

# Charakterisierung der Interlimbkoordination aus kurzen Gangmessungen zur klinischen Beurteilung von Schlaganfallpatienten

Joey Maibaum<sup>†</sup>, Francisco Geu Flores<sup>†</sup>, Dominik Raab<sup>†</sup>, Mario Siebler<sup>\*</sup>, Andrés Kecskeméthy<sup>†</sup>

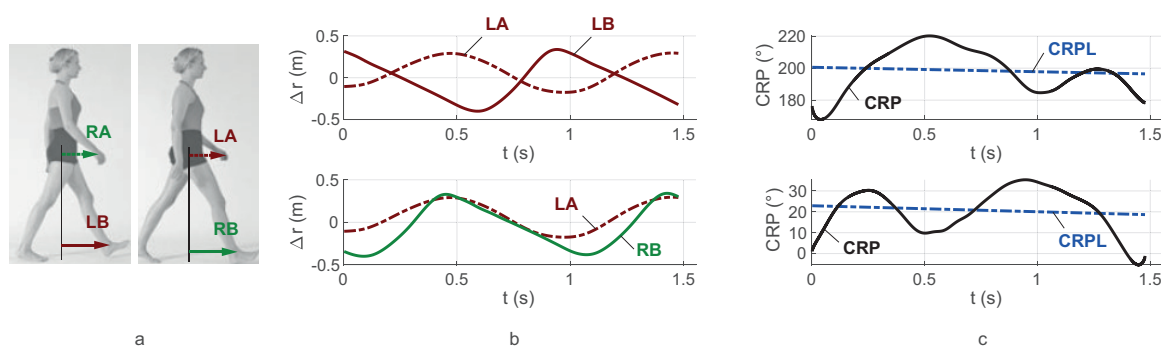
<sup>†</sup> Lehrstuhl für Mechanik und Robotik, Universität Duisburg-Essen, Duisburg, Deutschland

<sup>\*</sup> Neurologie, Fachklinik Rhein/Ruhr für Herz/Kreislauf- und Bewegungssystem GmbH & Co. KG, Essen, Deutschland

## Kurzfassung

Der menschliche Gang ist ein hochkomplexer Vorgang, dessen Steuerung sowohl bewusst als auch unterbewusst erfolgen kann. Bei einer unterbewussten Steuerung lassen sich zwei Bewegungsmuster unterscheiden [1]: Bei einem langsamen Gang (in der Regel mit 0.3 bis 0.8 m/s) schwingen die Arme mit etwa der Eigenfrequenz (ca. 0.98 Hz) und in Phase, während sich die Beine mit der Hälfte der Eigenfrequenz der Arme in Gegenphase zueinander bewegen. Bei einem normalen Gang (in der Regel mit mehr als 0.8 m/s) bewegen sich die Beine mit etwa der Eigenfrequenz (ca. 0.85 Hz) und in Gegenphase zueinander, während die Arme mit der Eigenfrequenz der Beine in Gegenphase zum jeweils kontralateralen Bein schwingen. Der Einsatz der Arme ist jedoch nicht zwingend erforderlich: Dank einer aufgabenabhängigen neuronalen Kopplung kann der Mensch die Arme während des Gehens willkürlich einsetzen (z.B. um jemanden zu begrüßen oder eine Tasse Kaffee zu halten). Man spricht von einer vierfüßigen Interlimbkoordination des Gehens auf zwei Beinen [2]. Von aktuellem Interesse ist, inwiefern die beschriebene Kopplung von einem Schlaganfall beeinträchtigt wird. Einige Studien belegen bereits, dass sie bei leicht betroffenen Patienten erhalten bleibt [3]. Aber wie verhält sie sich bei mittel bis schwer betroffenen Patienten? Und welche Rolle könnten diese Erkenntnisse bei der Therapieplanung für Schlaganfallpatienten spielen?

Seit einigen Jahren forscht der Lehrstuhl für Mechanik und Robotik der Universität Duisburg-Essen zum Thema Ganganalyse von Schlaganfallpatienten. Nach zwei vom europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) geförderten Projekten in Zusammenarbeit mit der Fachklinik Rhein/Ruhr, dem Universitätsklinikum Essen und der Heinrich Heine Universität Düsseldorf konnte eine Datenbank mit Ganglabordaten von 254 leicht, mittel und schwer betroffenen Schlaganfallpatienten sowie 37 Probanden aufgebaut werden. Diese soll nun zur Untersuchung der Interlimbkoordination bei Schlaganfallpatienten herangezogen werden. Problematisch ist jedoch, dass die Daten in einem Ganglabor mit einer Gangstrecke von 10 m aufgenommen wurden (ca. 3 m Beschleunigungsbereich, ca. 4 m Messbereich, und ca. 3 m Abbremsbereich), sodass jede Gangmessung im Durchschnitt nur einen vollständigen Doppelschritt jeder Seite beinhaltet. Diese Einzelmessungslänge ist für Standardganganalysen geeignet, aber zu kurz, um Frequenzanalysen mit üblichen Methoden (z.B. über die Schnelle Fourier-Transformation) durchzuführen. Diese liefern unscharfe und damit unbrauchbare Ergebnisse. An dieser Stelle setzt dieser Beitrag an.



**Bild 1** (a) Definition der gemessenen Abstände. (b) Zwei der Paarkombinationen bei einem gesunden Probanden: LA/LB und LA/RB. (c) Die entsprechenden CRP-Funktionen (schwarz) sowie die linearen Approximationen CRPL (blau) mit  $D_{LA/LB} = -0.008$ ,  $P_{LA/LB} = 198.5^\circ$ ,  $D_{LA/RB} = -0.008$  und  $P_{LA/RB} = 20.8^\circ$

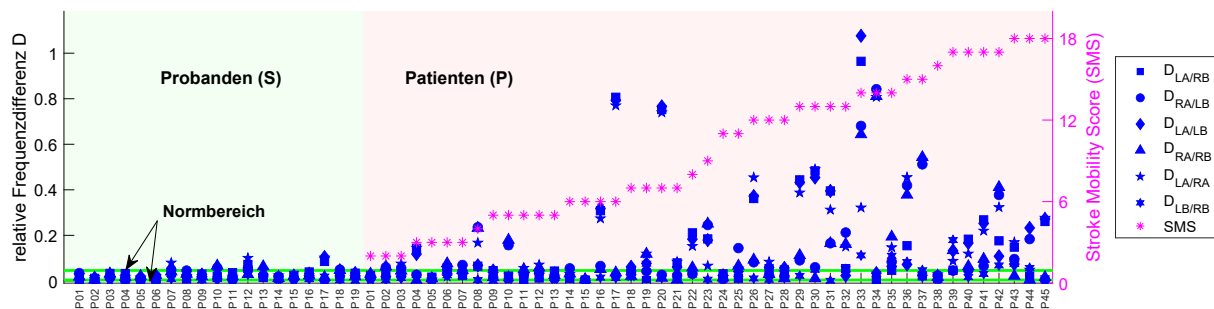
Es wird eine neue Methode vorgestellt, die es erlaubt, Parameter aus kurzen Gangmessungen zu extrahieren, welche die Interlimbkoordination eines Menschen verlässlich charakterisieren. So wird gezeigt, dass diese Parameter die Interlimbkoordination von Schlaganfallpatienten robust darstellen können. Darüber hinaus wird gezeigt, dass die Interlimbkoordination verwendet werden kann, um die Patienten – unter Anwendung einer Clusteranalyse – in natürliche Gruppen zu unterteilen. Es ist geplant, die Patienten der sich ergebenden Gruppen auf klinische Gemeinsamkeiten von unseren medizinischen Partnern überprüfen zu lassen.

Die Methode besteht aus 5 Schritten: (1) Durchführung einer (kurzen) Gangmessung, die mindestens einen linken und einen rechten Doppelschritt beinhaltet. In dieser Messung wird lediglich das Zeitintervall  $0 < t < t_f$  betrachtet, wobei  $t = 0$  den Beginn eines Doppelschrittes und  $t = t_f$  das Ende des darauffolgenden kontralateralen Doppelschritts beschreibt. (2) Berechnung der jeweiligen Abstände in der Sagittalebene von beiden Hand- und Fußgelenken zum Beckenmittelpunkt (siehe Bild 1a). Es ergeben sich vier Zeitverläufe, und sechs mögliche Paarkombinationen (siehe Bild 1b für zwei Beispiele), welche im Folgenden durch die Abkürzungen LA/RA, LA/LB, LA/RB, RA/LB, RA/RB, und LB/RB referenziert werden. L und R stehen jeweils für links und rechts, A und B für Arm und Bein. (3) Zentrierung der Zeitverläufe um ihren Mittelwert sowie Normierung der Zeitverläufe über eine Hilbert-Transformation. (4) Bestimmung der Continuous Relative Phase (CRP) nach [4] für alle sechs Paarkombinationen (siehe Bild 1c für zwei Beispiele). (5) Bestimmung einer linearen Approximation (CRPL) der sechs CRP-Zeitverläufe (siehe Bild 1c, blaue Gerade). Aus jeder linearen Approximation  $CRPL_i(t)$  ergeben sich zwei Parameter  $D_i$  und  $P_i$ , mit

$$CRPL_i(t) = P_i + 360^\circ f_i D_i (t - 0.5 t_f), \quad (1)$$

wobei  $D_i$  die relative Frequenzdifferenz und  $P_i$  die gemittelte Phasenverschiebung (in Grad) der jeweiligen Paarkombination  $i$  darstellt. Die Konstante  $f_i$  entspricht hierbei einer groben Approximation der dominanten Frequenz und kann z. B. über eine schnelle Fourier-Transformation berechnet werden.

Die Parameter  $D_i$  und  $P_i$  charakterisieren die Interlimbkoordination des vermessenen Patienten. Bei einem normalen Gang ist zu erwarten, dass alle relativen Frequenzdifferenzen  $D_i$  in der Nähe von 0, die Phasenverschiebungen  $P_{LA/RA}$ ,  $P_{LA/LB}$ ,  $P_{RA/RB}$ ,  $P_{LB/RB}$  in der Nähe von  $180^\circ$ , und die Phasenverschiebungen  $P_{LA/RB}$  und  $P_{RA/LB}$  in der Nähe von  $0^\circ$  liegen. Bild 2 zeigt die relativen Frequenzdifferenzen von einer zufälligen Auswahl gesunder Probanden und Schlaganfallpatienten. Von links nach rechts steigt der Betroffenheitsgrad nach dem SMS-Score [5]. Die grünen horizontalen Linien bilden den Normbereich (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung aller relativen Frequenzdifferenzen des gesunden Probandenkollektivs). Man erkennt, dass die Interlimbkoordination einiger mittel bis schwer betroffener Patienten gestört ist. Die deutlichen Sprünge in den Werten der Parameter  $D_i$  erlauben eine Unterteilung der Patienten in natürliche Gruppen. Wie diese Gruppierung zustande kommt und welche klinische Relevanz sie hat, wird im Vortrag ausführlich diskutiert.



**Bild 2** Relative Frequenzdifferenzen bei einer Auswahl von gesunden Probanden und Schlaganfallpatienten

## Literatur

- [1] Wagenaar, R. C.; Van Emmerik, R. E. A. (2000). Resonant frequencies of arms and legs identify different walking patterns. *Journal of biomechanics*, 33(7), 853-861.
- [2] Dietz, V. (2011). Quadrupedal coordination of bipedal gait: implications for movement disorders. *Journal of neurology*, 258(8), 1406-1412.
- [3] Stephenson, J. L., Lamontagne, A., & De Serres, S. J. (2009). The coordination of upper and lower limb movements during gait in healthy and stroke individuals. *Gait & posture*, 29(1), 11-16.
- [4] Lamb, P. F., & Stöckl, M. (2014). On the use of continuous relative phase: Review of current approaches and outline for a new standard. *Clinical Biomechanics*, 29(5), 484-493.
- [5] Raab, D., Diószeghy-Léránt, B., Wünnemann, M., Zumfelde, C., Cramer, E., Rühlemann, A., ... & Siebler, M. (2020). A Novel Multiple-Cue Observational Clinical Scale for Functional Evaluation of Gait After Stroke – The Stroke Mobility Score (SMS). *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 26, e923147-1.

# DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

ub | universitäts  
bibliothek

In: Achte IFToMM D-A-CH Konferenz 2022

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

**DOI:** 10.17185/duepublico/75425

**URN:** urn:nbn:de:hbz:465-20220222-154033-4

Alle Rechte vorbehalten.