

Daniel Thomas Körting
Dr. med.

Vergleich zweier Systeme zur digitalen Positionsbestimmung von Elektroden und Kopfoberflächenpunkten

Geboren am 08.10.1981 in Eberbach

Staatsexamen am 04.06.2008 an der Universität Heidelberg mit der Note „sehr gut“

Promotionsfach: Kinderheilkunde

Doktorvater: Prof. Dr. med. Dietz Rating

Einleitung:

Mit der vorliegenden Studie wurden zwei Systeme zur Positionsbestimmung (Digitalisierung) von Oberflächenelektroden auf ihre Messgenauigkeit und Unterschiede hin untersucht. Ziel war es, Einflussfaktoren auf die Messgenauigkeit zu identifizieren und zu quantifizieren. Zum einen handelte es sich um das Ultraschall-basierte Zebris ELPOS[®]-System (Zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland) und zum anderen um das POLHEMUS ISOTRAK II[®]-System (Polhemus, Colchester, USA), dessen Messverfahren auf elektromagnetischen Feldern basiert.

Methode:

Im ersten Teil der Studie wurden nach Fallzahlberechnung basierend auf zehn Probedurchgängen Messungen an einem Simulationsmodell (hochpräzisionsgefrästes Plexiglasmodell) durchgeführt und ausgewertet. Dabei wurden vorgegebene Punkte auf den drei Raumachsen in standardisierten Abständen wiederholt eingemessen. Bestimmt wurde neben der mittleren Abweichung vom tatsächlichen Abstand die Streuung der Messwerte. In einem linearen Modell wurden verschiedene mögliche Einflussgrößen untersucht (Achse, Richtung, Abstand). Im zweiten Teil der Studie wurden Messdaten von 32 Patienten ausgewertet, bei denen jeweils mindestens 33 Oberflächenelektroden mit beiden Systemen digitalisiert wurden. Da die genauen Positionen der Elektroden auf den drei Raumachsen unbekannt blieben (fehlender Goldstandard) wurde der Abstand des höchsten Punktes der Elektrode zur Kopfoberfläche als Hilfsmaß benutzt. Nach Anpassung der digitalisierten Punktwolke der Elektroden auf die rekonstruierte Kopfoberfläche aus dem individuellen 3D-T1-MRT (BrainVoyager QX[®]) sollte der resultierende Abstand der Elektrodenoberfläche von der Kopfoberfläche 3 mm betragen (Soll-Wert gemessen mit Präzisionsschieblehre). Abweichungen vom Soll-Wert nach der Anpassung wurden erfasst (Mittelwert, Streuung). In einem linearen Modell wurden verschiedene mögliche Einflussgrößen untersucht: Achse, Richtung, Abstand vom Mittelpunkt, Alter, Kopfumfang, Grad der Behinderung.

Ergebnisse:

Für die Simulationsmessungen zeigten sich im Mittel Abweichungen von nur 1,3 mm mit dem Zebris ELPOS[®]-System und 1,45 mm mit dem POLHEMUS ISO-TRAK II[®]-System. Der Unterschied war statistisch signifikant zugunsten des Zebris ELPOS[®]-Systems. Allerdings zeigten sich größere Abweichungen über 5 mm ausschließlich für das Zebris ELPOS[®]-System (~ 1% der Messwerte). Als Einflussgrößen zeigten sich für das Zebris ELPOS[®]-System ein zunehmender Abstand vom Mittelpunkt (plus 0,05 mm Abweichung pro cm Abstand) und eine Messung auf der x-Achse (0,9 mm mehr Abweichung als auf der z-Achse). Beim POLHEMUS ISOTRAK II[®]-System stieg die Abweichung um 0,08 mm pro cm Abstand vom Mittelpunkt signifikant an. Auf der z-Achse war die Abweichung generell um 1,82 mm größer als auf der x-Achse. Auch einzelne Richtungen hatten einen signifikanten, aber quantitativ geringen Einfluss.

Grobe, leicht zu erkennende Digitalisierungsfehler traten bei den Patientenmessungen viermal mit dem Zebris ELPOS[®]-System und zweimal mit dem POLHEMUS ISOTRAK II[®]-System auf. Dabei handelte es sich jeweils zweimal um eine Fehlbedienung mit resultierenden Abweichungen einzelner Elektrodenpositionen, die dann aus der Auswertung ausgeschlossen wurden. Weitere zweimal traten erhebliche technisch bedingte Fehldigitalisierungen mit dem Zebris ELPOS[®]-System auf. Für die übrigen Elektroden und Messungen wichen die Abstände im Mittel um 2,05 mm beim Zebris ELPOS[®]-System und 2,2 mm beim POLHEMUS ISOTRAK II[®]-System vom Erwartungswert 3 mm ab (kein signifikanter Unterschied der Systeme). Wiederum war die Streuung der Abweichungen beim Zebris ELPOS[®]-System etwas höher. Beim Zebris ELPOS[®]-System bewirkte nach der Modellrechnung ein zunehmender Abstand vom Kopfmittelpunkt in x-Richtung eine geringe Zunahme der Abweichung. Beim POLHEMUS ISOTRAK II[®]-System waren die Abweichungen mit zunehmendem Abstand in y-Richtung signifikant größer, wenn auch mit 0,1 mm pro cm Abstand gering. Posteriore Punkte waren im Mittel um 0,3 mm mehr abweichend als anteriore. Zusätzlich wichen basale Punkte (z-Richtung) mehr ab als apikale.

Diskussion:

In der Simulationsstudie schnitten beide Systeme sehr gut ab. Die Abweichungen lagen im Mittel unter 1,5 mm. Obwohl die Ergebnisse mit dem Zebris ELPOS[®]-System signifikant besser waren, traten hier aufgrund größerer Streuung auch höhere Abweichungen auf. So kam es mit dem POLHEMUS ISOTRAK II[®]-System nie zu Abweichungen über 5 mm, wohl aber in Einzelfällen mit dem Zebris ELPOS[®]-System. Bei beiden Systemen nahmen die Abweichungen mit zunehmendem Abstand vom Mittelpunkt zu. Allerdings so gering, dass sich bei einem Kopfradius von beispielsweise 8,5 cm beim Zebris ELPOS[®]-System 0,4 mm und beim POLHEMUS ISOTRAK II[®]-System 0,66 mm ergaben.

Bei den Patientenmessungen gehen in das Ergebnis des Elektrodenabstandes zur rekonstruierten MRT-Oberfläche nach dem Anpassungsalgorithmus verschiedene mögliche Größen ein: Güte des MRTs, Fehler des Rekonstruktionsprozesses, Fehler des Anpassungsalgorithmus und letztlich Fehler der Digitalisierung der Elektroden. Der resultierende Abstand, bzw. dessen Abweichung vom Erwartungswert von 3 mm, muss darüber hinaus nicht unbedingt mit der Genauigkeit der Koordinaten einer Elektrode einhergehen: Parallelverschiebungen zur Kopfoberfläche würden beispielsweise den Abstand kaum beeinflussen. Mangels Goldstandard blieb aber nur diese Messgröße zur Quantifizierung. Hierbei zeigte sich keine Unterschied zwischen den Systemen. Es wurde im Vorfeld spekuliert, dass mit dem POLHEMUS ISOTRAK II[®]-System aufgrund der apparativen Gegebenheiten Probleme mit posterioren Elektroden bestehen könnten. Dies zeigte sich tatsächlich für die Abstandsabweichungen im linearen Modell, wenn auch in geringem Maße. Andere mögliche Einflussfaktoren, die im Vorfeld als möglicherweise signifikant betrachtet wurden, wie Alter und Behinderung als Maß für die Kooperationsfähigkeit und Kopfumfang erwiesen sich als nichtig.

Schlussfolgerung:

Es fand sich kein relevanter Unterschied der Systeme bei den durchgeführten Messungen. Beide Systeme messen hinreichend genau. Die Genauigkeit ist beim Zebris ELPOS[®]-System im Durchschnitt höher, wobei jedoch größere Abweichungen vorkommen. Technisch bedingte Fehldigitalisierungen kamen in 2 von 32 Fällen ausschließlich mit dem Zebris ELPOS[®]-System vor. Allerdings sind diese unkritisch, da sie leicht erkannt werden und die Messung ggf. wiederholt werden kann. Andere Faktoren als die Genauigkeit sollten bei der Auswahl des Systems berücksichtigt werden. So ist das Zebris ELPOS[®]-System beispielsweise mobil und kann auch bei kleinen, im Bett liegenden Kindern eingesetzt werden.