

**3. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
17.-18. September 2001 in
Bochum**



**„Quantitative Lokalisierung des stimulierten kortikalen
Areal bei der transkraniellen Magnetstimulation (TMS)“**

K. Wendicke, J. Merwerth
Fachgebiet für Energiewandlungstechnik, TU München, München, Deutschland
E-Mail: wendicke@ei.tum.de, weyh@ei.tum.de

T. Weyh
Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik, TU München, München, Deutschland

K. Wendicke, R. Riener
Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik, TU München, München, Deutschland

K. Wendicke, P. Tanner, A. Hartlep, T. Bauch
BrainLAB AG, Heimstetten, Deutschland

Band: Beiträge zum 3. Workshop Automatisierungstechnische Methoden und
Verfahren für die Medizin
Editors: Jürgen Werner, Martin Hexamer
ISBN: 3-00-008240-9
Pages: 24-25

Quantitative Lokalisierung des stimulierten kortikalen Areals bei der transkraniellen Magnetstimulation (TMS)

K. Wendicke^{1,3,4}, T. Weyh², R. Riener³, J. Merwerth¹, P. Tanner⁴, A. Hartlep⁴, T. Bauch⁴

¹Fachgebiet für Energiewandlungstechnik, TU München

²Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik, TU München

³Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik, TU München

⁴BrainLAB AG, Heimstetten

wendicke@ei.tum.de, weyh@ei.tum.de

KURZFASSUNG

Bei der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) wird mittels starker Magnetfelder berührungsfrei ein künstlicher Stromfluß im Gehirn erzeugt, was zur gezielten überschwelligigen Stimulation von Kortexarealen genutzt werden kann. Die Stimulation ruft eine definierte körperliche Reaktion hervor. Dadurch können Gehirnregionen detektiert werden, die mit bestimmten somatischen Reaktionen korrelieren. Dies hilft den Neurochirurgen, das Verletzungsrisiko bei invasiven Eingriffen am Gehirn zu minimieren.

In dieser Studie wurden die magnetischen Felder verschiedener Spulen sowie die induzierten elektrischen Effekte im Gehirn simuliert. Dadurch kann das stimulierte Kortexareal als Funktion der Spulenanlage relativ zum Kopf des Patienten bestimmt werden. Das so ermittelte Kortexareal wird auf einen präoperativ gewonnenen anatomischen Datensatz des Patienten projiziert; die erhaltenen Daten können somit bei neurochirurgischen Eingriffen als Navigationsunterstützung dienen.

EINLEITUNG

Die magnetische Stimulation wurde ursprünglich zur schmerzlosen Reizung peripherer Muskeln konzipiert. Die erste transkranielle, d.h. durch das intakte Schädeldach erfolgte Magnetstimulation wurde 1985 durchgeführt [1]. Das Prinzip der TMS beruht darauf, den motorischen Kortex zu reizen, indem ein Magnetfeld, welches von einer Spule erzeugt wird, Kopfhaut und Schädelknochen schmerzfrei durchdringt und in den gewünschten Gehirnregionen ein elektrisches Feld induziert. Dieses Feld erzeugt im leitfähigen Medium einen Stromfluß, der eine Depolarisation der Neuronen bewirkt. Bei ausreichender Feldstärke - man spricht von überschwelliger Reizung - kann man die motorische Antwort des entsprechenden Muskels im EMG registrieren.

Bei bisherigen TMS-Studien [2] wurde eine konstante und reproduzierbare Positionierung der Spule durch entsprechende mechanische Vorrichtungen oder durch „Stillhalten“ gewährleistet. Diese Positionierung im Raum berücksichtigte jedoch nicht, wo, bei bekannter Spulenanlage relativ zum Kopf, letztendlich der Stimulationseffekt im Gehirn auftritt.

Der Fokuspunkt wurde bei der doppel-zirkulären Spule unter dem Windungsmittelpunkt vermutet [2]. Das Ziel dieser Studie ist es, das Stimulationsareal als Funktion der Spulenanlage im Raum zu bestimmen und anhand dieser Ergebnisse dem Arzt ein visuelles Feedback zu ermöglichen

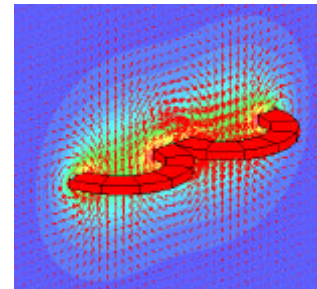


Abbildung 1: Das magnetische Vektorfeld der doppel-zirkulären TMS-Spule in Schnittdarstellung

METHODIK

Zunächst mußte das magnetische Vektorfeld einer Stimulationsspule bekannt sein. Dieses Vektorfeld kann entweder dreidimensional vermessen oder berechnet werden. Da bereits zweidimensionale Vermessungen häufig unzureichende Ergebnisse liefern, wurde diese Aufgabe mit der Methode der Finiten Elemente bearbeitet. Das magnetische Vektorfeld verschiedener TMS-Spulen (zirkuläre und doppel-zirkuläre) wurde numerisch berechnet (Abb.1). Zusätzlich wurde die Berechnung der Magnetfelder einzelner Spulen mit einem Induktionsmeßsystem verifiziert.

Ferner wurden die elektromagnetischen Effekte im menschlichen Kopf modelliert. Die Beschreibung des Kopfes basiert auf drei unterschiedlichen Modellen: einem unendlich ausgedehnten Rechteck, einem begrenzten Quader und einem Drei-Schalen-Modell (Kopfhaut-Schädelknochen-Gehirn). Bereits das Quader Modell zeigte neue Erkenntnisse gegenüber dem Rechteck Modell bezüglich Ladungsansammlungen an Grenzflächen auf. Das Drei-Schalen-Modell erwies sich als die optimalste geometrische Annäherung an den menschlichen Kopf. Bei dem Drei-Schalen-Modell handelt es sich um drei konzentrische, ineinanderliegende Kugeln mit jeweils homogener Leitfähigkeitsverteilung (Abb. 2).

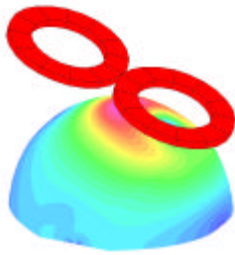


Abbildung 2: Das E-Feld auf der Gehirnoberfläche; Spule ist hier um 10° verkippt (Winkel Alpha)

Die Methode der Fokusbestimmung auf Basis der Simulationsergebnisse wurde im dritten Teil entwickelt. Aus der räumlichen Verteilung des elektrisch induzierten Feldes wird mittels geeigneter Schwellwertbildung das stimulierte Areal, der sogenannte Fokuspunkt, bestimmt. Seine räumliche Konfiguration hängt von den Parametern Spulenlage (Position und Orientierung) und Spulenstrom ab. Im allgemeinen läßt sich seine Form als sphärische Ellipse darstellen.

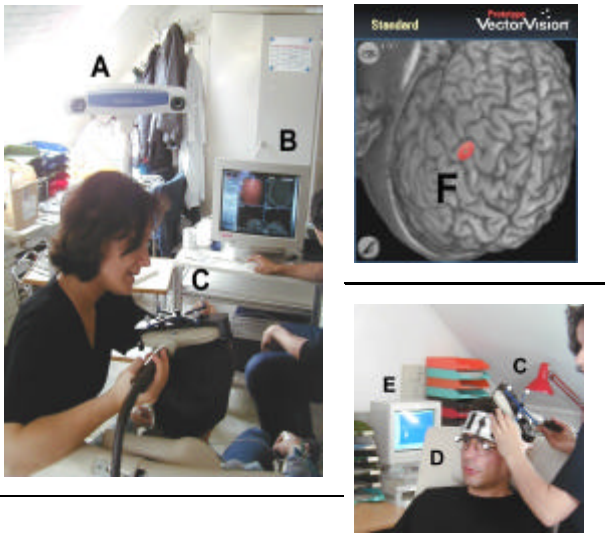


Abbildung 3: Das navigierte TMS-System: Die doppelzirkuläre Spule (C) sowie der Kopf (D) des Probanden werden anhand von Markern durch zwei Kameras (A) verfolgt (tracking). Der aus diesen Lagebeziehungen berechnete Fokuspunkt (F) wird auf den anatomischen Datensatz (B) projiziert und mit motor evozierten Potentialen (E) überprüft.

Basierend auf den angesprochenen Simulationen und Modellen, wurde im Zuge dieser Arbeit eine Referenz-Tabelle erstellt, aus deren Werten mit Hilfe linearer Interpolation für jedes sinnvolle Stimulations-Szenario Lage und Ausdehnung des stimulierten Areals bestimmt werden können.

Eine Implementierung des Gesamtsystems unter Verwendung des Navigationssystems VectorVision² der Firma BrainLAB konnte im Rahmen einer TMS-Studie in der Neurologischen Klinik und Poliklinik des Klinikums rechts der Isar (Technische Universität München) validiert werden (Abb 3).

ERGEBNISSE

Mit dem entwickelten System steht erstmalig eine Echtzeit-Visualisierung der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) zur Verfügung. Die theoretische Aufbereitung der zugrundeliegenden Zusammenhänge zeigte die hohe Empfindlichkeit der Lage des Stimulationsortes gegenüber Spulenverkippungen auf. Verantwortlich dafür sind die Nebenmaxima im Spulenfeld (Abb. 4). Bei der klinischen Validierung bestätigte sich die Annahme, daß erst eine Online-Visualisierung des Vorgangs eine Stimulation des Zielgebietes sicherstellt.

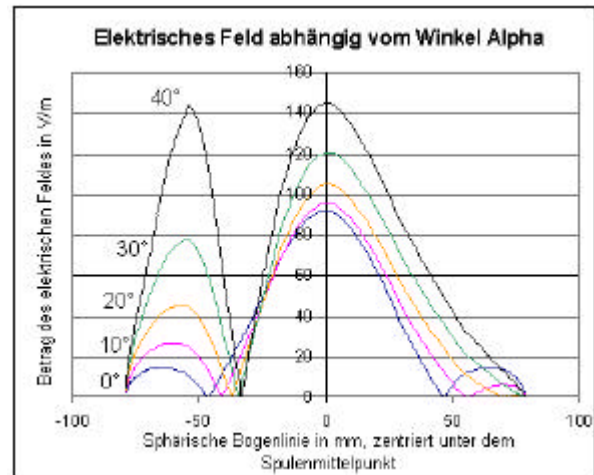


Abbildung 4: Abhängigkeit des elektrischen Feldes vom Winkel Alpha. Bei einer Verkipfung von 10° vergrößert sich das Nebenmaximum um 100 %.

DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNG

Eine patientenspezifische Gehirnkartierung, wie sie mit der nicht-invasiven navigierten TMS erstellt werden kann, ist von entscheidender Bedeutung in verschiedenen medizinischen Bereichen, wie zum Beispiel der Neurologie, der Psychiatrie oder der Gehirn-Chirurgie. So können prä-operativ gewonnene Gehirnkarten bei Patienten mit pathologisch veränderten Gehirnanatomien (Tumor) Informationen zur Lage von sogenannten primären Hirnarealen (Motorik, Sensorik, Sprache) liefern. Diese Daten können dann intraoperativ bei der Tumorentfernung berücksichtigt werden.

Bisher können nur an der Gehirnoberfläche liegende Gehirnareale funktionell bestimmt werden. Durch eine Erweiterung des Drei-Schalen-Modells, durch Nachbildung der Sulci Falten, könnten auch „versteckte“ Areale in Zukunft stimulativer definiert werden.

LITERATURHINWEISE

- [1] A.T. Barker, R. Jalinos, I.L. Freeston, „Non-invasive magnetic stimulation of the human motor cortex“, *Lancet*, 1985
- [2] T. Krings, B.R. Buchbinder, W. Butler, K.H. Chiappa, H.J. Jiang, B.R. Rosen, G.R. Cosgrove „Stereotactic transcranial magnetic stimulation: correlation with direct electrical cortical stimulation“, *Neurosurgery* Vol 41, p 1319, 1997