

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



**„Motorisches Lernen bei der Laufbandlokomotion bei
inkompletter Querschnittlähmung“**

Matthias Schablowski-Trautmann
Abteilung Orthopädie II - Schwerpunkt Rehabilitationsmedizin, Stiftung Orthopädische
Universitätsklinik Heidelberg, Heidelberg, Deutschland
E-Mail: Matthias.Schablowski@ok.uni-heidelberg.de

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006
Editors: T. Ellerbrock
ISBN: 3-86009-296-0
Pages: 93-94

Motorisches Lernen bei der Laufbandlokomotion bei inkompletter Querschnittlähmung

Dr.-Ing. Matthias Schablowski-Trautmann

Abteilung Orthopädie II - Schwerpunkt Rehabilitationsmedizin,
Stiftung Orthopädische Universitätsklinik Heidelberg, 69118 Heidelberg

Matthias.Schablowski@ok.uni-heidelberg.de

EINLEITUNG

Die Frage nach pathologischen Veränderungen der Bewegungskontrolle im Gang inkomplett querschnittgelähmter Patienten ist bisher nur unvollständig geklärt. Die Hoffnung auf neuartige Therapieoptionen aus dem Bereich der Molekularbiologie, die das Potential haben, Umfang und funktionelle Auswirkungen einer Verletzung des Rückenmarks erheblich zu verringern, sowie der gestiegene Kostendruck im Gesundheitswesen erfordern vermehrt eine quantitative Überprüfung der Auswirkungen möglicher Therapieoptionen.

Ein solcher Therapieansatz, der seit Ende der 80er Jahre im Bereich der Rehabilitation bei Querschnittgelähmten eingesetzt wird, ist das Lokomotionstraining auf dem Laufband zur Verbesserung der Gehfähigkeit [Dietz u. a. 1994]. Im Tierversuch konnte gezeigt werden, dass das Rückenmark zu einem aufgabenspezifischen Lernprozess in der Lage ist [Wolpaw 2001]. Empirisch begründete Theorien [Bernstein 1967] verknüpfen das motorische Lernen mit der Zahl wirksamer Freiheitsgrade bei der Bewegungsdurchführung. Im Rahmen der Dynamischen Systemtheorie wurde diese Theorie in Zusammenhang mit den Verfahren der Nichtlinearen Dynamik und dabei insbesondere mit der Rekonstruktion des Zustandsraumes gestellt [Sternad 2000]. Der Überblick von [Newell und Vaillancourt 2001] zeigt, dass die Dimension rekonstruierter Bewegungsattraktoren tatsächlich Aussagen über motorische Lernprozesse ermöglicht.

Der vorliegende Beitrag untersucht die Frage, ob Veränderungen im Gangbild inkomplett Querschnittgelähmter über den Verlauf der Rehabilitation hinweg Parallelen mit einem motorischen Lernprozess aufweisen. Dazu wird das Gangbild bei inkompletter Querschnittlähmung mit instrumentell erhobenen Ganganalysedaten quantifiziert im rekonstruierten Zustandsraum analysiert. Darüber hinaus wird mit der Bewegungseffizienz ein zweiter wesentlicher Aspekt der Theorie von Bernstein untersucht.

MATERIALIEN UND METHODEN

Der Verlauf der Erstrehabilitation von 18 inkomplett querschnittgelähmten Patienten wurde in regelmäßigen

Abständen durch Ganganalysen dokumentiert. Die Patienten erhielten regelmäßig Laufbandtherapie, wobei der Grad der Körpergewichtsentlastung und die Gehgeschwindigkeit individuell angepasst wurden.

Für die Datenerfassung wurde ein kommerziell erhältliches Bewegungsanalyse-System eingesetzt (*EVaRT, Motion Analysis*). Dabei werden die Bewegungen der Marker im Raum von sechs infrarot-empfindlichen, hoch auflösenden CCD-Kameras erfasst und modellbasiert in Gelenkwinkel umgerechnet.

Die Rekonstruktion des Zustandsraumes (Attraktorrekonstruktion) wurde mit der Einbettungsmethode nach [Takens 1981] durchgeführt. Geeignete Parameterwerte für die Einbettungsdimension und die Delayzeit wurden mit der Methode der Global False Nearest Neighbors (GFNN) [Kennel 1992] bzw. der Average Mutual Information ermittelt [Abarbanel 1993]. Als etabliertes Verfahren zur Schätzung der Dimension der rekonstruierten Attraktoren wurde die Korrelationsdimension nach [Grassberger 1983] eingesetzt. Eine experimentelle Näherungslösung für dieses theoretisch definierte Dimensionsmaß kann mit dem Local Scaling Exponent (LSE) erreicht werden [Dingwell 2000].

Als Maß für die effektive Nutzung der mechanischen Energie während der Gehbewegung wurde ein von [Pierrynowski 1980] vorgeschlagenes Maß eingesetzt, welches verschiedene Formen geleisteter mechanischer Arbeit ins Verhältnis setzt.

ERGEBNISSE

Ein Beispiel eines rekonstruierten Attraktors für einen inkomplett querschnittgelähmten Patienten ist in Abb. 1 dargestellt. Das Verfahren der GFNN lieferte für alle Messreihen eine Einbettungsdimension von $dE=5$, die für sämtliche Zustandsraumrekonstruktionen einheitlich zu Grunde gelegt wurde.

Im nächsten Schritt wurde die Dimension der rekonstruierten Attraktoren berechnet. Die gemittelten Werte für die LSE bei mittleren Längenskalen sind in Abb. 3 für die erste und letzten Ganganalysen des Rehabilitationsverlaufs des hier untersuchten Patientenkollektivs dargestellt (schwarze Linie, Mittelwerte in rot, Referenzband des Normkollektivs in grau). Der t-test für abhängige Stichproben weist auf eine annähernd signifi-

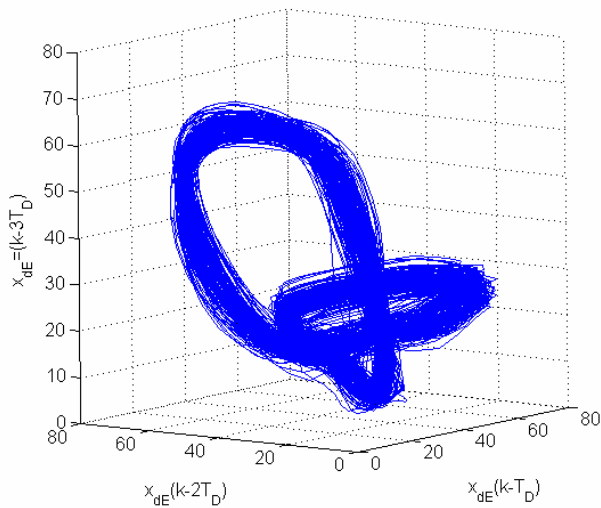


Abb. 1: Rekonstruierter Attraktor für den rechten Kniegelenkwinkel eines inkomplett querschnittgelähmten Patienten.

kante Abnahme der Attraktordimension im Rehabilitationsverlauf hin. Gemäß [Bernstein 1967] ist ein motorischer Lernprozess mit einer Reduktion aktiver Freiheitsgrade verknüpft. Auch wenn eine direkte Zuordnung von dynamischen Freiheitsgrade im Sinne der Zustandsraumrekonstruktion und biomechanischen Freiheitsgraden im Sinne der Bewegungskontrolle schwierig ist, so kann dieses Ergebnis doch als Hinweis auf motorisches Lernen bei der Rehabilitation Querschnittgelähmter gewertet werden.

Die Betrachtung der Bewegungseffizienz im Verlauf der Rehabilitation liefert die in Abb. 2 dargestellten Resultate. Es zeigt sich eine ansteigende Tendenz über den Untersuchungsterminen (Vergleich erste-letzte Ganganalyse signifikant mit $p < 0.01$). Das deutet darauf hin, dass die Patienten im Rehabilitationsverlauf mehr und mehr in der Lage sind, sich energetische Austauschprozesse für die Gehbewegung zu Nutze zu machen. In diesem Sinne erlernen sie im Rehabilitationsverlauf eine

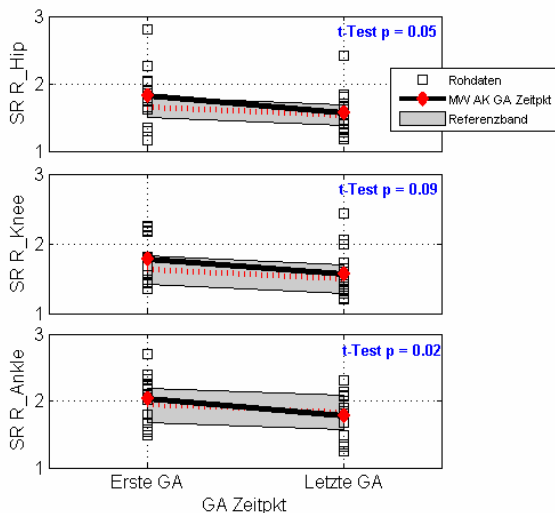


Abb. 3: Attraktordimensionen für die sagittalen Kniegelenkwinkel im Rehabilitationsverlauf

energetisch effizientere Fortbewegungsweise.

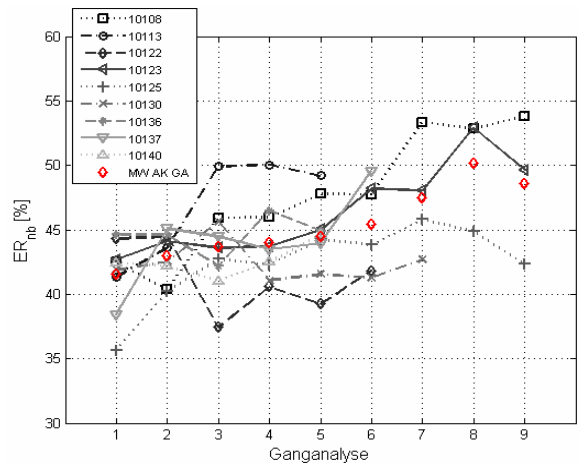


Abb. 2: Austauschmechanismen mechanischer Bewegungsenergie im Rehabilitationsverlauf.

DISKUSSION

Der vorliegende Beitrag liefert erste Hinweise darauf, dass der Rehabilitationsverlauf bei inkomplett querschnittgelähmten Patienten Parallelen mit einem motorischen Lernprozess aufweist. Dies liefert wertvolle Ansätze für die Evaluierung erweiterter therapeutischer Möglichkeiten aus dem Bereich der Neuroregeneration.

LITERATURHINWEISE

[Bernstein 1967]

Bernstein, NA: The Coordination and Regulation of Movement. New York : Pergamon Press, 1967.

[Dietz u. a. 1994]

Dietz, V u. a.: Locomotor Activity in Spinal Man. In: *Lancet* 344 (1994), Nov 5, Nr. 8932, S. 1260–3.

[Dingwell u. a. 2000a]

Dingwell, JB u. a.: Nonlinear Time Series Analysis of Normal and Pathological Human Walking. In: *CHAOS* 10 (2000), Dec, Nr. 4, S. 848–863

[Newell und Vaillancourt 2001]

Newell, KM ; Vaillancourt, DE: Dimensional Change in Motor Learning. In: *Human Movement Science* 20 (2001), Nr. 4-5, S. 695–715.

[Pierrynowski u. a. 1980]

Pierrynowski, MR ; Winter, DA ; Norman, RW: Transfers of mechanical energy within the total body and mechanical efficiency during treadmill walking. In: *Ergonomics* 23 (1980), Feb, Nr. 2, S. 147–56.

[Sternad 2000]

Sternad, D: Debates in Dynamics: A Dynamical Systems Perspective on Action and Perception. In: *Human Movement Science* 19 (2000), S. 407–423.

[Wolpaw und Tennissen 2001]

Wolpaw, JR ; Tennissen, AM: Activity-Dependent Spinal Cord Plasticity in Health and Disease. In: *Annual Reviews in Neuroscience* 24 (2001), S. 807–43.