

**6. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
24.-25. März 2006 in Rostock-
Warnemünde**



**„Vielkanalige, transkutane elektrische
Stimulationstechnologie für Neuroprothetikanwendungen“**

Thierry Keller, Andreas Kuhn, Marc Lawrence
Institut für Automatik,ETH Zürich, Zürich, Schweiz
E-Mail: kellert@control.ee.ethz.ch

Marc Lawrence
Forschungslabor Paraplegikerzentrum, Universitätsklinik Balgrist, Zürich, Schweiz

Benjamin Hakl
Technisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Johannes Kepler Universität, Linz, Österreich

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006
Editors: T. Ellerbrock
ISBN: 3-86009-296-0
Pages: 85-86

Vielkanalige, transkutane elektrische Stimulationstechnologie für Neuroprothetikanwendungen

Thierry Keller^{1,2}, Andreas Kuhn¹, Marc Lawrence^{1,2} und Benjamin Hakl³

¹ Institut für Automatik, Physikstrasse 3, ETH Zürich, CH-8092 Zürich, Schweiz

² Forschungslabor Paraplegikerzentrum, Universitätsklinik Balgrist, CH-8008 Zürich, Schweiz

³ Technisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Johannes Kepler Universität, A-4040 Linz, Austria

kellert@control.ee.ethz.ch

EINLEITUNG

Transkutane elektrische Stimulation (TES) ist eine nicht-invasive Methode, welche mittels elektrischen Stromimpulsen in motorischen Nerven Aktionspotentiale auslöst und so Muskelkontraktionen für gezielte motorische Aktivitäten erzeugen kann. Dabei werden primär die grössten Nervenzellen aktiviert, welche sich in Nähe der Elektrodenkathode befinden. Bestehende TES Systeme haben eine beschränkte Möglichkeit durch Veränderung der Stromamplituden- und Pulsweitenparameter die Muskelaktivierung zu ändern, sind aber immer von der richtigen, manuellen Platzierung der Stimulationselektroden abhängig.

Aktuell erhältliche TES Geräte bieten meist 2-4 Simulationskanäle, speziell für funktionelle Elektrostimulation werden auch Systeme mit bis zu 8 Kanälen angeboten. Diese stimulieren pro Kanal eine Muskelgruppe [Graupe1998, Popovic2001]. Multikanalansätze, welche es erlauben komplexere Potentialverteilungen im Muskel und den Nerven zu erzeugen, sind erst neulich vorgestellt worden [Lawrence2004, Popovic-Bijelic2004]. Sie haben zum Ziel, ohne manuelle Umplatzierung der Elektroden die Position der Stimulation zu ändern [Popovic-Bijelic2004] oder bei der Stimulation des M. Tibialis Anterior die Inversion oder Eversion des Fusses zu steuern [Elsaify2004].

Das hier vorgestellte neuartige vielkanalige TES System stellt einen ersten Schritt zur Automatisierung der Elektrodenplatzierung dar. Es kann nicht nur die klassischen Stimationsparameter wie Pulsbreite und –amplitude variieren, sondern ermöglicht auch eine virtuelle, dynamisch veränderbare örtliche Positionierung der Stimulationselektroden.

Anhand von elektrischen, Finiten Element Modellen und experimentellen Messungen von Fingerkräften während der funktionellen Stimulation der Greiffunktion werden die erweiterten Möglichkeiten einer vielkanaligen TES gezeigt.

MATERIALIEN UND METHODEN

Das in Abb. 1 gezeigte TES System besteht aus einer Elektrodenmanschette mit in Array Form (10x6

Elemente) in Textil eingebetteten Elektrodenpads, einem mikroprozessorgesteuerten Multiplexer und einem Complex Motion Elektrostimulator. Jedes Elektrodenelement in der Manschette hat eine quadratische Fläche von 1 cm². Ein Flachbandkabel verbindet die Elektrode mit der Multiplexer-Einheit. Diese verteilt die stromgeregelten Stimulationspulse von den vier Stimulationskanälen des Complex Motion Elektrostimulators [Keller2002] auf die 60 Elektrodenelemente. Jedes der Elemente kann entweder Kathode (aktive Elektrode) oder Anode (passive Elektrode) sein. Die räumliche Verteilung des Stimationsstromes kann von Puls zu Puls verändert werden. Dabei wird die Stromvorgabe des Stimulators durch den Multiplexer gesteuert. Zur zeitgerechten (real-time) Kontrolle und Regelung der Stimulation wird das real-time System XPC eingesetzt. Der Multiplexer selbst wird mit einem Intel MSP 430 Mikrokontroller gesteuert.



Abb. 1: Die abgebildete 60 Kanal Elektrode ist über einen Multiplexer mit dem stromgesteuerten Stimulator verbunden. Die Selektivität der Muskelaktivierung wurde mit 5 Kraftsensoren (DMS) an jedem Finger gemessen.

Zur Untersuchung des Einflusses des Rasters einer aus mehreren Pads zusammengestellten Elektrodenfläche, im Vergleich mit einer konventionellen, einflächigen Stimulationselektrode, wurde ein Finites Element Modell des Unterarms entwickelt. Das Modell berechnet die Potentialverteilung im Innern des durch TES angeregten Körperteils. Folgende Volumenelemente, charakterisiert durch die Resistivität und die Permittivität, wurden gewählt: Haut, Fett, Muskel, Knochen und Knochenmark. Um kapazitive Effekte mit zu berücksichtigen, wurde ein transientes Modell verwendet [Kuhn2005]. Aus den Potentialverteilungen wurde in

einem zweiten Modell (Nervenmodell) die Aktivierung der Nerven in verschiedenen Lagen (Abb. 2) berechnet.

Die Möglichkeiten der neuartigen Stimulationstechnologie wurden in den oberen Extremitäten bezüglich Selektivität untersucht. Dazu diente das von uns entwickelte "Dynamic Grasping Assessment System" (DGAS). Es misst die isometrischen Kräfte der einzelnen Finger während eines Greifvorgangs. Mit der Multikanalelektrode wurden die Fingerflexoren ortsabhängig stimuliert und mit dem DGAS die Selektivität quantifiziert.

ERGEBNISSE

Mit der Finiten Element Modellierung konnte gezeigt werden, dass in der Muskelschicht (Lokalisation der motorischen Nerven) kleine Abstände ($< 2\text{mm}$) der Elektrodenpads kaum mehr einen Einfluss auf die Nervenaktivierung haben. So sieht der Nerv eine aus mehreren Pads zusammengesetzte Elektrode als eine Fläche (siehe Abb. 2).

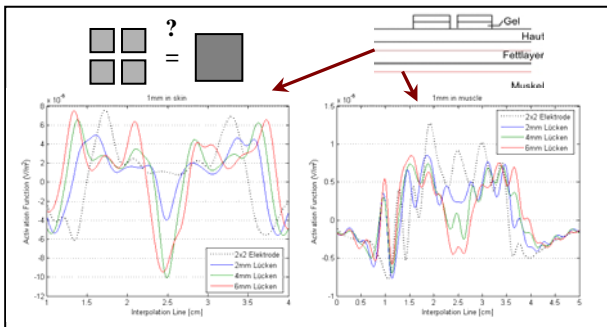


Abb. 2: Die Aktivierungsfunktion (zweite örtliche Ableitung des Potentials) zeigt, dass unter dem Elektrodenzwischenraum die Aktivierung in der Fettschicht für einen breiten Spalt abnimmt, diese Abnahme aber in der Muskelschicht (links) schon viel kleiner ist. Ein Elektrodenzwischenraum $< 2\text{mm}$ hat kaum einen Einfluss auf die Aktivierung.

Bei stromgeregelter Stimulation am Unterarm zur Aktivierung der langen Fingerflexoren konnten mit der Vielkanalelektrode der Mittel- und Ringfinger selektiv aktiviert werden. Es existieren unabhängige Stimulationsorte für beide Finger.

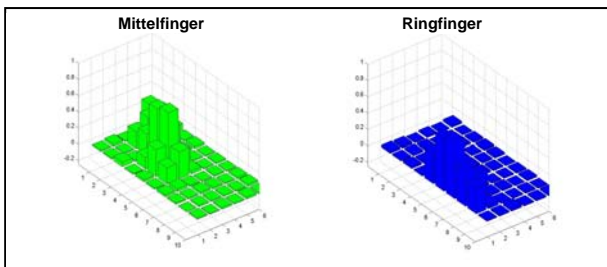


Abb. 3: Die Abbildung zeigt die erzeugte Muskelkraft am Mittelfinger (links) und am Ringfinger (rechts) für die Aktivierung des jeweiligen Pads mit $12\text{ mA} / 200\ \mu\text{s}$.

Ringfinger und kleiner Finger waren mehrheitlich überlappend. Die Aktivierungsregion des Zeigefingers war bei den meisten Probanden innerhalb der Aktivierungsregion des Mittelfingers.

DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit der hier vorgestellten vielkanaligen TES Technologie lassen sich, wenn auch in beschränkter Masse, selektive Fingerbewegungen stimulieren. Zudem bietet das System die Möglichkeit, den Stimulationsort und die erzeugten elektrischen Potentiale im Körper dynamisch zu verändern. Erstmals ist dabei die dynamische veränderbare Elektrodengröße und Lokalisierung bei TES Systemen.

Noch sind nicht alle Möglichkeiten, die das System bietet, erforscht. So bietet es sich an mit diesem neuen Ansatz das Anpassen von Neuroprothesen an unterschiedliche Pathologien zu automatisieren oder die Wirkungsweise der Neuroprothesen während der Funktion zu verändern.

DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde vom Schweizerischen Nationalfonds (Proj. Nr. 205321-107904) und dem Nationalen Kompetenzzentrum NCCR: Plasticity and Repair gefördert.

LITERATURHINWEISE

[Elsaify2004]

A. Elsaify, J.C. Fothergill, W. Peasgood "A portable FES System incorporating an electrode array and feedback sensors" in *Proc 8th Vienna Int. Workshop on Functional Electrostimulation*, Vienna, 2004.

[Graupe1998]

D. Graupe, R. Davis et al. "Ambulation by traumatic T4-12 paraplegics using functional neuromuscular stimulation" *Crit Rev Neurosurg*, Vol 8, pp 221-31, 1998.

[Keller2002]

T. Keller, M.R. Popovic et al. "Transcutaneous Functional Electrical Stimulator "Compex Motion"", *Artif Organs*, Vol 26(3), pp 219-23, 2002.

[Kuhn2005]

A. Kuhn, T. Keller "A 3D transient model for transcutaneous functional electrical stimulation" *Proc 10th IFESS Conference*, Montreal, 2005.

[Lawrence2004]

M. Lawrence, T. Kirstein, T. Keller "Electrical stimulation of finger flexors using 'virtual electrodes'," in *Proc 8th Vienna Int. Workshop on Functional Electrostimulation*, Vienna, 2004.

[Popovic2001]

M.R. Popovic, T. Keller et al. "Surface-Stimulation Technology for Grasping and Walking Neuroprostheses", *IEEE EMBS Magazine*, Vol 20(1), pp 82-93, 2001

[Popovic-Bijelic2004]

A. Popovic-Bijelic, G. Bijelic, et al. "Multi-field surface electrode for selective electrical stimulation" in *Proc 8th Vienna Int. Workshop on Functional Electrostimulation*, Vienna, 2004.