

Semiquantitative Bestimmung der Spulenposition von Cochlea Implantaten – Methodenevaluation und erste klinische Ergebnisse

M. Leinung, A. Tahtali, C. Settevendemie, T. Rader, T. Stöver

Klinikum der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main
Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
Frankfurt am Main, Germany

Kontakt: martin.leinung@kgu.de

Abstract:

Die Cochlea Implantation ist ein gut standardisierter Eingriff; Variabilität besteht jedoch hinsichtlich der Lage des Implantatgehäuses und somit der Position der Prozessorspule an der Kopfhaut. Eine zu kraniale Spulenposition kann beim Tragen von Kopfbedeckungen hinderlich sein und die Akzeptanz des Implantates beeinträchtigen; eine Position zu nahe an der Ohrmuschel zu einem Konflikt von Spule und HdO-Prozessor führen. Wir entwickelten ein einfaches Verfahren zur Positionsbestimmung von Implantatspulen basierend auf Bildmessungen an einer Fotografie im Profil. An einem Phantom wurden systematisch potentielle Fehlerquellen der Methode validiert. Ziel ist zunächst die Bestimmung der Spulenposition bereits implantierter Patienten mit einer Genauigkeit von $\pm 5\text{mm}$. Eine Weiterentwicklung dieses Verfahrens soll später ermöglichen, eine präoperativ vom Patienten gewünschte Spulenposition intraoperativ umzusetzen.

Schlüsselworte: Cochlea Implantat, Photogrammetrie

1 Problem

Die Cochlea Implantation, d.h. die Versorgung tauber und hochgradig schwerhöriger Patienten mit einer elektronischen Innenohrprothese (Cochlea Implantat = CI), ist ein gut standardisierbarer (und in den meisten Kliniken standardisierter) Eingriff: Auch wenn bezüglich Zugangsweg und genauer Lokalisation der Hörschneckenöffnung (Cochleostomie) kein allgemeiner Konsens besteht, so sind doch die physiologischen Variationen der Felsenbein-anatomie sowie wesentliche Rahmenbedingungen für eine ideale Cochlea Implantation umfangreich untersucht und das operative Vorgehen hiermit in weiten Teilen determiniert.

Variabilität besteht jedoch hinsichtlich der Positionierung des Implantatgehäuses und somit hinsichtlich der Position der Prozessorspule an der äußeren Kopfhaut. Eine zu kraniale Spulenposition kann beim Tragen von Kopfbedeckungen hinderlich sein; zu nahe an der Ohrmuschel kann der hinter dem Ohr getragene Audioprozessor (HdO-Prozessor) den Sitz der magnetisch mit dem Implantat gekoppelten Sendespule behindern. Diese Aspekte sind für die Lebensqualität und Akzeptanz des Implantates durch die Betroffenen durchaus von Bedeutung. Selbst der rein kosmetische Aspekt einer seitensymmetrischen Implantatpositionierung bei bilateraler CI-Versorgung rückt zunehmend in das Bewußtsein der Patienten.

Bislang existiert nach unserer Recherche keine Arbeit, die sich mit der Messung der Position der Implantatspule befaßt. Aus klinischer Sicht liegt die Herausforderung an ein solches Meßverfahren weniger in der Genauigkeit; ein Lokalisationsfehler von $\pm 5\text{mm}$ erscheint für die o.g. Fragestellungen ausreichend. Genauso bedeutsam ist im Sinne der Anwendbarkeit in der klinischen Routine ein minimaler erforderlicher zeitlicher und personeller Aufwand für die Durchführung der Messung und der Verzicht auf Strahlenbelastung (Röntgen oder CT) oder sonstige schädigende Einflüsse. Ferner ist es wünschenswert, wenn die Methode für einen intraoperativen Einsatz modifiziert werden könnte, um später eine präoperativ geplante Implantatposition entsprechend des Patientenwunsches intraoperativ umsetzen zu können.

Inhalt der vorliegenden Studie ist die Entwicklung einer semiquantitativen Messung der Spulenposition sowie deren Validierung am Phantom, um relevante Fehlerquellen abschätzen zu können.

166

2 Methoden

Die semiquantitative Bestimmung der Spulenposition erfolgt an bereits implantierten Patienten zum Zeitpunkt der Erstanpassung (ca. 4 Wochen postoperativ) mittels Fotodokumentation. Implantatspule und Gehörgang werden mit Magneten bzw., Gehörgangsstöpseln markiert, die jeweils mit Reflektorkugeln versehen sind, wie sie auch in der optischen intraoperativen Navigation Verwendung finden. Die Aufnahme wird in der Profilsicht unter Verwendung eines Blitzlichts mit einer handelsüblichen Kamera (5MP, Canon Eos) ausgeführt. Die Reflektoren ermöglichen eine automatische Detektion der Landmarken Gehörgang und Implantatspule. Mithilfe proprietärer Software (editiert in LabView2011) wird zusätzlich die Position des lateralen Lidwinkels manuell im Bild markiert. Mithilfe dieser Landmarken kann die Lage der Implantatspule mathematisch beschrieben werden (s. Abb. 1).

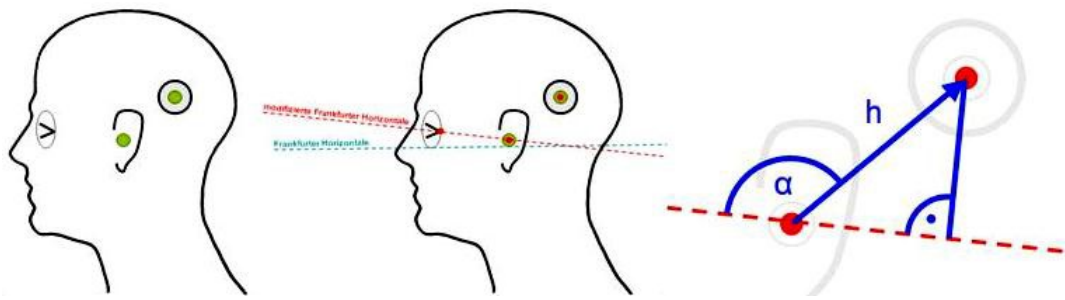


Abb. 1: Prinzip der fotografischen Positionsbestimmung einer Implantatspule: In der Profilansicht wird in Abwandlung etablierter radiologischer Meßverfahren eine modifizierte Frankfurter Horizontale durch die Landmarken lateraler Lidwinkel und Gehörgang gelegt. Fällt man von der Position der Implantatspule ein Lot auf diese Gerade, so ermittelt sich die Distanz zwischen Gehörgang und Spule als Hypotenuse des entstehenden rechtwinkligen Dreiecks.

Zur Validierung dieser Methode im Vorfeld der Patientenstudie wurden am einem Phantom zwei Spulenpositionen mithilfe von Reflektoren markiert: Position S1 beschreibt eine grenzwertig nahe an der Ohrmuschel gelegene Implantatposition, bei der ein direkter Kontakt zwischen Sendespule und HdO-Prozessor zu erwarten wäre. Position S2 markiert ein sehr weit kranial lokalisiertes Implantat, welches in Konflikt mit einer Kopfbedeckung treten könnte.

Mithilfe dieser auf einem Rotationstisch drehbar gelagerten Versuchsanordnung wurden folgende Fragestellungen untersucht (jeweils $n=10$ Wiederholungen unter Konstanzhaltung der übrigen Parameter):

- **Einfluß des Aufnahmewinkels:** Ausgehend von der Profilansicht ($=0^\circ$) heraus wurde das Phantom in 5° -Schritten bis -30° bzw. $+30^\circ$ gedreht.
- **Einfluß der Vergrößerung:** Bei gleichbleibender Gegenstandsweite wurde die Brennweite und konsekutiv die Vergrößerung des Objektivs variiert.
- **Einfluß der Fokusebene:** Fokussierung in der Objektebene sowie 10, 20, 30, 40 und 50 cm vor der Objektebene.
- **Einfluß des Aufnahmeabstandes:** Variation der Gegenstandsweite von 1,5 bis 2,1 m.

3 Ergebnisse

Die Streuung der Meßwerte war in allen Meßserien vernachlässigbar gering mit $<0,4$ Pixeln.

- **Einfluß des Aufnahmewinkels:** Erwartungsgemäß zeigte sich ein signifikanter Einfluß des Aufnahmewinkels auf das Meßergebnis. Abbildung 2 zeigt im linken Diagramm die Veränderung der Meßparameter
 - modifizierte Frankfurter Horizontale (mFH, hier als Strecke zwischen lateralen Lidwinkel und Gehörgang),
 - der Strecken h_1 und h_2 (Abstand der beiden Spulenpositionen S1 und S2 vom Gehörgang)
 - sowie der Winkel α_1 und α_2 zwischen mFH und h_1 bzw. h_2 .

Alle Werte im Diagramm bezeichnen die winkelabhängige Abweichung vom wahren Wert, der durch die Konstruktion des Phantoms bekannt ist. Daher zeigen sich auch bei idealer Profilansicht ($=$ Aufnahmewinkel 0°) systemimmanente Meßfehler, die insbesondere aufgrund der Krümmung der Schädeloberfläche die anatomische Strecke Augenwinkel-Gehörgang zu kurz ermitteln. Kompensatorisch wurden daher alle Längenberechnungen mit dem Faktor 1,14 korrigiert, um eine bessere Näherung der Abstände der Spulenpositionen vom Gehörgang zu erhalten. Der vorgenannte Faktor beschreibt das Verhältnis der realen Entfernungen zweier Landmarken auf der Körperoberfläche zu der im Bild bestimmten Distanz derselben Punkte. Diese werden systematisch zu kurz ermittelt, wobei der Faktor

individuell unterschiedlich groß ist in Abhängigkeit von der Kopfform, der Lage von Gehörgang und Augen, etc. Der Wert 1,14 wurde aus anatomischen Durchschnittswerten und einer modellhaft als elliptisch angenommenen Kopfform berechnet und anhand der Phantommessungen bestätigt.

Im rechten Teilbild von Abb. 2 sind die rekonstruierten Positionen von Augenwinkel, Gehörgang sowie der Spulenpositionen S1 und S2. Veränderung des Betrachtungswinkels beeinflussen vorwiegend die X-Koordinate, d.h. die Position der Implantatspule in antero-posteriorer Richtung. Bei Aufnahmewinkeln $< \pm 15^\circ$ liegt der Fehler der Positionsbestimmung $< \pm 0,5$ cm.

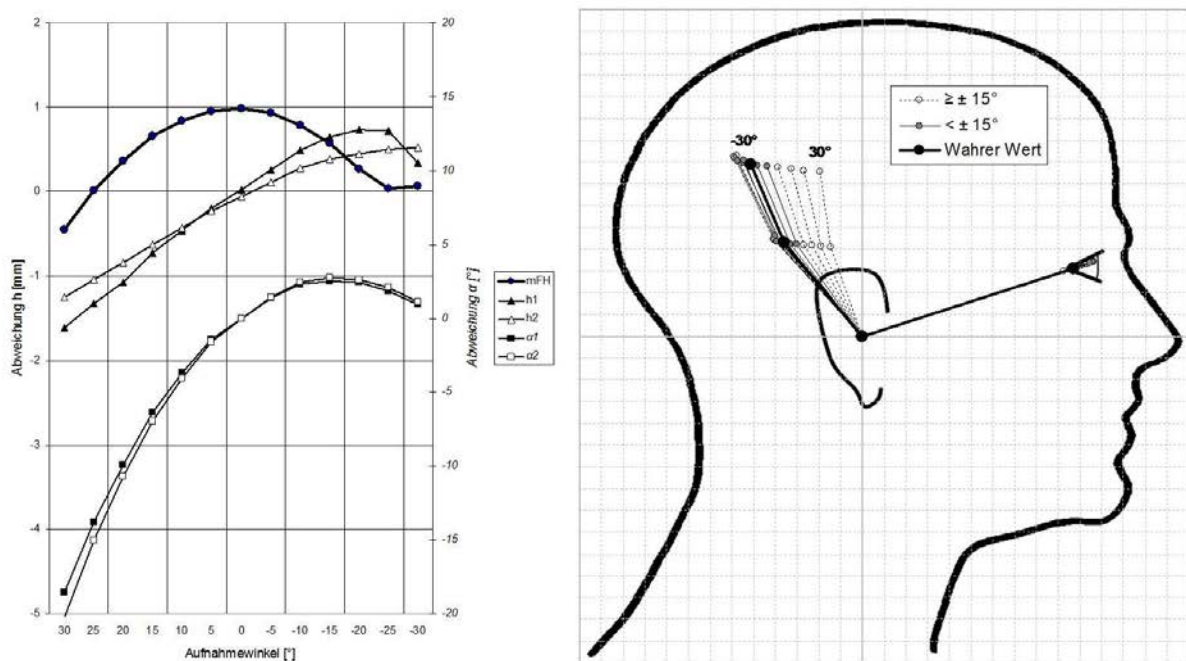


Abb. 2: Linkes Teilbild: Abhängigkeit der Meßparameter mFH, h1, h2, α_1 und α_2 in Abhängigkeit vom Betrachtungswinkel. Rechtes Teilbild: Rekonstruktion der Spulenpositionen S1 (retroaurikulär nahe der Ohrmuschel) und S2 (kranial). Bei Betrachtungswinkeln $< \pm 15^\circ$ liegt der Fehler der Positionsbestimmung im angestrebten Genauigkeitsbereich (Erläuterungen im Text).

- **Einfluß der Vergrößerung:** Variation der Bildauflösung in einem für die angestrebte Anwendung realistischen Bereich von 30x30 bis 90x90 Pixeln pro cm^2 führten zu keiner systematischen Beeinflussung der Positionsbestimmung.
- **Einfluß der Fokusebene:** Durch systematische Defokussierung wird zum einen die Detektionsqualität des Auswertalgorithmus negativ beeinflusst. Während die Winkelbestimmung α_1 und α_2 konstant genaue Werte ergibt, werden die Durchmesser der Reflektorkugeln zu groß ermittelt. Da hierüber die Kalibration des Bildes erfolgt, werden alle nachfolgenden Längenbestimmungen (mFH, h1 und h2) signifikant unterschätzt.
- **Einfluß des Aufnahmeabstandes:** Prinzipiell ermöglicht eine größere Gegenstandsweite in Verbindung mit einer größeren Brennweite einen kleineren Bildwinkel und somit eine verzeichnungärmere Abbildung. Unter Variation der Gegenstandsweite in einem realistischen Bereich von 1,5 bis 2,1 m zeigte sich jedoch keine signifikante Veränderung der Meßparameter.

4 Diskussion

Eine ausführliche Literaturrecherche in den gängigen medizinischen Datenbanken ergab zur Fragestellung der Positionsbestimmung einer CI-Spule keine weiterführende Informationen. Publikationen zum operativen Standardvorgehen [1,2] diskutieren lediglich die Art der Befestigung des Implantates (Subperiostaltasche vs. Knochenbett, mit oder ohne Fadenfixierung) sowie die Art der Durchführung des Elektrodenkabels in das Mastoid. Es wird in der gängigen Literatur darauf hingewiesen, daß das Implantat nicht zu weit anterior platziert sein sollte, damit sich HdO-Prozessor und Sensospule nicht gegenseitig räumlich behindern.

Aus der klinischen Erfahrung sind den Autoren jedoch Patienten bekannt, die für ihre berufliche Tätigkeit Schutz- und Sicherheitshelme umarbeiten lassen mußten, damit eine Nutzung des Implantats während der Arbeit möglich wurde.

168

Ferner ist uns ein Fall bekannt, bei der eine deutlich unterschiedliche Spulenpositionierung der rechten gegenüber der linken Seite einer bilateralen CI-Versorgung zu einer Klage gegen den Chirurgen aufgrund des kosmetischen Aspektes geführt hat. Insofern kann dieser Aspekt im Lebensalltag der Patienten eine wichtige Rolle spielen, auch wenn er zum rein medizinischen oder audiologischen Ergebnis keinen Beitrag leistet.

Die beschriebene Meßmethode zur Bestimmung der Spulenposition eines Cochlea Implantates stellt ein einfaches und für klinische Fragestellungen hinreichend genaues Verfahren dar, welches mit minimalem Aufwand für Patient und Personal in der klinischen Routine durchgeführt werden kann. Angesichts des hohen Entwicklungsstandes handelsüblicher Digitalkameras sind die Parameter Auflösung, Aufnahmeabstand und Fokussierung keine relevanten Fehlerquellen. Wohl aber muß bei den Profilaufnahmen auf den Betrachtungswinkel (ideal: senkrecht zur Sagittalebene) geachtet werden. Bei Einhaltung eines Aufnahmewinkels von $< \pm 15^\circ$ liegt nach unseren Untersuchungen der Meßfehler innerhalb des angestrebten Toleranzbereiches. In der praktischen Anwendung ist eine definierte Stuhlposition für den Probanden sowie eine vertikale Linie an der dem Patienten gegenüberliegenden Wand hilfreich, anhand derer eine visuelle Orientierung erfolgen kann.

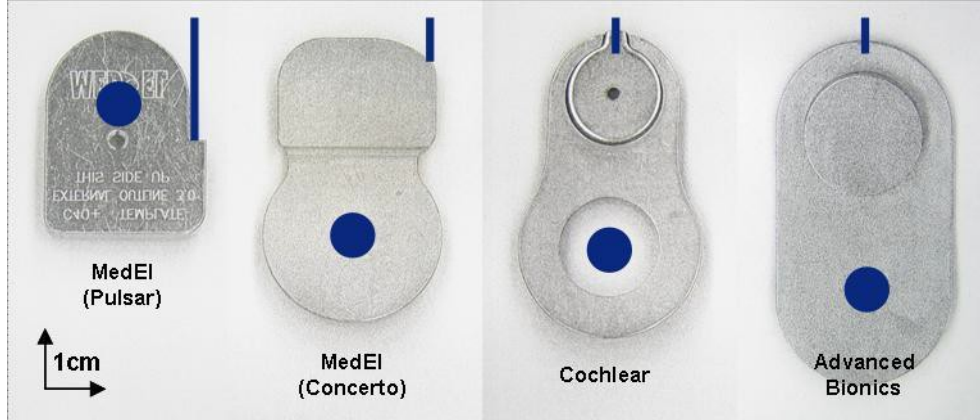


Abb. 3: Formen der gängigsten Cochlea Implantate auf dem Markt (Kabelaustritte und Magnetpositionen markiert). Größere Asymmetrien der Spulenpositionen bilateral implantierter Patienten sind bei nicht achsensymmetrisch gebauten Implantattypen (Pulsar und Concerto; linkes Teilbild) zu erwarten.

Auf der Grundlage dieser Methodik können im nächsten Schritt Meßreihen an bereits implantierten Patienten durchgeführt werden. Dies wird Aufschluß darüber geben können, inwieweit die Faktoren

- Implantattyp (vergl. Abb. 3),
- Operateur sowie
- Ein- oder Zweizeitigkeit einer bilateralen Versorgung

die Spulenposition eines Cochlea Implantates beeinflussen. Über eine Befragung unserer Patienten möchten wir ferner ermitteln, welche Positionierung eines CI von den Trägern als eher günstig oder eher unangenehm empfunden wird.

In einem weiteren Schritt streben wir an, die beschriebene Methode z.B. mithilfe sterilisierbarer Schablonen für eine intraoperative Anwendung zu modifizieren. Idealerweise könnten somit eine präoperativ vom Patienten gewählte Position der Implantatspule intraoperativ realisiert werden.

5 Referenzen

- [1] Balkany TJ, Whitley M, Shapira Y, Angeli SI, Brown K, Eter E, Van De Water T, Telischi FF, Eshraghi AA, Treaba C. The temporalis pocket technique for cochlear implantation: an anatomic and clinical study. *Otol Neurol*. 2009 Oct;30(7):903-7.
- [2] Stark T, Niedermeyer HP, Knopf A, Sudhoff H. Surgical technique for implantation of the MED-EL SONA-TATI. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*. 2011;73(4):196-200.