

**4. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
26. bis 27. März 2003 in  
Karlsruhe**



**„Automatisierte Bewegungscharakterisierungen für  
Patienten mit inkompletter Querschnittslähmung“**

T. Loose, R. Mikut, G. Bretthauer  
Institut für Angewandte Informatik, Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe, Deutschland  
E-Mail: tobias.loose@iai.fzk.de

J. Dieterle, R. Rupp, R. Abel, M. Schablowski, H. J. Gerner  
Orthopädie II, Orthopädische Universitätsklinik Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

Copyright: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Band: AUTOMED 2003 - 4 . Workshop "Automatisierungstechnische Methoden  
und Systeme für die Medizin"  
Editors: U. Voges, G. Bretthauer  
ISSN: 0947-8620  
Pages: 20-21

# Automatisierte Bewegungscharakterisierung für Patienten mit inkompletter Querschnittlähmung

T. Loose<sup>1</sup>, R. Mikut<sup>1</sup>, J. Dieterle<sup>2</sup>, R. Rupp<sup>2</sup>, R. Abel<sup>2</sup>,  
M. Schablowski<sup>2</sup>, H. J. Gerner<sup>2</sup>, G. Bretthauer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Angewandte Informatik  
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

<sup>2</sup>Orthopädische Universitätsklinik Heidelberg, Orthopädie II  
Schlierbacher Landstr. 200a, 69118 Heidelberg

tobias.loose@iai.fzk.de

## EINLEITUNG

Mit der Instrumentellen Ganganalyse werden Gelenkwinkel und -momente beim Gehen messtechnisch erfasst. Die klinische Auswertung dieser Zeitreihen (Diagnose von Bewegungsstörungen, Therapieplanung und -validierung) erfolgt empirisch durch mehr oder minder erfahrene Experten [Sutherland02]. Schwierigkeiten bei der Analyse sind stark heterogene Datensätze und sehr komplexe Zusammenhänge in Bewegungsdaten. Eine objektive, standardisierte Basis zur Datenauswertung und -interpretation konnte bisher nicht etabliert werden. Durch den Einsatz von modularen rechnergestützten Verfahren soll ein Beitrag zur automatisierten, nachvollziehbaren Suche nach Gangpathologien verschiedener Patientengruppen und einer Möglichkeit zur Visualisierung geleistet werden.

## DATEN

Für 23 inkomplett querschnittgelähmte, prinzipiell gehfähige Patienten (SCI,  $51 \pm 16$  Jahre) wurden 3-D Ganganalysen mit einem 6-Kamera-System und reflektierenden Markern auf einem Laufband und teilweiser Gewichtsentlastung durchgeführt [Dieterle02]. Daten von 10 Probanden ohne orthopädische Einschränkungen dienen als Referenz.

## METHODEN

Durch ein modulares, rechnergestütztes Verfahren [Loose02] wird der klinische, bisher rein empirische Auswerteprozess systematisiert und quantifiziert nachgebildet (Abb. 1):

1. Berechnung zusätzlicher Zeitreihen (z.B. Winkelgeschwindigkeit, Normabweichung), um enthaltene Informationen eindeutiger auszuwerten und die empirische Vorgehensweise zu schematisieren.
2. Berechnung von potenziell relevanten lokalen Einzelmerkmalen (z.B. Extrema, Bewegungsspanne) über *alle* Zeitreihen, um Informationen über alle in der Ganganalyse üblichen Zeitabschnitten (z.B. Stand-, Schwungphase) zusammenzufassen.
3. Bewertung und Klassifikation von Merkmalen (Informationstheoretische Maße, Fuzzy-Klassifikato-

ren, Fuzzy-Cluster-Analysen) anhand einer formulierten Problemstellung.

4. Visualisierung der Ergebnisse.

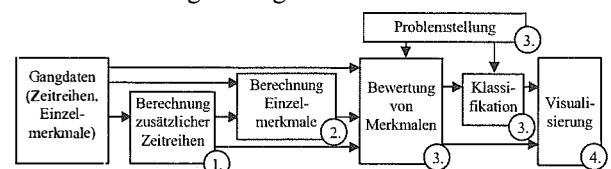


Abb. 1: Struktur des modularen Analyse-Verfahrens

Mit dem Verfahren lassen sich unterschiedliche klinische Fragen durch mathematisch formulierte Problemstellungen bearbeiten. In diesem Beitrag sind die Lösungen der Fragen „Durch welche Merkmale unterscheiden sich die Querschnittpatienten von der Referenz“ und „Welche verschiedenen wesentlichen Gangmuster (Subgruppen) existieren innerhalb der Patientengruppe der inkomplett Querschnittgelähmten?“ gezeigt.

Wesentliche Neuerungen dieses Verfahrens gegenüber existierenden Methoden [Chau01] sind die

- Universalität (Bearbeitung unterschiedlicher klinischer Fragen, anwendbar auf beliebige Patientengruppen)
- Betrachtung des *gesamten* Datenraums bei *gleichzeitiger*
- Bewahrung der Interpretierbarkeit der Ergebnisse.

## ERGEBNISSE

Trotz der heterogenen Datensätze ist ein (überwacht) angelernter Fuzzy-Klassifikator [Mikut00] in der Lage, regelbasiert die Unterschiede zwischen Referenzdaten (im Rechteck) und den Patientendaten anhand datenbasiert gefundener Merkmalskombinationen zu beschreiben, Abb. 2. Diese Merkmalskombination ist das Maximum in der Schrittphase Initial Swing ( $60-70\%$  des Gangzyklus) des Kniewinkelverlaufs  $\text{MAX}(U_{\text{Knie, ISw}})$  und das Minimum des Hüftwinkelverlaufs im gesamten Schritt  $\text{MIN}(U_{\text{Hüfte, Schritt}})$ , siehe Abb. 2 und 3.

Simultanes Clustern (Fuzzy-c-Means, [Höppner99]) über mehrere Zeitreihen liefert unüberwacht vier Gangmuster über Hüft- und Kniegelenk, Abb. 3. Die maximale Clusterzugehörigkeit (Cluster-ZGH) ist in Abb. 2 dargestellt.

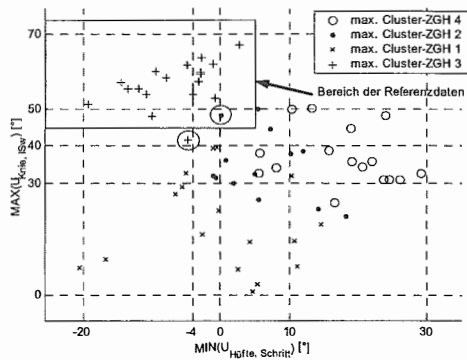


Abb. 2: Visualisierung einer Fuzzy-Regel und gefundenen Clustereinteilungen

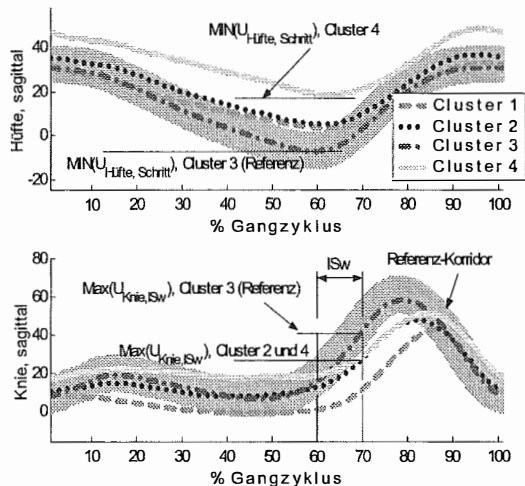


Abb. 3: Vier gefundene Clusterzentren im Hüft- und zugehörigem Knieverlauf

## DISKUSSION

Mit dem vorgestellten Verfahren lassen sich automatisch wesentliche Merkmale aus den komplexen Zeitreihen finden, die eine prinzipielle Unterscheidung zwischen der Referenz und dem pathologischen Gangbild zulassen. Diese Datenreduktion zeigt auf, wo (z.B. Gelenke, Zeitabschnitte) und welche (z.B. Kurvenanstiege, -formen, -abstände) Information enthalten ist. Diese Merkmale finden sich auch in den Clusterzentren wieder, Abb. 3. Allerdings zeigen diese Merkmale auch die starke Heterogenität des Patientenverhaltens und sie eignen sich nur bedingt zum Finden von Subgruppen, s. Abb. 2 und 3. Durch das Clustern konnten sowohl die Referenzdaten sehr gut erkannt werden (Cluster 3, unüberwachter Lernalgorithmus!) als auch weitere Patienten-Subgruppen gefunden werden. Bemerkenswert ist hierbei, dass sich nur drei voneinander deutlich unterscheidbare Muster innerhalb der Querschnittspatienten ergeben. Dies deutet darauf hin, dass in der (neurologisch) sehr inhomogenen Patientengruppe klar unterscheidbare funktionelle Gangmuster existieren, die in gewisser Weise miteinander vergleichbar sind, wie z.B. ein eher gestrecktes Knie mit einer nur tendenziell leicht erhöhten Hüftbeugung (Cluster 1). Allerdings eignen sich aber nicht alle Merkmale und deren Kombinationen

zum Clustern, wie z.B. die Geschwindigkeitszeitreihen. Die maximale Cluster-ZGH des markierten Datensatzes ( $\odot$ , Abb. 2) einer Referenzperson begründet sich aus dem eng benachbarten Cluster 2 (relativ „normales“ Gangverhalten). Andererseits hat der markierte Datensatz eines Patienten ( $\oplus$ ) eine höhere ZGH zum Cluster 3, was als überwiegender Anteil des gesunden Gangverhaltens angesehen werden kann. Durch die gefundenen Cluster-ZGH konnten mit dieser Methodik wiederum charakteristische Einzelmerkmale zur Unterscheidung der Subgruppen erfolgreich gefunden werden. Insbesondere die Ergänzung aus unüberwachtem und überwachtem Lernen für unterschiedliche Fragestellungen einer Datenanalyse erweist sich als wirkungsvoll bei der Informationsextraktion und Struktursuche.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Bei der empirischen Auswertung sind die Experten aufgrund limitierter Aufnahmekapazitäten nicht in der Lage, den gesamten Datenraum simultan zu bewerten. Gerade bei neuen klinischen Fragestellungen, über deren Gangpathologien noch wenig Wissen existiert, ist ein Analyseansatz wie der dargestellte vielversprechend, um eine prinzipielle Unterscheidung und Charakterisierung der Patienten zu erreichen. Durch die hier gefundenen Ergebnisse lässt sich nun das Gangverhalten von Patienten hinsichtlich Hauptprobleme und Zusammenhänge systematisch analysieren, um daraus entsprechende Konsequenzen für Therapien abzuleiten.

## LITERATURHINWEISE

- [Chau01]  
T. Chau, „A Review of Analytical Techniques for Gait Data“ *Gait & Posture* Vol 13, pp. 49-66 (Part 1), 102-120 (Part 2), 2001
- [Dieterle02]  
J. Dieterle, T. Loose, M. Schablowski, R. Mikut, R. Rupp, R. Abel, „A new measure for assessing gait quality in SCI patients with 3D gait analysis“ *Gait & Posture* Vol 16 (Suppl. 1), p 138, 2002
- [Höppner99]  
F. Höppner, F. Klawonn, R. Kruse, T. Runkler, *Fuzzy Cluster Analysis*, Wiley, Chichester, 1999
- [Loose02]  
T. Loose, H. Malberg, R. Mikut, J. Dieterle, M. Schablowski, S. Wolf, R. Abel, L. Döderlein, R. Rupp, „Ein modulares Verfahren zur automatisierten Auswertung von Ganganalysedaten“, *Biomedizinische Technik* Vol 47 (Suppl. 1), pp. 700-703, 2002
- [Mikut00]  
R. Mikut, J. Jäkel, H. Malberg, G. Bretthauer, „Datenbasierter Entwurf von Fuzzy-Systemen für medizinische Diagnoseaufgaben“, *Automatisierungstechnik* Vol 48 (7), pp. 317-326, 2000
- [Sutherland02]  
D. Sutherland, „The Evolution of Clinical Gait Analysis“ *Gait & Posture* Vol 14, pp. 61-70 (Part 1), 2001, Vol 16, pp. 159-179 (Part 2), 2002