

Untersuchung der Genauigkeit des RoboJig für die minimal-invasive Cochlea-Implantat-Chirurgie

M. Kluge^{1,2}, Th. S. Rau^{1,3}, G. J. Lexow¹, Th. Lenarz^{1,2,3}, O. Majdani^{1,3}

¹ Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Medizinische Hochschule Hannover

² HörSys GmbH, Hannover

³ Exzellenzcluster "Hearing4all", Medizinische Hochschule Hannover

Einleitung

Das Anlegen eines minimal-invasiven Zugangs zur Cochlea stellt hohe Anforderungen an die Genauigkeit ($\pm 0,25$ mm [1]). Zur Unterstützung des Chirurgen wird aktuell ein neues Mini-Stereotaxiesystem entwickelt, genannt RoboJig (vgl. Abb. 1). Hierbei wird ein wiederverwendbares Trägersystem rigide am Patienten befestigt, auf dem ein patientenindividuell bearbeiteter Rohling montiert werden kann. Die Arbeitsbohrung im Rohling, welche in Position und Orientierung mit der geplanten Trajektorie zum Innenohr übereinstimmt, wird mit Hilfe eines intraoperativ einsetzbaren Fertigungssystems (vgl. Abb. 1c und 3), basierend auf einer manuell verstellbaren Stewart-Gough-Plattform (Hexapod), realisiert.

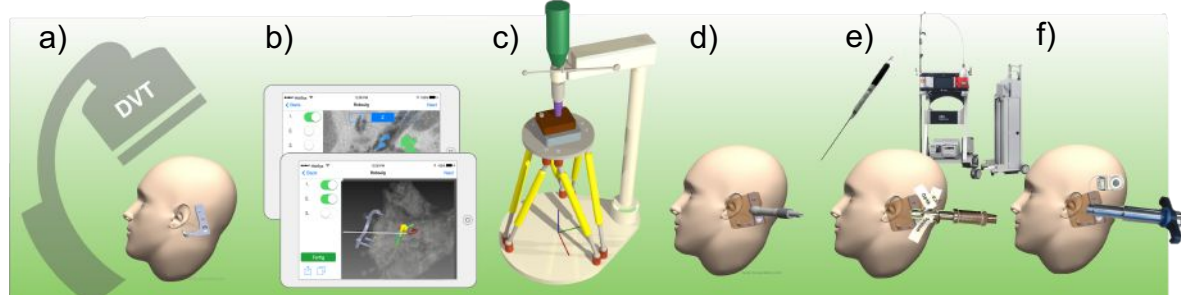


Abb. 1: OP-Ablauf mit RoboJig System: a) Befestigung des Trägersystems am Patienten im retromastoidalen Bereich und Bildgebung mittels CT oder DVT, b) Segmentierung und Trajektorienplanung, c) Individualisierung des Rohlings mit Fertigungssystem, d) Bohrung der Trajektorie, e) Inspektion des Bohrkanals und Eröffnung der Cochlea, f) Elektrodeninsertion

Material und Methoden

Um die Genauigkeit des Systems zu untersuchen, wurden 20 virtuelle Trajektorien mit unterschiedlichen Winkeln geplant (vgl. Abb. 2).

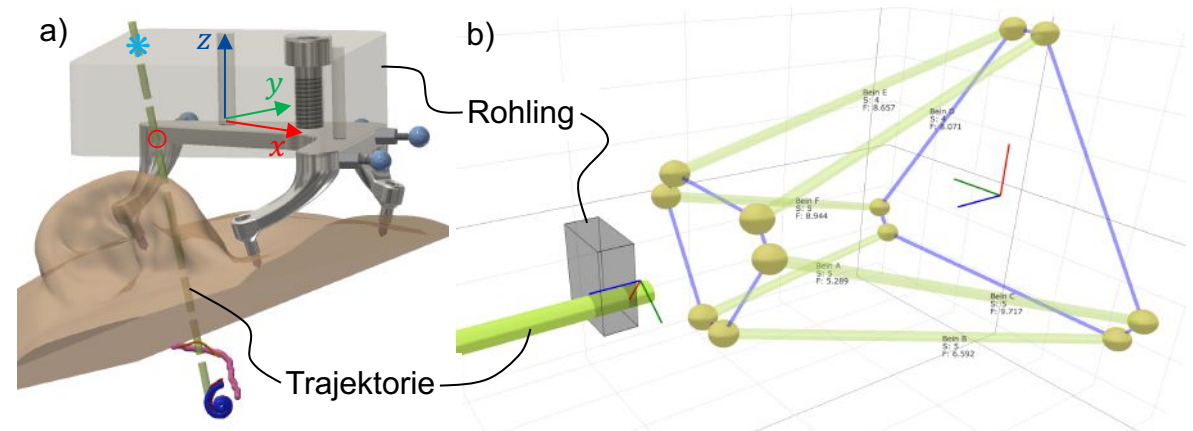


Abb. 2: Planung der Trajektorien: a) befestigtes Trägersystem an einem Phantom mit virtueller Zielstruktur und geplantem Trajektorienverlauf, b) Ausgabe der manuell einzustellenden Konfiguration (Mikrometerschrauben) für das Fertigungssystem aus der Berechnungssoftware der geplanten Arbeitsbohrung im Rohling.

Die Trajektorien wurden in Form einer Stufenbohrung (Arbeitsbohrung) mit den Abmessungen $\varnothing 15$ mm auf $\varnothing 12,5$ mm (vgl. Abb. 4) mittels des intraoperativ einsetzbaren Fertigungssystems in den Rohling eingebracht (vgl. Abb. 3).



Abb. 3: Intraoperatives Fertigungssystem zur patientenspezifischen Individualisierung des Rohlings.

Zur Auswertung der Bohrergenauigkeit (vgl. Abb. 4) wurde die Koordinatenmessmaschine ROMER Absolute Arm Compact (RA7312, Hexagon Metrology GmbH, Wetzlar, Deutschland) mit einer Messgenauigkeit von $\pm 0,025$ mm [2] verwendet.

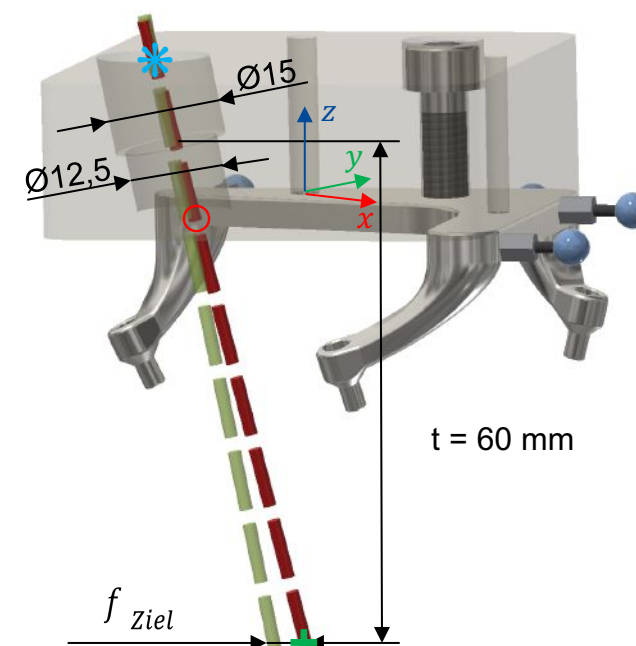


Abb. 4: Ausgemessene Schnittpunkte, rote Achse von Ein- und Austrittspunkt der Stufenbohrung (Arbeitsbohrung) im Rohling, sowie der Schnittpunkt mit einer Ebene am theoretischen Zielpunkt der Cochlea in 60 mm Tiefe. Die Schnittpunkte im Rohling sind am Eintritt durch ein * (Asterisk), am Austrittspunkt durch einen O (Kreis) und am theoretischen Zielpunkt durch ein + (Plus) gekennzeichnet.

Ergebnisse

Der Mittelwert am theoretischen Zielpunkt lag bei $\bar{f} = 0,11$ mm mit einer Standardabweichung von $\sigma = 0,04$ mm. Der Kreis mit dem Radius $r = 0,19$ mm in Abbildung 5 stellt ein Konfidenzintervall von 95,4% am Zielpunkt dar. Der maximale Fehler am Ziel betrug $f_{max} = 0,21$ mm. Um die Messgenauigkeit beurteilen zu können wurde ein Messdurchgang an einem erstellten Bohrloch neun Mal wiederholt. Die erreichbare Messgenauigkeit am theoretischen Zielpunkt lag hier im Mittel bei 0,02 mm mit einer Standardabweichung von 0,015 mm.

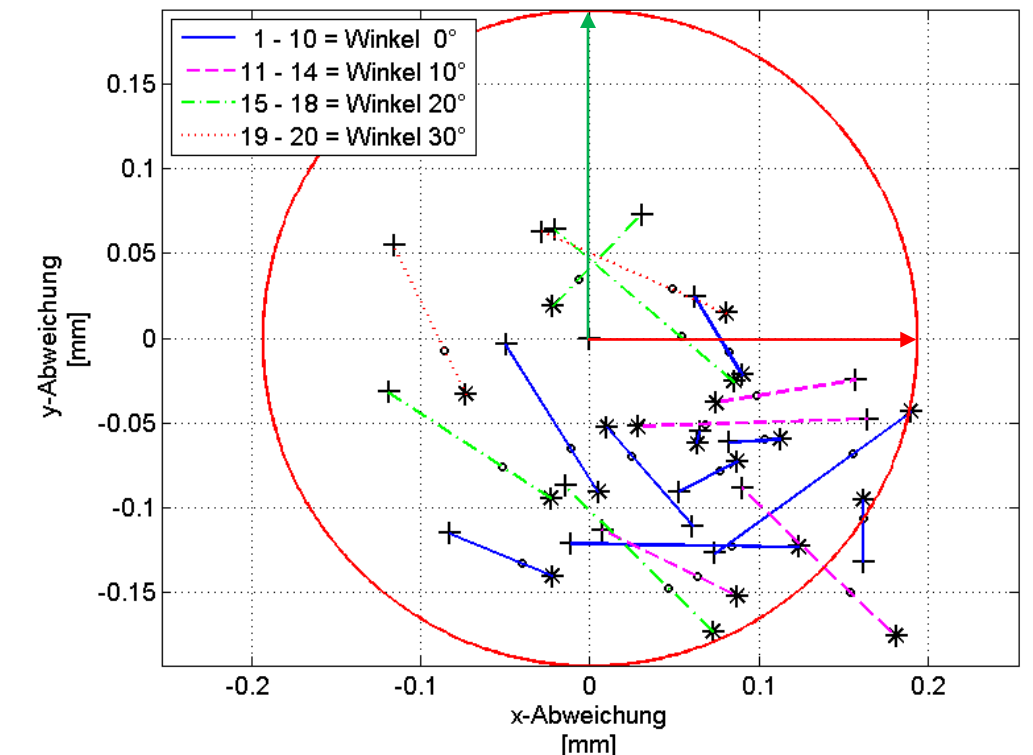


Abb. 5: Messergebnisse in der xy -Ebene. Das Symbol * markiert den Eintrittspunkt und das O kennzeichnet den Austrittspunkt im Rohling. Das + zeigt den Fehler am theoretischen Zielpunkt in 60 mm Tiefe.

Diskussion

Der durchschnittliche Fehler von 0,11 mm liegt im geforderten Genauigkeitsbereich von $\pm 0,25$ mm [1] des minimal-invasiven Zugangs am Zielgebiet. Allerdings ist zu beachten, dass vorangestellte Fehler wie z.B. durch die Bildgebung und der Segmentierung und auch nachfolgende Fehler wie z.B. durch das Bohren der Trajektorie in dieser Studie nicht berücksichtigt sind.

Schlussfolgerung

Die Genauigkeit der vorgestellten Individualisierung des Rohlings durch einen Bohrprozess für den RoboJig ist ausreichend. Eine Zunahme der Fehlergröße bei gleichzeitig zunehmendem Bohrwinkel konnte nicht beobachtet werden. Eine hohe potentielle Fehlerquelle zeigte sich beim Übertragen und Einstellen der Konfiguration des Fertigungssystems. Die Fehlerquelle könnte durch den Einsatz von aktuierten Linearachsen beseitigt werden.

Literatur/Quellenangaben

[1] J. Schipper, A. Aschendorff, I. Arapakis, T. Klenzner, C. B. Teszler, G. J. Ridder, and R. Laszig, "Navigation as a quality management tool in cochlear implant surgery.," *J. Laryngol. Otol.*, vol. 118, no. 10, pp. 764–770, 2004.

[2] "ROMER Absolute Arm Compact | Hexagon Manufacturing Intelligence." [Online]. Available: <http://www.hexagonmi.com/de-DE/products/portable-measuring-arms/romer-absolute-arm-compact>. [Accessed: 19-May-2017].