield-Klemme, dar. Mit ihr wird die Position des Patientenkopfs zum Operationstisch fixiert. An dieser Klemme wird der Reflektorstern befestigt (Abb. 2c). Alternativ kann der Reflektorstern auch direkt am Patientenkopf schraubenfixiert werden (Abb. 2d). Somit sind alle Lageveränderungen detektiert und während der intraoperativen Navigation Bewegungen von Operationstisch und Kopf registriert.

Sind alle Voraussetzungen erfüllt, ist es möglich, intraoperativ z.B. mit einem Zeigeinstrument Strukturen anzufahren und die Bewegungen des Instruments am Monitor zu verfolgen. Ebenso kann jedes andere starre Operationsinstrument, wie z.B. ein Bohrer oder Meißel, aber auch ein Endoskop oder der Fokus eines Operationsmikroskops, lokalisiert und somit intraoperativ navigiert werden [7]. Die Genauigkeit infrarotbasierter Navigationssysteme wird beeinflusst von mehreren Faktoren. Die technischen Ungenauigkeiten können bei regelrechter Anwendung zuverlässig unterhalb von 0,2–0,3 mm gehalten werden. Die größte Variationsbreite an Ungenauigkeiten erzeugt das verwendete Referenzierungsverfahren. Der für chirurgische Belange geforderte Genauigkeitswert von maximal 2 mm wird verlässlich durch knochenverankerte Schraubenmarker erreicht. Da die Oberkieferschiene aufgrund der Verankerung am Zahnbogen einer Knochenverankerung entspricht, stellt sie das einzige nicht invasive Referenzierungsverfahren mit zuverlässig hoher intraoperativer Genauigkeit dar. Bei Anwendungen im Bereich des Gesichtsschädels und der Schädelbasis liegt die Genauigkeit der Schienenreferenzierung bei der Verwendung von 4 Markern in optimaler geometrischer Anordnung verlässlich unter 2 mm [7].

Die Genauigkeit infrarotbasierter Navigationssysteme kann zuverlässig unterhalb von 0,2–0,3 mm gehalten werden.

Computerassistierte Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie in der Routinetraumatologie

Im Folgenden sind typische klinische Beispiele der Anwendung der computerassistierten Chirurgie dargestellt, wie sie bereits in der klinischen Routineversorgung zum Einsatz kommen.

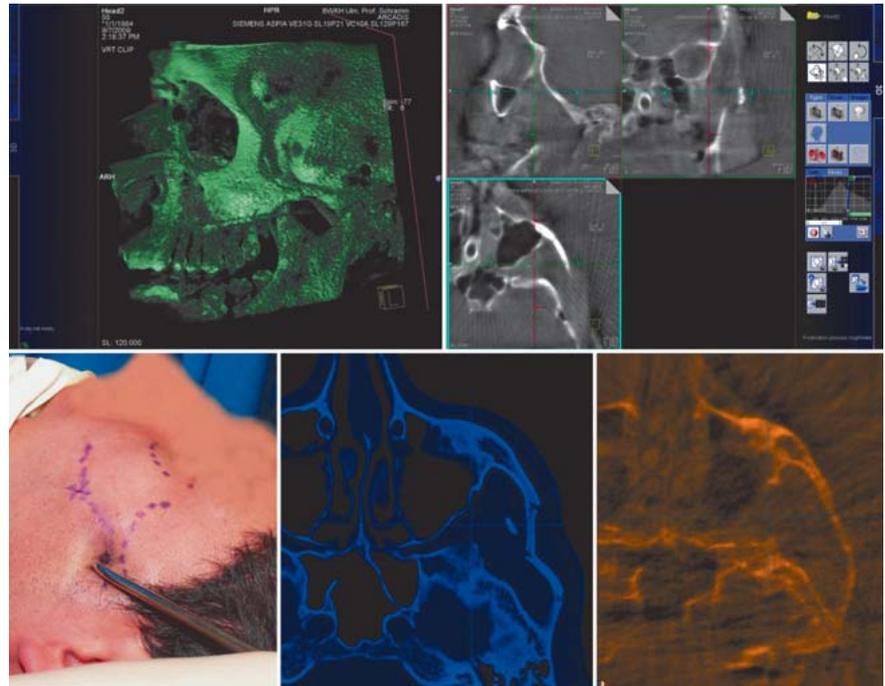


Abb. 3 Intraoperative Bildgebung (digitale Volumentomografie mit dem 3-D-C-Bogen). Oben: Die multiplanare Datensatzdarstellung ermöglicht intraoperativ die genaue Analyse des Repositionsergebnisses bei einer lateralen Mittelgesichtsfraktur und die Beurteilung der Versorgungsnotwendigkeit der Orbitawände nach Reposition des Jochbeins und des Jochbogens. Diese intraoperative Kontrolle ist insbesondere bei geschlossener Hakenzugreposition einer einfachen Jochbeinfraktur oder einer isolierten Jochbogenfraktur indiziert. Unten Mitte: Das präoperative Computertomogramm zeigt eine Impressionsfraktur des linken Jochbogens. Unten links: Hakenzugreposition nach transkutaner Stichinzision. Die knöchernen Konturen des Jochbeins und des Jochbogens sowie die Positionen für die Stichinzisionen zur Hakenzugreposition sind markiert. Unten rechts: Nach Hakenzugreposition zeigt die intraoperative Bildgebung (digitale Volumentomografie mit dem 3-D-C-Bogen) die anatomisch korrekte Stellung der Knochenfragmente im Bereich des Jochbogens.

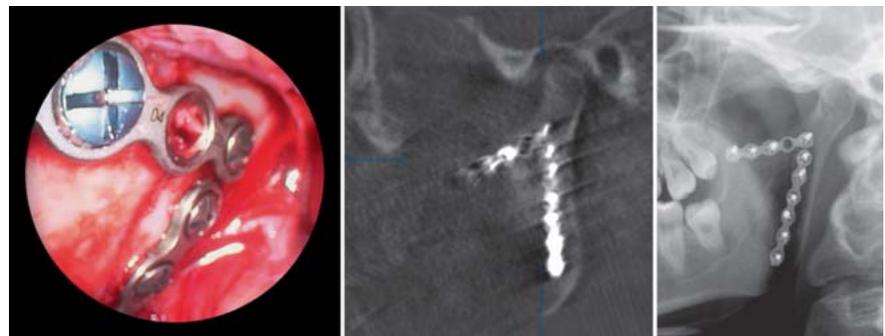


Abb. 4 Intraoperative Bildgebung bei intraoraler, endoskopisch assistierter Versorgung von Unterkiefergelenkfortsatzfrakturen. Links: Bild des Endoskopiemonitors nach intraoraler Reposition und Osteosynthese des Unterkiefergelenkfortsatzes. Mitte: Die intraoperative Bildgebung (digitale Volumentomografie mit dem 3-D-C-Bogen) zeigt die anatomisch korrekte Stellung der Knochenfragmente im Bereich des Gelenkfortsatzes. Rechts: Postoperative Röntgenkontrolle (Panoramiaschichtaufnahme).

Primärrekonstruktionen des Gesichtsschädels

Bei der operativen Reposition und Osteosynthese von Frakturen des Gesichtsschädels kann aufgrund der nur kurzen Datensatzerhebungszeit (5–10 min) eine intraoperative Bildgebung mit einem 3-D-C-Bogen (intraoperative Volumen-

tomografie) zur Stellungskontrolle vor Wundverschluss auch in der klinischen Routine erfolgen. Bei lateralen Mittelgesichtsfrakturen lassen sich hiermit Fehlpositionierungen des Jochbeins und des Jochbogens vermeiden, insbesondere bei minimalinvasiven, transkutanen Hakenzugrepositionen (Abb. 3). Unnötige Orbitaexplorationen bei Orbitaboden-



Abb. 5 Navigationsgestützte posttraumatische Primärrekonstruktion des Mittelgesichts. Links: Virtuelle Planung und Erstellung der Schablone zur intraoperativen Navigation. Mitte: Intraoperative Navigation zur Stellungskontrolle der Jochbeinprominenz. Rechts: 3-D-Darstellung der Computertomografie nach komplexer Gesichtsschädelrekonstruktion.

beteiligung aufgrund intraoperativer Bildgebung nach Jochbeinreposition lassen sich so verhindern. Auch eine Zweitoperation aufgrund insuffizienter Reposition z.B. nach intraoralen endoskopisch assistierten Versorgungen von Unterkiefergelenkfortsatzfrakturen wird hierdurch vermieden (**Abb. 4**).

Durch die intraoperative 3-D-Bildgebung können Fehlpositionierungen nach Frakturreposition oder z. B. unnötige Orbitaexplorationen vermieden werden.

Die Sofortversorgung von Gesichtsschädelfrakturen, insbesondere bei Beteiligung des naso-orbito-ethmoidalen Komplexes ist der Sekundärversorgung im Hinblick auf funktionelle Wiederherstellung überlegen und sollte daher primäres Ziel der Therapie darstellen [4]. Der limitierte Zugang zur Periorbitalregion macht jedoch eine intraoperative Visualisierung notwendig, um Teilschritte des rekonstruktiven Vorgehens kontrollieren zu können und so die aufeinander abgestimmten Teilrekonstruktionen detailgetreu vornehmen zu können. Die intraoperative Computertomografie bietet hier die Möglichkeit einer intraoperativen Darstellung. Gänzlich ohne Strahlenbelastung und ohne Unterbrechung des Eingriffs ist die intraoperative Stellungskontrolle bei Orbita- und Mittelgesichtsrekonstruktionen durch den Einsatz der intraoperativen Navigation möglich. Zu jeder Phase des operativen Eingriffs ist eine detailgetreue direkte oder indirekte Visualisierung der knöchernen und bedingt auch der weichgewebigen Strukturen möglich (**Abb. 5**).

Eine notwendige intraoperative Visualisierung kann einerseits durch die intraoperative Computertomografie oder gänzlich ohne Strahlenbelastung und ohne Unterbrechung des Eingriffs durch den Einsatz der intraoperativen Navigation erreicht werden.

Bei isolierten Frakturen der Orbitawände (mediale Wand oder Orbitaboden) ist eine verzögerte Sofortversorgung die Regel, da diese Frakturen bei der Erstversorgung oft dem Untersucher entgehen oder bei Ausbleiben von funktionellen Einschränkungen (Doppelbilder, Sensibilitätsstörungen im Ausbreitungsgebiet des N. infraorbitalis) häufig übersehen oder ihre Therapiebedürftigkeit unterschätzt wird. Insbesondere bei Orbitawandfrakturen mit Beteiligung des Übergangs von Orbitaboden zu medialer Wand oder bei vollständigem Orbitabodenabriss ist die limitierte Sicht bei Verwendung des zu favorisierenden transkonjunktivalen Zugangs oft ein Grund für das Fehlpositionieren der Rekonstruktionsmaterialien. Eine notwendige Sekundärkorrektur hat bedingt durch die begleitenden Weichteilveränderungen und die zentralen Ausgleichsvorgänge entscheidende Nachteile gegenüber der anatomisch korrekten Primärrekonstruktion (Doppelbilder werden in der Sehrinde ausgeglichen und können nach Sekundärkorrekturen persistieren). Bei diesen Frakturmustern ist daher eine intraoperative Visualisierung erforderlich, um derartige Fehlstellungen zu vermeiden und die Zahl der notwendigen Sekundärrekonstruktionen deutlich zu verringern. Alloplastische Materialien wie z.B. Titangitter werden in der Anwendung autologer Knochentransplantate aufgrund besserer Vorhersagbarkeit und fehlender Entnahmemorbidität mehr und mehr verdrängen. Bei ausgedehnten Zertrümmerungen des Gesichtsschädels erreicht die voxelbasierte Datenverarbeitung eine anschauliche Darstellung der Frakturmuster in 2- und 3-dimensionaler Form. Bei beidseitigen oder zentralen Trümmerungen oder Defektbildungen sind freie Segmentierungen zur Simulation der Idealrekonstruktion notwendig [10]. Mithilfe von voxelbasierter Planung und intraoperativer Navigation kann auch bei ausgedehnten Orbitawandfrakturen und sogar panfazialen Frakturen

auf den Koronarschnitt verzichtet werden, wenn der naso-orbito-ethmoidale Komplex nicht mehrfach frakturiert ist oder der mediale Lidwinkel refixiert werden muss.

Bei komplexen Orbitawandfrakturen wird zunächst eine Autosegmentierung des CT-Datensatzes in anatomische und chirurgische Einheiten durchgeführt. Anschließend kann durch Freiverformung der Segmente (bilaterale Frakturen) oder durch Spiegelung der nicht betroffenen Gegenseite (unilaterale Frakturen) mit anschließender Ausrichtung der Segmentierung eine virtuelle Schablone zur Orbitarekonstruktion erstellt werden. Präformierte Titanimplantate können präoperativ virtuell inseriert und deren Passform überprüft werden. Die Größendimensionen dieser Implantate wurden aus Hunderten von CT-Datensätzen unveränderter Orbita- und Periorbitalregionen ermittelt [5]. Intraoperativ erfolgt zunächst die Referenzierung des Navigationssystems entweder mit der Oberkieferschiene oder anhand der präoperativ inserierten Kalottenschrauben. Um ein ungestörtes Operieren zu ermöglichen, wird die Schiene anschließend entfernt und nur zur intraoperativen Rereferenzierung erneut eingesetzt. Rereferenzierungen sollten nach allen Manipulationen mit hochgradigen Erschütterungen des Operationsfelds durchgeführt werden, wie z.B. Osteotomien oder Knochentransplantatentnahmen aus der Schädelkalotte. Die Gesamtdauer der Rereferenzierung (1–3 pro Eingriff) beträgt bei diesen Eingriffen im Mittel 5–15 Minuten. Die pointerbasierte Navigation im Anschluss an die Referenzierung umfasst die Stellungskontrolle der Jochbeinprominenz und der Jochbeinoberfläche nach Reposition und vor Osteosynthese und die Oberflächenabastung der inserierten Titangitter und/oder Knochentransplantate in der Orbita vor Fixierung. Auch die Projektion des Bulbus ist mithilfe der pointerbasierten Navigation bestimmbar, um Rückschlüsse auf Schwellungsverhalten und zu erwartende sagittale Bulbusprojektion im Seitenvergleich ziehen zu können. Nach transkonjunktivaler Insertion des Titangitters wird die Position mittels intraoperativer Navigation überprüft [7]. Die Pointerspitze liegt auf dem inserierten Titangitter und die Position der Pointerspitze in Relation zur virtuellen Rekonstruktionsschablone zeigt die aktuelle Stellung des Titangitters an. So können Position und Passform der Implantate intraoperativ kontrolliert und beliebig oft

verändert werden. Abschließend erfolgt eine intraoperative Bildgebung mit einem 3-D-C-Bogen (intraoperative Volumetomografie). Durch Datensatzfusion mit dem präoperativen Datensatz und der präoperativen Simulation lässt sich auch mit kleinen intraoperativen Bildausschnitten (Strahlenreduktion) eine millimetergenaue Validierung des Rekonstruktionsergebnisses nach der Orbitarekonstruktion mit einem anatomisch präformierten Titangitter erheben. So können auch ausgedehnte Rekonstruktionen von Orbitaboden und medialer Orbitawand, welche sonst eines Koronarschnitts bedurften, durch die kombinierte Anwendung anatomisch präformierter Implantate, der intraoperativen Navigation und der intraoperativen Bildgebung ohne sichtbare Narben durch einen ausschließlich transkonjunktivalen Zugang erfolgen (Abb. 6).

Durch präoperative Planung, intraoperative Navigation und abschließende intraoperative Computertomografie in Kombination mit der Verwendung anatomisch präformierter Implantate können selbst komplexeste Rekonstruktionen von Orbitaboden und medialer Orbitawand ohne sichtbare Narben durch einen ausschließlich transkonjunktivalen Zugang erfolgen.

Sekundärrekonstruktionen des Gesichtsschädels

Sekundärrekonstruktionen des Mittelgesichts stellen aufgrund der stattgefundenen Weichteilatrophen und Vernarbungen hohe Anforderungen an den Behandler. Aufgrund der komplexen anatomischen Gegebenheiten der Orbita und der Periorbitalregion ist eine funktionelle und ästhetische Rekonstruktion mit autologen Knochentransplantaten oftmals erschwert [3]. Deutlich einfacher ist die Rekonstruktion des Mittelgesichts mit einer Kombination aus Titan und mikrovaskulär anastomosierten Weichgewebstransplantaten. Mithilfe der computerassistierten Chirurgie kann die knöcherne Rekonstruktion detailliert geplant werden und intraoperativ die Titanrekonstruktion aus Mini- und Mikroplatten sowie Mesh-Strukturen gefertigt werden. Intraoperativ und postoperativ ist eine Validierung des Rekonstruktionsergebnisses durch Bilddatensatzfusion oder Import der virtuellen Schablone in den postoperativen Datensatz sinnvoll. Vorteilhaft bei derartigen Vorgehen sind die Zeitersparnis und die Risikoreduzierung, da Transplantatverluste bei Com-

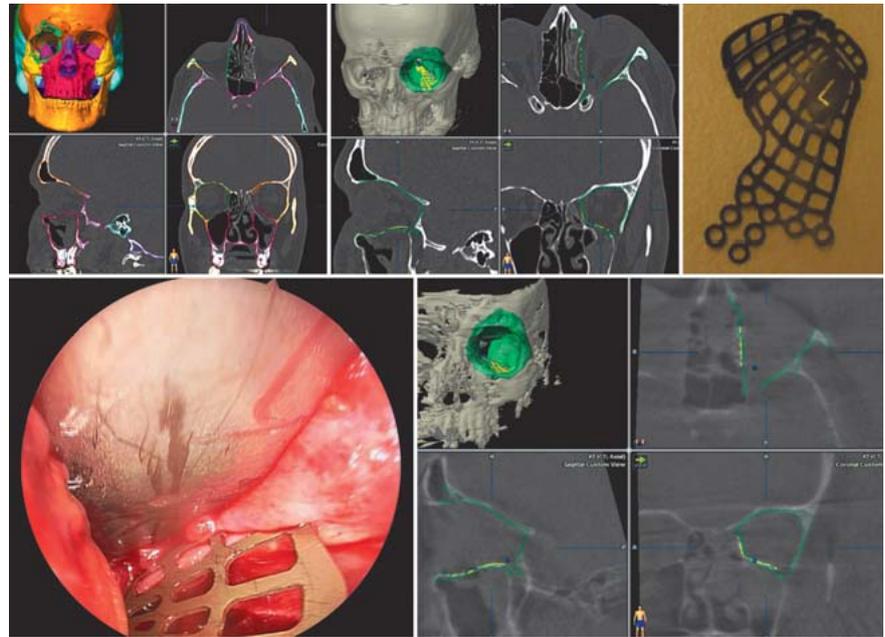


Abb. 6 Computerassistierte Primärrekonstruktion der linken Orbita mit einem anatomisch präformierten Implantat. Oberer Bildteil links: Virtuelle Planung und Erstellung der Schablone zur Orbitawandrekonstruktion durch Autosegmentierung der knöchernen anatomischen Regionen (farbige Konturlinien). Oberer Bildteil rechts: Virtuelle Rekonstruktion der Orbitawände durch Spiegelung der Segmentierung von der unverletzten Gegenseite (grüne Konturlinien) und virtuell inseriertes anatomisch vorgeformtes Orbitaimplantat (gelbe Konturlinien). Die virtuelle Insertion des anatomisch vorgeformten Titanimplantats erlaubt die Überprüfung der Passform und die Größenauswahl des Orbitaimplantats. Die Positionierung des Implantats (gelbe Konturlinien) erfolgt gemäß der virtuellen Orbitarekonstruktion (grüne Konturlinien). Unterer Bildteil links: Endoskopische Darstellung des eingebrachten Titanimplantats im Bereich des Orbitabodens. Unterer Bildteil rechts: Intraoperativer CT-Datensatz nach Insertion und navigationsgestützter Positionierung des anatomisch präformierten Orbitaimplantats. Die Fusion mit dem präoperativen Datensatz ermöglicht die Visualisierung der virtuellen Orbitarekonstruktion (grüne Konturlinien) und der Idealposition des Implantats (gelbe Konturlinien) im intraoperativen Datensatz zur Ergebniskontrolle.

posite-Grafts aufgrund der schwierigeren Handhabung deutlich höher liegen. Nachteilig bei der Verwendung von Titan in Kombination mit Weichgewebe ist bei Oberkieferdefekten die Schwierigkeit der prothetischen Versorgung mit dentalen Implantaten. Insertion von Jochbeinimplantaten oder zusätzliche knöcherne Oberkieferrekonstruktionen sind hier erforderlich [7]. Die Sekundärrekonstruktion ausgedehnter Defekte im Bereich der Periorbitalregionen kann mit alloplastischem Material (Titan), autologen Knochentransplantaten (Kalotte) und mikrovaskulär-anastomosierten Weich- und Hartgewebstransplantaten erfolgen. Da die intraoperative Navigation alle Informationen über die geplante Gesichtsschädelkontur verfügbar macht, ist die rechnergestützte Insertion und Positionierung der Rekonstruktionsmaterialien auch bei schlechter Übersicht durchführbar. Basierend auf stereolithografischen Modellen, welche bereits präoperativ die Rekonstruktion angefertigt wer-

den (Abb. 7). Diese kann intraoperativ mithilfe der intraoperativen Instrumentennavigation positioniert und abschließend mit der intraoperativen Bildgebung validiert werden.

Basierend auf virtuell rekonstruierten stereolithografischen Modellen kann präoperativ die Rekonstruktion gefertigt werden. Diese kann intraoperativ mithilfe der intraoperativen Navigation positioniert und abschließend mit der intraoperativen Bildgebung validiert werden.

Um den Unterkiefer zu rekonstruieren und hierbei die Unterkieferform und -kontinuität wiederherzustellen, werden konfektionierte Unterkieferrekonstruktionsplatten verwendet, die dem Restkieferknochen aufgeschraubt werden. Aufgrund der komplexen Anatomie des Unterkiefers mit einer ausschließlich gelenkigen Verbindung zum restlichen Schädel durch die beiden Kiefergelenke müssen diese Platten normalerweise intraoperativ angebogen werden. Über „ra-

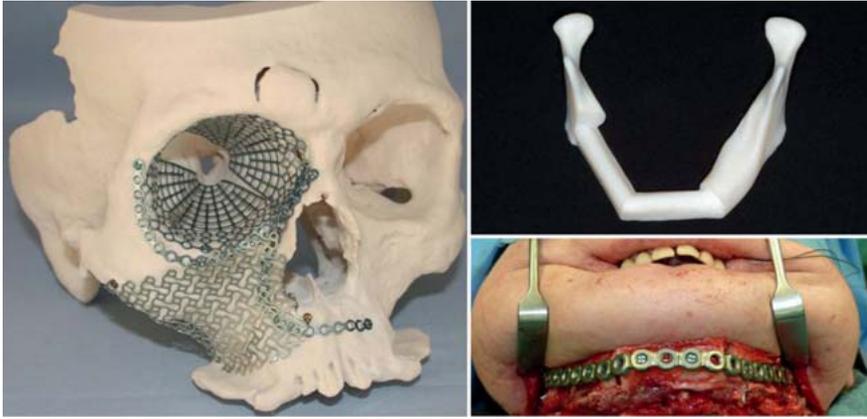


Abb. 7 Computerassistierte Sekundärrekonstruktion des Gesichtsschädels. Links: Die Sekundärrekonstruktion des Mittelgesichts und der Orbita wird mit am Stereolithografiemodell des Patienten vorgebogenen Titanimplantaten durchgeführt. Das Modell wurde anhand der präoperativ geplanten und virtuell erstellten Rekonstruktion hergestellt und dient somit als Schablone zum Anfertigen und Formen der Implantate. Rechts: Die Unterkieferrekonstruktion mit patientenspezifisch präformierten Rekonstruktionsplatten erfolgt durch ein präoperativ hergestelltes Stereolithografiemodell zur Simulation der Unterkieferrekonstruktion z. B. mit einem Fibulatransplantat. Das Fibulatransplantat wird an die Rekonstruktionsplatte angebracht und nach Unterkieferresection an den Unterkieferstümpfen fixiert.

pid prototyping“ ist es möglich, beliebige patientenspezifische 3-D-Modelle aus Computertomografiedatensätzen herzustellen. War anfänglich die Einführung von solchen Sterolithografiemodellen für die Operationsplanung im letzten Jahrtausend noch ein kosten- und zeitintensiver Luxus, so steht heutzutage durch 3-D-Drucker eine präzise, zeitarmer und kostengünstige Technologie zur Herstellung solcher 3-D-Modelle im klinischen Routinebetrieb zur Verfügung [1]. An diesen Modellen lassen sich problemlos patientenspezifische Unterkieferrekonstruktionsplatten in gewünschter Form und Länge präoperativ vorbereiten. Auch Schraubenzahl und optimale Schraubenlängen können bereits präoperativ ermittelt werden [8,9]. Durch eine zusätzliche Herstellung von Plattenrepositionsschlüsseln lässt sich die Plattenposition vom Modell in den Operationssitus übertragen. Bei Sekundärrekonstruktionen kann so die Planungssituation vom Modell in den Operationssitus übertragen werden [8,9]. Auch Länge und Form eines möglichen Knochen- transplantats können bereits präoperativ bestimmt und geplant werden. Diese Planung kann am Modell durchgeführt werden. Jedoch besteht durch die Verwendung entsprechender Software auch die Möglichkeit, die Rekonstruktionen virtuell am Computer zu planen, um dann ein der Planung entsprechendes 3-D-Modell ausdrucken zu lassen (**Abb. 7**). Dieses kann zur Herstellung einer patientenspezifischen präformierten Unterkieferrekonstruktionsplatte

verwendet werden. Auch virtuell geplante Resektionen können durch präoperativ hergestellte sog. „cutting templates“ in den Operationssitus übertragen werden [2]. Ein solches Vorgehen führt im Vergleich zu intraoperativ gebogenen Platten zu einer deutlichen Reduktion der Operationszeiten und zu vorhersagbaren Rekonstruktionsergebnissen.

Bei der Unterkieferrekonstruktion führen patientenspezifisch präformierte Unterkieferrekonstruktionsplatten zu einer deutlichen Reduktion der Operationszeiten und zu vorhersagbaren Rekonstruktionsergebnissen.

Fazit für die Praxis

Für den klinischen Therapieeinsatz der computerassistierten Chirurgie bei der Gesichtsschädelrekonstruktion ergeben sich folgende Vorteile:

- Durch den Einsatz virtueller Operationsschablonen können Primär- und Sekundärrekonstruktionen des knöchernen Gesichtsschädels vorhersagbar durchgeführt werden, da sie durch Anwendung der intraoperativen Navigation in Kombination mit intraoperativer Bildgebung geführt werden.
- Die intraoperative Korrelation von prä- und posttherapeutischen Bildatensätzen erlaubt eine millimetergenaue Validierung des Operationsergebnisses bei komplexen Gesichtsschädelrekonstruktionen.
- Durch patientenspezifische Implantate wird die Operationszeit verkürzt

und das Rekonstruktionsergebnis vorhersagbar. Diese Implantate können anatomisch vorgeformt sein und präoperativ am Datensatz virtuell ausgewählt werden oder an präoperativ erstellten Stereolithografiemodellen individuell angefertigt werden.

Literatur

- ¹ Cohen A, Laviv A, Berman P et al. Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 108: 661–666
- ² Eufinger H, Wehmöller M, Machtens E. Individual prostheses and resection templates for mandibular resection and reconstruction. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1997; 35: 413–418
- ³ Gellrich NC, Schramm A, Hammer B et al. The value of computer aided planning and intraoperative navigation in orbital reconstruction. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1999; 28: 52–53
- ⁴ Gellrich NC, Schramm A, Hammer B et al. Computer-assisted secondary reconstruction of unilateral posttraumatic orbital deformities. *Plast Reconstr Surg* 2002; 110: 1417–1429
- ⁵ Kamer L, Noser H, Schramm A et al. Orbital form analysis: problems with design and positioning of precontoured orbital implants – a serial study using post-processed clinical CT data in unaffected orbits. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2010; 39: 666–672
- ⁶ Schramm A, Gellrich NC. Intraoperative Navigation und computer-assistierte Chirurgie. In: Schwenzer N, Ehrenfeld M, Hrsg. *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde/Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*. Stuttgart, New York: Thieme; 2011: 478–499
- ⁷ Schramm A, Gellrich NC, Schmelzeisen R. *Navigational surgery of the facial skeleton*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 2007
- ⁸ Wilde F, Plail M, Riese C et al. Mandible reconstruction with patient-specific pre-bent reconstruction plates: comparison of a transfer key method to the standard method-results of an in vitro study. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2011; 19 [Epub ahead of print]
- ⁹ Wilde F, Riese C, Heufelder M et al. Unterkieferrekonstruktion mit patientenspezifisch präformierten Osteosyntheseplatten. Abstractband 14. Jahreskongress der Österreichischen Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie; 2010: Tu5
- ¹⁰ Zizelmann C, Gellrich NC, Metzger MC et al. Computer-assisted reconstruction of orbital floor based on cone beam tomography. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2007; 45: 79–80

Dr. med. Dr. med. dent. Frank Wilde
Leitender Oberarzt
Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Alexander Schramm
Ärztlicher Direktor

Mund-, Kiefer- und plastische
Gesichtschirurgie
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Akademisches Krankenhaus
der Universität Ulm
Oberer Eselsberg 40
89081 Ulm

dr.frankwilde@yahoo.de