

Sebastian Kallus
Dr. sc. hum.

Konzeption und Realisierung eines EM-Navigationssystems zur Unterstützung tumorbedingter Unterkieferrekonstruktionen mittels mikrovaskulärer Wadenbein-Transplantate

Fach/Einrichtung: Medizinische Biometrie u. Informatik
Doktorvater: Prof. Dr.-Ing. Hartmut Dickhaus

Die Arbeit befasst sich mit der Problematik komplexer Unterkieferrekonstruktionen, bei denen ein größerer Teil des Unterkiefers samt Kiefergelenk aufgrund eines lokal ausgedehnten Tumors entfernt wird. Mit der Kontinuitätsresektion des Unterkiefers inklusive Entnahme eines Kiefergelenks geht unmittelbar ein enormer Funktionsverlust für den Patienten einher, welcher die Nahrungsaufnahme, die Kau-, Sprach- und Schluckfähigkeit stark beeinträchtigt. Zur funktionalen und ästhetischen Wiederherstellung hat sich die autologe Rekonstruktion des Unterkiefers durch körpereigene Wadenbeintransplantate, mit denen sich auch ein neues Kiefergelenk modellieren lässt, als therapeutischer Goldstandard etabliert.

Bei derart komplexen und schwierig durchzuführenden Operationsaufgaben können intraoperative Navigationssysteme in besonderem Maße hilfreich sein, indem sie dem Chirurgen während der OP wichtige zusätzliche Informationen bereitstellen. Kommerziell verfügbare Systeme für die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (MKG) basieren aktuell fast ausschließlich auf optischer Tracking-Technologie. Aufgrund technologischer Limitationen sind diese Systeme in der MKG jedoch begrenzt einsetzbar und entsprechen nicht den Anforderungen der rekonstruktiven Gesichtschirurgie.

Ziel dieser Arbeit ist die Realisierung eines klinisch einsetzbaren Navigationsprototypen, welcher die speziellen Anforderungen an die tumorbedingte Unterkieferrekonstruktion mittels Wadenbeintransplantaten adressiert und erfüllt. Die Konzeption und Entwicklung erfolgte in enger Kooperation mit der Heidelberger Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie.

Das Assistenzkonzept berücksichtigt einen elektromagnetischen Messaufbau einschließlich eines Designentwurfs knochenfixierbarer Sensoren sowie die Integration unterschiedlicher OP-Planungsdaten. Ebenso sind klinisch einsetzbare Registrierungsansätze zur Lokalisierung unterschiedlicher Knochenstrukturen (Schädel, Unterkiefer und Fibulatransplantat), eine intuitive

Benutzerrückkopplung, welche den Chirurgen während der Rekonstruktion dediziert unterstützt, sowie ein intraoperativ anwendbares Interaktionskonzept zentrale Entwicklungsaspekte.

Die wesentlichen Vorzüge des realisierten Navigationsverfahrens bestehen darin, dass der Chirurg erstmals zu jedem Zeitpunkt die anatomische Verlagerung des Unterkiefers, des Transplantatkomplexes und definierter Stützstellen relativ zum Schädel korrekt und unmittelbar nachvollziehen kann. Möglich wird dies durch den Einsatz von elektromagnetischer Messtechnik und miniaturisierter Sensorik, die sich an kleinen Knochenstrukturen flexibel fixieren lässt. Durch das miniaturisierte Design wird der Chirurg in seiner Bewegungsfreiheit kaum eingeschränkt. Der OP-Plan wird während der Rekonstruktionsphase kontinuierlich über die Position der knochenfixierten EM-Sensoren aktualisiert.

Für die Knochensegment-Navigation wurde ein spezielles Visualisierungskonzept, welches die aktuelle Lage der betreffenden Segmente mit dem vorgegebenen Planungsziel abgleicht und visualisiert, in gemeinsamer Regie mit den MKG-Chirurgen erarbeitet und umgesetzt. Durch zusätzliche Distanz- und Winkelangaben sowie distanzbasierte Farbkodierungen kann der Chirurg die Entfernung einzelner Objekte (und speziell definierter Stützstellen) zum Ziel genau einschätzen und die Knochenstrukturen präzise in die geplante Endstellung positionieren.

Die technische Evaluierung des entwickelten Navigationsprototypen einschließlich der implementierten Registrierungsverfahren wurde mit Hilfe 3D-gedruckter Schädelphantome, die auf realen Patientendatensätzen basieren, hinsichtlich Genauigkeit und Usability untersucht und evaluiert. Innerhalb einer Phantomstudie wurden insgesamt 25 UK-Rekonstruktionen von Chirurgen und Technikern durchgeführt. Eine klinische Erprobung am Patienten demonstriert die Integration und operative Einsetzbarkeit des Systems.

Das Assistenzkonzept, die Systemrealisierung und die erzielten Ergebnisse werden am Ende kritisch erörtert und diskutiert. Es wird auf entsprechende Limitationen des Verfahrens hingewiesen, es werden mögliche Lösungsansätze dargestellt und ein kurzer Ausblick auf mögliche Funktionserweiterungen und andere Anwendungsgebiete innerhalb der MKG gegeben.

Die Arbeit leistet damit einen wesentlichen Beitrag zur Etablierung der elektromagnetischen Navigation in der kraniofazialen Chirurgie und zeigt damit exemplarisch das mögliche Einsatzspektrum sowie das Potential navigationsgestützter Verfahren im Bereich der MKG.