

Computerassistierte Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

Stefan Haßfeld, Jakob Brief und Joachim Mühling

Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie; Universität Heidelberg

Computer gewinnen zunehmend als Werkzeug zur Unterstützung von Diagnose, Operationsplanung und Therapie Bedeutung in der Medizin und Zahnmedizin. In nahezu allen medizinischen Disziplinen ist die Tendenz die bisherigen Grenzen herkömmlicher Operationsmethoden zu durchbrechen vorhanden. In unserem Fachgebiet betrifft dies alle Bereiche von der dentalen Implantologie bis zur Behandlung kraniofazialer Fehlbildungen und fortgeschrittener Tumore in dieser anatomisch komplexen Region. Der Vorteil einer computerunterstützten Operation zeigt sich besonders dann, wenn ein Abgleich des im Rechner abgespeicherten Patientendatenmodells mit den tatsächlichen Gegebenheiten des Patienten in vivo während einer Operation, zur Unterstützung des Chirurgen, erfolgen kann. Dieses Ziel der interaktiven, intraoperativen Nutzung dreidimensionaler Bilddaten ist mit Instrumentennavigationssystemen bereits heute teilweise verwirklicht.

Diagnostik

Dreidimensionale Bildgebungstechniken wie CT, MRT und (3D-)Ultraschall stellen nahezu alle anatomischen und pathologischen Einzelbefunde in hoher Auflösung und guter Qualität dem menschlichen Vorstellungsvermögen entsprechend dar. Verbesserungen der Artefaktreduktion und eine automatische Fusion unterschiedlicher Bildmodalitäten sind in Entwicklung. Nach dem derzeitigen Stand der Technik ist es nicht möglich, automatisch Gewebearten (abgesehen von Knochen und Hautoberfläche) aus den Tomographiedaten zu segmentieren. Die Kenntnis der exakten Lage von Risikoregionen (Gefäße, Nerven) ist jedoch beispielsweise beim Einsatz von Robotern besonders wichtig, um eine Kollision bereits bei der Planung der vom Roboter auszuführenden Operationsschritte zu vermeiden. Große Schwierigkeiten bereitet bisher auch die Modellierung von elastischen Gewebeanteilen. Auch in näherer Zukunft wird aufgrund der Komplexität des Weichgewebes und der daraus resultierenden enormen Rechenzeiten eine annähernd getreue Abbildung auf ein Rechnermodell nur ansatzweise möglich sein.

Planung und Simulation

Ziel der Operationsplanung in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie ist die Optimierung des Operationsergebnisses hinsichtlich funktioneller und ästhetischer Aspekte (Abb. 1).



Abb. 1:
 Operationsplanung am Computer. Einbeziehung des Tastsinns als Teil der Mensch-Maschine-Schnittstelle durch Integration eines Krafrückkoppelungs-Eingabegerätes (PHANTOM, Fa. SensAble Technologies, USA). Dem planenden Chirurgen wird suggeriert, er würde direkt auf der Haut- oder Knochenoberfläche einen Schnitt setzen. (Kooperation mit Prof. Dr.-Ing. H. Wörn, Universität Karlsruhe)

Softwareentwicklungen zum virtuellen Schneiden und Verschieben von Knochenteilen ermöglichen eine patientenspezifische Simulation komplexer knochenverlagernder Eingriffe. Durch Kollisionsdetektion wird dabei erkennbar, welche Knochenteile noch modelliert werden müssen. Zur besseren Anschaulichkeit werden die einzelnen Knochensegmente farblich unterschieden (Abb. 2). Nach Festlegung der optimalen Verschiebungsdistanz auf dem Rechnerbild können die ermittelten Werte mit Hilfe des Navigationssystems exakt auf den Operationssitus des Patienten übertragen werden. Dadurch wird eine optimale Präzision der Eingriffe gewährleistet.

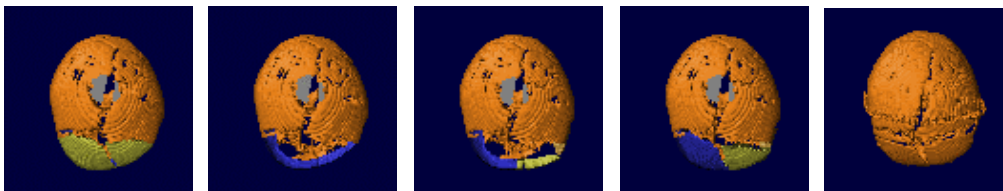


Abb. 2: Simulation der Korrektur eines Plagiocephalus (von links nach rechts):
 Segmentierung der Knochenteile.
 Temporäre Entfernung des Stirnbeins.
 Ausformung und Vorverlagerung des orbitalen Segmentes.
 Ausrichtung des Stirnbeins.
 Postoperative Situation zum Vergleich.

Die Simulation der Operationsresultate, d.h. das dreidimensional graphische "Durchspielen verschiedener Osteotomien am Computer" unterstützt den Operateur bei der Planung und der Auswahl der optimalen Operationsmethode. Die 3D-Visualisierung erleichtert die Ergebnisabschätzung der geplanten Operation und die Diskussion mit Kollegen. Auch der Patient erhält die Möglichkeit, sich von der Auswirkung der Operation vorab ein Bild zu machen. Die bisherigen Softwareentwicklungen ermöglichen dies bereits in prototypischer Weise. Vereinfachung und Flexibilisierung sind hierbei dringend notwendig. Die Geschwindigkeit der Visualisierung ist aber oft noch nicht zufriedenstellend. Erst die interaktive 3D-Visualisierung in Echtzeit ermöglicht beispielsweise die Folgen einer Knochenverlagerung dreidimensional genau abzuschätzen und Volumenänderungen oder eventuelle Kollisionen von Knochensegmenten zu erkennen. Zudem ist die Abschätzung des postoperativen Weichteilbildes nur konzeptionell angedacht und noch in keiner Weise realitätsgetreu verwirklicht.

Operative Umsetzung

Anatomisch und pathologisch relevante Strukturen oder Planungsdaten können durch direkte Projektion auf den Patienten oder virtuell durch Einspiegelungen in eine 3D-Durchsichts-Brille realisiert werden. Derartige *See-Through-Devices* oder *Head-Mounted-Displays* sind, u.a. für militärische Anwendungen, bereits verfügbar. Im medizinischen Einsatz und für den Einsatz im

Operationssaal müssen sie allerdings noch modifiziert werden. Als Alternative dazu bietet sich die Projektion der gewünschten Informationen direkt auf den Patienten an.

Seit einigen Jahren sind *Instrumentennavigationssysteme* verfügbar, die durch die dreidimensionale Visualisierung der aktuellen Position und Richtung des OP-Instruments den Chirurgen interaktiv während der Eingriffe unterstützen. Die Präparationssicherheit in anatomisch schwierigen Bereichen wird erhöht, Resektionsgrenzen in der Tumorchirurgie können festgelegt werden und in der plastischen und rekonstruktiven Chirurgie wird die gezielte schnelle Umsetzung der rechnergestützten Planung möglich.

Beim autonomen *Robotereinsatz* übergibt der Chirurg dem Operationsroboter für gewisse Abschnitte die Operation komplett. Ist der Vorgang beendet, fährt der Roboterarm an seine Basis zurück, wird vom Operationstisch zurückgezogen, und der Chirurg übernimmt wieder die Operation. Ein Operationsroboter ist hier also als ein Werkzeug zu betrachten, das dem Chirurgen einzelne Vorgänge, für die eine hohe Anforderung an Präzision besteht, abnimmt. Sehr vielversprechend erscheint uns auch die Entwicklung von (semiaktiven) Nachführsystemen. Dem Operateur wird dabei entsprechend der Operationsplanung ein Korridor für die Richtung der Operationsinstrumente vorgegeben. Dies wäre beispielsweise mit einem Manipulatorarm, der computergesteuert die Säge des Chirurgen auf der berechneten Osteotomiebahn führt, also einer ferngesteuerten Führungsleithilfe für den Chirurgen zu verwirklichen. Der Operateur führt das mit dem Manipulatorarm verbundene Instrument selbst, eine eventuelle Abweichung vom geplanten operativen Vorgehen wird aber gemeldet oder unter Umständen durch Aktivierung von Kraftrückkopplungssystemen die Abweichung vom geplanten Pfad im Bereich von Risikozone(n) (wie Nerven, Blutgefäße) durch das System verhindert.

Perspektiven

Die Computer- und Robotertechnik optimiert die Operationsplanung und hilft, die Präzision und Qualität der operativen Umsetzung zu steigern. Durch die vorausblickende Kontrolle des operativen Risikos können heute noch bestehende Indikationsgrenzen durchbrochen und völlig neuartige Eingriffe durchgeführt werden.

Auch wenn viele der publizierten Systeme noch prototypenhaften Charakter haben, lassen sie sich bereits heute zum Wohle unserer Patienten einsetzen. Nachdem die Machbarkeit bewiesen werden konnte, besteht die künftige Aufgabe darin, eine leichte und intuitive Handhabung zu ermöglichen. Dies wird zu einem breiten Einsatz dieser Techniken in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie führen.

PD Dr. Dr. Stefan Haßfeld
Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie
Im Neuenheimer Feld 400
69120 Heidelberg
shassfeld@med.uni-heidelberg.de

Danksagung

Die präsentierten Arbeiten wurden teilweise im Rahmen des Sonderforschungsbereichs "Informationstechnik in der Medizin - Rechner- und sensorgestützte Chirurgie" (SFB 414) von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.