

Zeitschrift:	Fisio active
Herausgeber:	Schweizer Physiotherapie Verband
Band:	42 (2006)
Heft:	4
Artikel:	Die Auswirkung eines Schlaganfalls auf die Synchronität der motorischen Einheiten synergistischer Muskelpaare der unteren Extremität
Autor:	Biland-Thommen, Ursula / Mayston, Margaret J. / Harrison, Linda M.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-929721

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 11.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Auswirkung eines Schlaganfalls auf die Synchronität der motorischen Einheiten

Ursula Biland-Thommen, Physiotherapeutin, MSc in Neurophysiotherapie, Margaret J. Mayston, PhD, Linda M. Harrison, PhD. Department of Physiotherapy, University College London, London, UK.

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde die Auswirkung eines Schlaganfalls auf die Entladungssynchronität motorischer Einheiten untersucht. Der Autorin Ursula Biland-Thommen wurde mit dieser Arbeit anlässlich des Jahreskongresses des Schweizer Physiotherapie Verbandes in Lugano 2004 der Forschungspreis verliehen.

Die Frage, wie das zentrale Nervensystem (ZNS) durch einen Schlaganfall verändert wird und wie diese Veränderungen mit den Konsequenzen auf die Funktion zusammenhängen, wird zurzeit von mehreren Forschungsgruppen mit unterschiedlichen Methoden untersucht [1, 2, 3].

Eine mögliche Technik, um einen klareren Einblick in die ZNS Kontrolle von Muskelaktivität zu gewinnen, ist die Kreuzkorrelationsanalyse elektromyographischer Aktivität. Diese in den 70er-Jahren von Moore et al. [4] erstmals eingeführte Technik ermöglicht die Darstellung der Synchronisation motorischer Einheiten. Synchronisation beschreibt die zeitliche Abhängigkeit zweier oder mehrerer motorischer Einheiten zueinander [5]. Die Kreuzkorrelogramme werden mittels der Entladungsabfolgen der motorischen Einheiten konstruiert und zeigen im Falle von vorhandener Synchronität einen zentralen Ausschlag (Peak) [4].

Bei gesunden Probanden zeigte sich in Kreuzkorrelationsanalysen von Muskeln der oberen und unteren Extremität, dass eine hohe Entladungssynchronität besteht, wenn die motorischen Einheiten zum gleichen Muskel gehören, wenn sie zu Synergisten gehören, welche über ein gemeinsames Gelenk oder einen Gelenkskomplex (z.B. die Hand) wirken, oder wenn sie zu Muskeln gehören, welche meist co-aktiviert werden (zum Beispiel M. Masseter, M. Rectus abdominis) [6, 7, 8, 9]. Es wird angenommen, dass die Entladungssynchronität motorischer Einheiten einen Mechanismus darstellt, um Muskelsynergien zu bilden. Indem Gelenke und Muskeln in funktionelle Bewegungseinheiten zusammengeschlossen werden, erhält das ZNS die Möglichkeit, ganze Bewegungen anstatt einzelner Muskeln zu kontrollieren [9, 10]. Es wird postuliert, dass die Synchronisation

Schlüsselwörter:

Schlaganfall, Entladungssynchronität, Kreuzkorrelationsanalyse

motorischer Einheiten durch einen gemeinsamen Input auf die Motoneurone über gleichstämige präsynaptische Fasern generiert wird, wobei der Tractus corticospinalis eine wichtige Rolle zu spielen scheint [11, 12, 13, 14].

Die Kreuzkorrelationsanalyse wurde bereits bei verschiedenen neurologischen Krankheitsbildern angewendet, um jeweils Einblick in die veränderte zentromotorische Kontrolle zu gewinnen [15, 16, 17]. In früheren Studien konnte festgestellt werden, dass Schlaganfallpatienten in Kreuzkorrelogrammen, berechnet aus EMG-Daten von motorischen Einheiten desselben Muskels in der oberen und unteren Extremität auf der betroffenen Seite ein verminderter Peakvorkommen aufwiesen [12, 18, 19]. Die Veränderungen in der Synchronität motorischer Einheiten von synergistischen Muskelpaaren nach einem Schlaganfall wurden bisher erst anhand der oberen Extremität gemessen [20]. Diese Studie zeigte eine verminderte Synchronität auf der betroffenen Seite im Vergleich zur nicht betroffenen Seite. Zusätzlich konnte eine Beziehung zwischen dem Vorhandensein von Synchronität und der Funktion der Hand nach einem Schlaganfall dargestellt werden. Eine verminderte oder fehlende Entladungssynchronität ging mit einer schlechten Handfunktion einher [20].

Gibbs et al. konnten aufzeigen, dass bei gesunden jungen Probanden in der unteren Extremität Synchronität in den Muskelpaaren GM:Sol und GM:Sem vorhanden ist [10]. In unserem Forschungsprojekt untersuchten wir, ob diese Synchronität durch einen Schlaganfall verän-

dert wird. Unsere Hypothese war, dass sie vermindert sein werde oder sogar gänzlich fehle. Die zweite Frage war, ob es eine Beziehung zwischen Synchronität und Funktion in der unteren Extremität, analog zu den Ergebnissen von Nadler et al. [20], gäbe. Im Falle eines klaren Zusammenhangs könnte das Messen von Synchronität als Instrument zur Evaluation der Ergebnisqualität physiotherapeutischer Behandlungen auf der physiologischen Ebene in Betracht gezogen werden.

Teilnehmer

Die von der Ethikkommission des University College und des University College Hospital gutgeheissene Studie umfasste acht Schlaganfallpatienten (3 weiblich, 5 männlich, Mittelwert Alter: 68 Jahre) und acht gesunde Probanden (3 weiblich, 5 männlich, Mittelwert Alter: 62 Jahre). Als Einschlusskriterien für die Auswahl der Patienten galten, dass die Zeit zwischen Schlaganfall und Beginn der Studie mehr als sechs Monate betragen musste, sowie eine stabile Verfassung und Stehfähigkeit der Patienten. Vier waren von einer rechtsseitigen und vier von einer linksseitigen Hemiplegie betroffen, dabei litten fünf Patienten unter den Folgen eines Infarkts und drei unter den Folgen einer Hirnblutung. Die mittlere Dauer seit dem Ereignis betrug 72 Monate. Eine Gruppe von altersentsprechenden Probanden, welche nicht an neurologischen Erkrankungen litten, wurde als Kontrollgruppe rekrutiert (Tab. 1). In der Kontrollgruppe wurden, wenn immer möglich, die EMG-Daten des dominanten Beines verwendet.

orischen Einheiten synergistischer Muskelpaare der unteren Extremität

gy, University College London, WC1E 6BT, London, UK

Probanden (Geschlecht)	Alter	Diagnose, spezielle Bemerkungen	Monate post-stroke	Gehhilfen, Bemerkungen
Schlaganfallpatienten				
1 (w)	56	CVI li (Capsula interna) m. Hemiplegie re	11	Stock, FS
2 (w)	60	CVI li m. Hemiplegie re	73	Stock, FS
3 (m)	62	ICB li (temporo-parietal) m. Hemiplegie re	260	Keine Hilfsmittel
4 (m)	76	ICB re (thalamo-putaminal) m. Hemiplegie li	28	Stock, Supervision
5 (w)	64	ICB (Basalganglien) m. Hemiplegie li	34	Stock, FS
6 (m)	80	CVI re m. Hemiplegie li	96	Stock, FS
7 (m)	69	CVI re m. Hemiplegie li	47	Keine Hilfsmittel
8 (m)	82	CVI li (lakunär) ml. Hemiplegie re	26	Stock
Gesunde Probanden				
1 (m)	62	Gonarthrose re		
2 (w)	61			
3 (m)	61	Achillessehnenproblematik li		
4 (w)	60	Diabetes		
5 (m)	65			
6 (m)	60			
7 (m)	73			
8 (w)	55			

Tab. 1: Details der Schlaganfallpatienten und der gesunden Probanden.

w = weiblich
m = männlich
re = rechts
li = links
m. = mit
CVI = Cerebro-vasculärer Infarkt
ICB = Intracerebrale Blutung
FS = Fußschiene

Experimentelles Protokoll

Die EMG-Signale von Sem, GM und Sol wurden aufgezeichnet, währenddem die Teilnehmer aufrecht standen und gleichzeitig den Körper nach vorne neigten. Die Patienten durften sich dabei leicht an einer Stuhllehne festhalten, welche vor ihnen stand. Die bipolaren Oberflächen-elektroden wurden auf den Muskelbäuchen des Sem, GM und Sol platziert, die elektrischen Signale der ipsilateralen Muskeln wurden gleichzeitig erfasst. Die rohen EMG-Signale auf dem Oszilloskop (Abb. 1) sowie der Ton der entladenden Motoneuronen wurden als Feedback benutzt, um den Teilnehmern eine Kontrolle der Aufrechterhaltung der Muskelaktivität zu ermöglichen.

Kreuzkorrelationsanalyse

Die EMG-Signale aller drei Muskeln wurden verstärkt und gefiltert (-3 dB bei 20 Hz und 5 kHz, Medelec Sapphire EMG-Maschine) sowie auf magnetischem Tape gespeichert (Racal Store 4, Racal Ltd., Hythe, Southampton, UK). Mittels eines Leveldetektors (Neurolog NL200, Neurolog, Hemel Hamstead, UK) wurden kleine Ausschläge herausgefiltert, so dass nur

mittlere und grosse Ausschläge für die weitere Analyse verwertet wurden. Ein Microcomputer (Dell Dimension XPS P75) Computer mit einem Cambridge Electronic Design 1401 Interface [CED 1401] konstruierte die Kreuzkorrelogramme, indem er die Ausschlagsabfolgen der Muskelpaare GM und Sol einerseits und GM und Sem andererseits miteinander verrechnete. Ungefähr 4000 Ausschläge wurden von jedem EMG-Signal benutzt (Spike2 Software, Cambridge Electric Design). Synchronität wird im Kreuzkorrelogramm durch einen zentralen Peak mit flachem Randgebiet angezeigt (Abb. 2a). Fehlt die Synchronität zwischen zwei Muskeln, fällt das gesamte Korrelogramm flach aus (Abb. 2b).

Die Stärke der Synchronität wurde durch den Index E/M, wie von Harrison et al. 1991 beschrieben [21], quantifiziert. E steht dabei für die Menge an Zählern im Peak, welche die Zahl übersteigt, welche durch Zufall angenommen werden könnte. M ist der Mittelwert der Zähler in der Randregion.

Funktion der unteren Extremität

Die Funktion der unteren Extremität der Teilnehmer wurde mittels des 10-Meter-

Gehtests ermittelt. Dieser Test gilt als geeigneter Massstab für die Funktion der unteren Extremität nach einem Schlaganfall [22, 23]. Der Test wurde nach dem Protokoll von Watson [23] ausgeführt.

Statistik

Die Differenz im Peakvorkommen zwischen der betroffenen Seite, der nicht betroffenen Seite und den gesunden Probanden wurde unter Anwendung des exakten Tests nach Fisher (statistisches Softwarepaket SPSS 11.0) eruiert [24, 25]. Der Rangsummentest nach Wilcoxon [24] wurde durchgeführt, um die Differenz der Synchronisationsstärke und der Peakdauer zwischen der betroffenen Seite, der nicht betroffenen Seite und den gesunden Probanden zu analysieren. Die Zeiten, welche aus dem 10-Meter-Gehtest resultierten, wurden mit dem Wilcoxons Rangsummentest verglichen. Für jeden Patienten wurde die Differenz der Synchronisationsstärke von GM:Sol zwischen betroffener und nicht betroffener Seite ausgerechnet und mit seiner Zeit des 10-Meter-Gehtests korreliert. Für die Berechnung des Korrelationskoeffizienten wurde Excel verwendet. Die

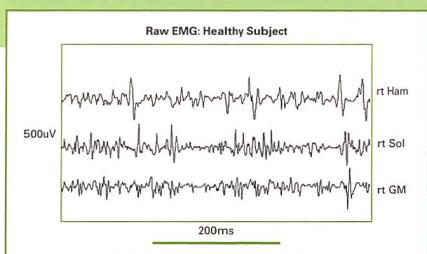


Abb. 1: EMG-Rohsignale eines gesunden Probanden.

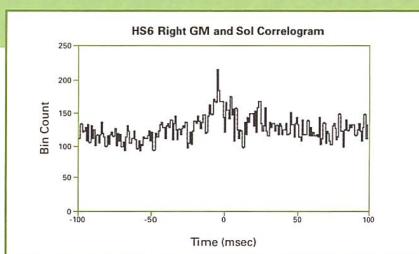


Abb. 2a: Kreuzkorrelogramm GM:Sol mit zentralem Peak, gesunder Proband Nr. 6.

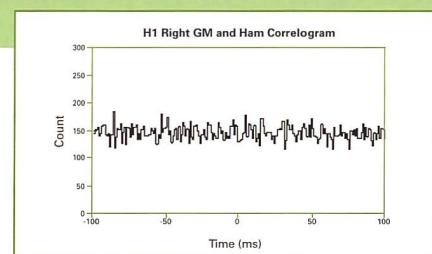


Abb. 2b: Flaches GM:Sem Kreuzkorrelogramm, Schlaganfallpatient Nr. 1.

Signifikanz wurde für alle statistischen Analysen auf $p < 0.05$ festgesetzt.

Synchronität der Kontrollgruppe

In den Kreuzkorrelogrammen von GM:Sol konnte bei sieben der acht gesunden Probanden ein Peak festgestellt werden, in denjenigen von GM:Sem bei vier (Tab. 2). Die mittlere Synchronisationsstärke von GM:Sol betrug 5.3 (Standardabweichung [sd] = 3) und von GM:Sem 4.2 (sd = 1.9). Die mittlere Dauer der Peaks für GM:Sol lag bei 10.5 ms (sd = 3.6) sowie bei 12.8 ms (sd = 2.4) für die Peaks in den GM:Sem Kreuzkorrelogrammen.

Synchronität Patienten

In den Kreuzkorrelationsanalysen der ipsilateralen Muskeln GM und Sol zeigten fünf von acht Schlaganfallpatienten einen Peak auf der betroffenen Seite und sechs von acht auf der nicht-betroffenen Seite (Tab. 2). Zwischen dem Peakvorkommen auf der betroffenen Seite, der nicht betroffenen Seite und bei den gesunden Probanden konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Fishers exakter Test; $p = 1.0$ für betroffene Seite/nicht betroffene Seite; $p = 0.57$ betroffene Seite/gesunde Probanden; $p = 1.0$ nicht betroffene Seite/gesunde Probanden).

Die betroffene Seite wies eine Synchronisationsstärke von 5.9 auf. Der Wert der Standardabweichung von 9.8 zeigte an, dass eine starke Streuung der Werte vorlag. Die nicht betroffene Seite erreichte trotz eines fast doppelt so hohen Wertes keine signifikante Abweichung weder gegenüber der betroffenen Seite, noch gegenüber den gesunden Probanden ($p > 0.05$; Wilcoxens Rangsummentest [Abb. 4]).

Die Peakdauer variierte zwischen 4.7 und 18.6 ms auf der betroffenen Seite, 10.2 und 17.8 ms auf der nicht betroffenen Seite und 4.1 und 15 ms in der Kontrollgruppe. Keine der drei Gruppen zeigte einen signifikanten Unterschied im Vergleich zu einer der anderen beiden Gruppen ($p > 0.05$; Wilcoxens Rangsummentest [Abb. 5]).

Synchronität GM und Sem

Auf der betroffenen Seite der Patientengruppe wurden in den Kreuzkorrelogrammen der EMG-Daten von GM:Sem keine Peaks gefunden (Tab. 2). Dies bedeutet, dass ein signifikanter Unterschied in der Peakinzidenz der Entladungssynchronität zwischen der betroffenen und der nicht betroffenen Seite (Peakinzidenz 6/8) vorhanden war ($p = 0.007$; Fishers exakter

Test [Abb. 6]). Das Peakvorkommen auf der betroffenen Seite war kleiner als in der Kontrollgruppe (Peakinzidenz 4/8), der Unterschied verfehlte jedoch knapp die Signifikanz ($p = 0.08$; Fishers exakter Test). Das Vorhandensein von Peaks war auf der nicht betroffenen Seite der Patientengruppe verglichen mit der Kontrollgruppe nicht signifikant anders ($p = 0.61$; Fishers exakter Test).

Die Grösse der Peaks auf der nicht betroffenen Seite reichte von 2.6 bis 8.3 und in der Gruppe der gesunden Probanden von 2.1 bis 5.8. Die Dauer betrug zwischen 7.2 und 15.5 ms auf der nicht betroffenen Seite, 9.8 bis 15.3 ms in der Kontrollgruppe. Beide Aspekte zeigten keinen wirklichen Unterschied zwischen den zwei Gruppen.

Synchronisationsstärke und Funktion

Die gemessenen Zeiten für das Abschreiten der Distanz von zehn Metern betrugen in der Schlaganfallgruppe 12.8 bis 95.7 Sekunden (s) (Mittelwert = 31.5 s; sd = 26.9 [Tab. 3]). Im Vergleich dazu benötigten die gesunden Probanden nur 5.7 bis 8.7 s (Mittelwert = 7.4 s; sd = 1.0). Daraus folgt, dass die Schlaganfallpatienten für die Strecke signifikant mehr Zeit brauchten, als die altersentsprechenden

GM = M. Gastrocnemius
medialis

Sol = M. Soleus

Sem = M. Semitendinosus

E/M = siehe Text

a = $p < 0.01$; Fishers exakter Test im Vergleich betroffene/nicht betroffene Seite.

Zu Ihrem Verständnis: Fishers exakter Test ist ein statistischer Test, durch den sich a berechnen lässt. Dabei werden die betroffene und die nicht betroffene Seite verglichen.

Muskelpaar	Gruppe	Peak-vorkommen	Synchronisations-stärke (E/M)	Peakdauer (ms)
GM:Sol	Betroffene Seite	5/8	5.9 ± 9.8	9.5 ± 5.9
GM:Sol	Nicht betroffene Seite	6/8	11.2 ± 6.9	13.3 ± 3.4
GM:Sol	Gesunde Probanden	7/8	5.3 ± 3.0	10.5 ± 3.6
GM:Sem	Betroffene Seite	0/8a	–	–
GM:Sem	Nicht betroffene Seite	6/8	4.8 ± 2.4	10.2 ± 2.8
GM:Sem	Gesunde Probanden	4/8	4.2 ± 1.9	12.8 ± 2.4

Tab. 2: Synchronität der Motoneuronenentladungen von GM:Sol sowie GM:Sem.

Inkontinenz behandeln!

- Geräte- und Zubehörprogramm für die komplette therapeutische Inkontinenz-Therapie

Geeignet für die Heimtherapie.
Attraktive Miet-/Kaufkonditionen.



Parsenn-Produkte AG, Abt. Medizinische Geräte
7240 Küblis, Tel. 081 300 33 33, Fax 081 300 33 39
info@parsenn-produkte.ch, www.parsenn-produkte.ch

BODYBLADE



Ihr zuverlässiger Partner für alle Belange.
Verlangen Sie unseren Gratiskatalog.

Un partenaire compétent pour tous vos besoins. Demandez notre catalogue gratuit.

Avenue Ruchonnet 2 bis
CH - 1003 Lausanne

Tél.: 021 312 15 15
Fax: 021 320 50 68
E-mail:cuirosa@worldcom.ch

cuiro sa

sissel
Original



SISSEL® Bambini

Für die Vorbeugung
von Wirbelsäulenschäden
ist es nie zu früh!

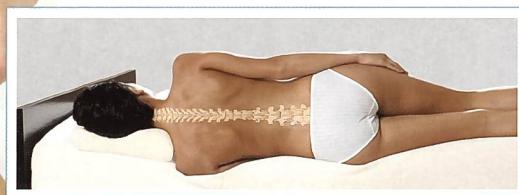
- für Kinder ab dem 4. Lebensjahr
- sorgt in vielen Fällen für einen ruhigeren Schlaf
- aus viskoelastischem Schaumstoff
- mit farbig bedrucktem Baumwollbezug,
waschbar bei 40°C
- Kissenkern waschbar in Handwäsche
- Masse: 35 x 25 x 9 cm



MEDIDOR
HEALTH CARE • THERAPIE

Kölla
MEDIZINTECHNIK

Eichacherstrasse 5 • CH-8904 Aesch b. Birmensdorf/ZH
Telefon 044-7 39 88 88 • Fax 044-7 39 88 00
E-Mail mail@medidor.ch • Internet www.sissel.ch



TEMPUR® – OPTIMALE DRUCKENTLASTUNG

Druckentlastende Kissen und Matratzen aus TEMPUR verbessern die Schlafqualität nicht nur von Menschen mit Rücken-, Nacken- und Gelenkschmerzen.

TEMPUR – für einen erholsamen Schlaf und ein entspanntes Aufstehen am Morgen.

GRATIS
TEMPUR® DVD mit wertvollen Informationen
(solange Vorrat)

TEMPUR ist ein viskoelastisches, temperaturempfindliches Material mit offenen Zellen, das sich exakt den Körperformen anpasst. Dank der offenen Zellen kann die Luft durch die Matratze strömen und die Körpertemperatur aufrechterhalten. Die kugelförmige Zellstruktur schmiegt sich den Körperformen an und gibt dort den perfekten Halt, wo er gebraucht wird. Dabei entstehen keine punktuellen Druckspitzen.

TEMPUR SCHWEIZ AG · CH-4622 Egerkingen
GRATIS-INFO: Tel. 0800 818 919

Fax 062 387 86 87
www.tempur.ch · info@tempur.ch

Changing the way the world sleeps!®



Neuheit: Unsere Physiotherapieliege für alle Anwendungen.
In jeder beliebigen Lage mittels Gasfedern verstellbar.
Elektrisch höhenverstellbar. Extrem stabil. Fr. 1960.-



Ab FR. 980.-

Elektrisch verstellbare Liegen,
extrem stabil, 300kg Tragkraft
div. Zubehör, beste Qualität

LIMMAT MEDICAL
Postfach 201
CH-5300 Turgi

Schweizer Qualität
Direkt ab Fabrik
5 Jahre Garantie
Gratiskatalog!

**Grosse Ausstellung
in Brugg/Windisch AG!**

10 verschiedene Modelle

**Direkt ab Fabrik, tiefste
Direktverkaufs-Preise!**
(+41) 056-288 00 15
email: km@bluewin.ch
www.behandlungstisch.ch

KORNMAHLER®

physio5
www.physio5.ch

Frottiertücher

Hochwertige Qualität zu attraktiven Preisen

Wählen Sie aus 20 verschiedenen Farben

- **Gästetuch** (30 x 50 cm)
- **Handtuch** (50 x 100 cm)
- **Duschtuch** (65 x 140 cm)
- **Badetuch** (100 x 150 cm)
- **Massagetuch** (100 x 220 cm)



Weitere Infos auf www.physio5.ch

Könizstrasse 60, CH-3008 Bern, Tel. 031 305 05 05, Fax 031 382 05 00, E-Mail: info@physio5.ch

Bitte
berücksichtigen
Sie beim Einkauf unsere
Inserenten.

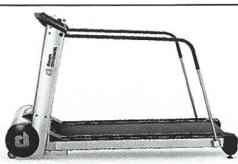
daum electronic
best for your fitness
Ergometer • Ellipter • Laufbänder

Unerlässlich für Physiotherapien,
Diagnostik oder Cardiotraining!



Daum Ergotrainer bieten

- Definition eigener Trainings
- Speicherung Trainingsdaten
- Umfangreiche Funktionen (nach Puls, Watt, Kraft, RPM)
- leise, standfest und solide
- einfache Bedienung, Menüs
- Profi-Technologie & Qualität



Fragen Sie ihr Fachgeschäft an!
mehr Info: GTSM Magglingen, Zürich
044 461 11 30 gtsm@bluewin.ch

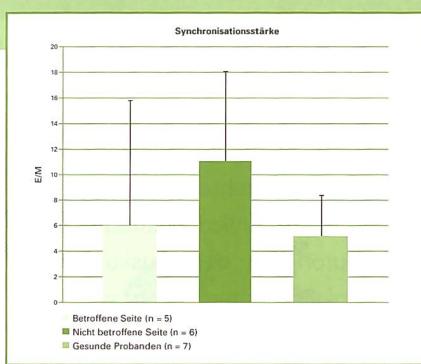


Abb. 4: Synchronisationsstärke von GM:Sol (Fehlerindikator = 1 sd).

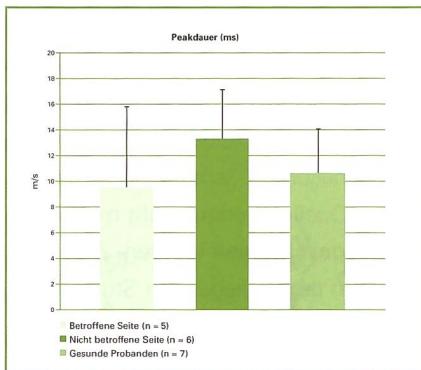


Abb. 5: Peakdauer von GM:Sol Korrelogrammen (Fehlerindikator = 1 sd).

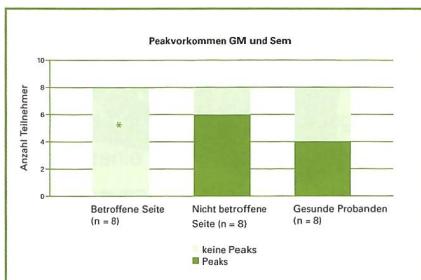


Abb. 6: Vorkommen von Peaks in GM:Sem Kreuzkorrelogrammen.

* signifikanter Unterschied im Vergleich zur nicht betroffenen Seite ($p < 0.01$; Fishers exakter Test).

Gesunden ($p < 0.001$; Wilcoxons Rangsummentest). Dies steht in Übereinstimmung mit von Von Schroeder et al. 1995 publizierten Resultaten [26].

Um die Korrelationsanalyse durchzuführen, wurden die Differenzen der Synchronisationsstärken der betroffenen und der nicht betroffenen Seite von GM:Sol berechnet. Die Resultate, welche keinen Peak aufwiesen, wurden als Nullwerte angenommen (wie bereits von Nadler et al. 1999 durchgeführt [20]). Der Korrelationskoeffizient zwischen den Differenzen der E/M-Werte und den Zeiten des Gehtests [Tab. 3]) erreichte einen Wert von

$r = 0.5$, dieser verfehlte die Signifikanz ($p = 0.5$; Signifikanztest).

Die Korrelationsanalyse von Synchronisationsstärke und den Zeiten vom 10-Meter-Gehtest zeigte auch bei den gesunden Probanden keinen klaren Zusammenhang der beiden Werte ($r = 0.03$).

Diskussion

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Resultate aufgrund der relativ kleinen Datenmenge ($n = 8$), der Heterogenität der Patientengruppe und der hohen Variabilität der Daten der einzelnen Patienten sehr vorsichtig interpretiert wurden.

Bei den Kreuzkorrelationsanalysen von GM:Sol EMG-Daten zeigten die aktuellen Resultate einen Trend zu verminderter Peakgrösse auf der betroffenen Seite im Vergleich zur nicht betroffenen Seite (Mittelwert E/M 5.9 respektive 11.2). Die Kreuzkorrelogramme, welche aus den GM:Sem Daten errechnet wurden, wiesen eine absolute Absenz von Peaks auf der betroffenen Seite auf. Das Peakvorkommen war dementsprechend signifikant unterschiedlich zwischen den beiden vorgenannten Seiten ($p < 0.05$; Fishers exakter Test). Diese Resultate stimmten mit denen der Studien von Powers et al. [18], Farmer et al. [19] und Nadler et al. [20] überein. Auch sie fanden ein vermindertes Peakvorkommen und verminderte Synchronisationsstärke der motorischen Einheiten innerhalb eines Muskels und zwischen Muskelpaaren auf der betroffenen Seite. Es wird angenommen, dass die verminderte oder fehlende Synchronität auf der betroffenen Seite aufgrund einer Schädigung der absteigenden Bahnen, vor allem des Tractus corticospinalis, welche für die Erzeugung von Synchronität unter normalen Umständen wichtig ist, beruht [12, 13, 14]. Aufgrund der vorherrschenden Meinung, dass der Tractus corticospinalis die distalen Muskeln stärker beeinflusst als die proximalen [27], könnte man annehmen, dass bei einer Schädigung der Bahnen die Synchronität der distaleren Muskeln

auch stärker in Mitleidenschaft gezogen würde. Die Daten dieser Studie zeigten jedoch ein höheres Peakvorkommen zwischen GM:Sol als zwischen GM:Sem. Frühere Studien haben gezeigt, dass Synchronität zwischen motorischen Einheiten von Muskeln, welche anatomisch und funktionell sehr ähnlich sind, vermehrt vorhanden ist [7, 9]. GM und Sol weisen eine enge Beziehung auf, sowohl anatomisch, als auch funktionell. Dies könnte zu der besser erhaltenen Synchronität nach Schlaganfall geführt haben. GM und Sem andererseits liegen anatomisch weiter auseinander und arbeiten nicht ausschliesslich synergistisch [28, 29]. Einen Einfluss auf die Sem EMG-Daten könnte auch der Umstand gehabt haben, dass die Aktivierung von Sem für die Mehrheit der Patienten schwierig war und oft als anstrengend empfunden wurde. Dies und wahrscheinlich auch die dickeren subkutane Fettschichten zwischen dem Muskel und der Haut erschwerten die Aufnahme von EMG-Signalen. Die Signale mussten deutlicher verstärkt werden, als jene von GM und Sol, was zu einem erhöhten Risiko von Kontamination durch andere Quellen führte [5].

Die höhere mittlere Synchronisationsstärke auf der nicht betroffenen Seite der Patientengruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe könnte daher stammen, dass der Index E/M umgekehrt proportional mit der mittleren Entladungsfrequenz zusammenhängt. Eine Reduktion der mittleren Entladungsrate führt daher zu einem grösseren E/M-Wert [21]. Es wurde in anderen Studien beschrieben, dass die Entladungsfrequenz in Muskeln von Schlaganfallpatienten oft tiefer ausfällt als in der Norm [30]. Eine Korrektur der Werte um die mittlere Entladungsfrequenz (wie von Harrison et al. 1991 [21] vorgeschlagen) wäre nützlich gewesen, um die Resultate klarer interpretieren zu können. Eine solche Analyse hätte jedoch den Rahmen der vorliegenden Arbeit gesprengt.

Das Vorkommen von Peaks in der Kontrollgruppe war kleiner als aufgrund vergleichbarer Studien an jungen Probanden

erwartet wurde [9]. Insbesondere die Kreuzkorrelationsanalyse von GM:Sem, bei der in nur 50 Prozent der Fälle ein Peak vorlag, unterschied sich klar von einem 9/10 Verhältnis, welches Gibbs et al. 1995 beschrieben [9]. Die vorliegenden Resultate unterstützen die Hypothese, dass die Stärke der Synchronität mit dem Alter aufgrund des Verlusts von Neuronen [31] und der Abnahme der Erregbarkeit [32] der corticospinalen Bahnen abnimmt. Der Effekt des Alters auf die Synchronität von motorischen Einheiten wird jedoch kontrovers diskutiert, so bestreiten aktuelle Studien einen Unterschied in Synchronität bei jungen und älteren Menschen [33, 34]. Für mehr Klarheit in Bezug auf Alter und Synchronität werden weitere Studien nötig sein. Die beobachtete Differenz könnte ebenfalls dadurch erklärt werden, dass physiologischerweise eine grosse inter-subjekt Variabilität im Ausmass von Synchronität besteht [7].

Die Korrelationsanalyse der Differenzen in Synchronisationsstärke zwischen der betroffenen und der nicht betroffenen Seite mit den Zeiten vom 10-Meter-Geh- test zeigte keine klare Relation der beiden Werte zueinander ($r = 0.5$). Das Fehlen einer klaren Beziehung könnte darauf hinweisen, dass das Wiedererlangen der Fähigkeit zu gehen weitgehend auf Kompensationsstrategien des Patienten beruht und nicht auf die Erholung auf der physiologischen Ebene zurückzuführen

ist [35, 36]. Bei Funktionen der oberen Extremität andererseits ist ein hohes Mass an Dexterität nötig, Kompensationsstrategien können daher weniger eingesetzt werden. Eine Aktivierung des Tractus corticospinalis ist somit unerlässlich [37, 38].

Als Physiotherapeutin sollte man sich darüber im Klaren sein, dass eine Diskrepanz zwischen gezeigter Funktion der unteren Extremität und der Erholung auf der Impairment Ebene besteht, da die meisten Outcome Measures die Ebene der Funktion messen. Aufgrund des Fehlens einer klaren Beziehung zwischen Synchronisationsstärke und Funktion sowohl bei den Schlaganfallpatienten, als auch bei den gesunden Probanden, wird das Messen der Synchronisation der Entladungen motorischer Einheiten somit nicht als nützliches Outcome Measure für die Erholung der unteren Extremität bei Schlaganfallpatienten gewertet.

Schlussfolgerung

Die Kreuzkorrelationsanalyse bei Schlaganfallpatienten zeigte eine klare Tendenz zu verminderter Synchronisation zwischen synergistischen Muskelpaaren der unteren Extremität auf der betroffenen Seite auf. Wir nahmen dabei an, dass der Effekt des Schlaganfalls auf die Entladung der motorischen Einheiten durch die Schädigung der absteigenden Bahnen, im Speziellen des Tractus corticospinalis, zustande kam. Weiter wurde postuliert,

dass die vergrösserte Synchronisationsstärke auf der nicht betroffenen Seite im Vergleich zu den Probanden der Kontrollgruppe darauf beruhte, dass eine verminderte mittlere Entladungsfrequenz der Motoneurone in der Muskulatur der Schlaganfallpatienten vorlag, was zu einem erhöhten E/M-Wert führte.

Die Differenz des Peakvorkommens zwischen den Kreuzkorrelogrammen von GM:Sol und GM:Sem wurde darauf zurückgeführt, dass die Synchronität bei funktionell und anatomisch nahe liegenden Synergisten nach einem Schlaganfall besser erhalten bleibt. Ein Einfluss von Kontamination der Sem-EMG-Daten durch andere Quellen konnte nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Zusätzlich konnte in der vorliegenden Studie keine klare Beziehung zwischen Synchronisationsstärke von GM:Sol und der Funktion des Gehens hergestellt werden.

Weitere Studien über Veränderungen von Synchronität der motorischen Einheiten in verschiedenen Muskelpaaren nach einem Schlaganfall und als Folge vom Alterungsprozess sind ein klares Bedürfnis, um den genauen Effekt eines Schlaganfalls auf die Entladungssynchronität motorischer Einheiten zu klären.

Literatur

kann bei der Autorin nachgefragt werden.

Danksagung

Dank gebührt allen Teilnehmern dieser Studie sowie der Paul Joseph Jenni-Stiftung für die finanzielle Unterstützung.

Teilnehmer (Geschlecht)	Synchronisationsstärke (E/M) betroffene Seite	Synchronisationsstärke nicht betroffene Seite	Differenz	10-Meter- Gehtest(s)
Schlaganfallpatienten				
1 (w)	1.5	0	-1.5	26.6
2 (w)	23.4	22.6	-0.8	32.0
3 (m)	1.3	8.8	7.5	13.3
4 (m)	0	13.9	13.9	29.7
5 (w)	1.4	0	-1.4	21.0
6 (m)	2.1	6.8	4.7	20.7
7 (m)	0	2.5	2.5	12.8
8 (m)	0	12.7	12.7	95.7
Mittelwert				
sd				
Mittelwert				
sd				
Gesunde Probanden				

a = Signifikanter Unterschied zwischen den Schlaganfallpatienten und den altersentsprechenden gesunden Probanden, in den Zeiten, um zehn Meter zu gehen. $P < 0.001$; Wilcoxon's Rangsummentest
sd = Standardabweichung

Tab. 3: Synchronisationsstärke GM:Sol und 10-Meter-Gehtest Zeiten.

The Shark Fitness Company



Trainingsgeräte und -zubehör

www.sharkfitness.ch



SportsArt FITNESS
Ergometer C5200U/53U



SportsArt FITNESS
Liegeergometer C5150R/53R



SportsArt FITNESS
Crosstrainer XT20



SportsArt FITNESS
Elliptical E8300/E82



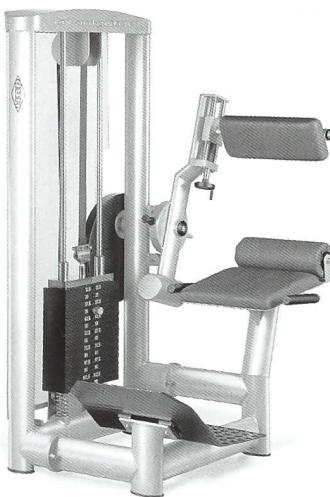
SportsArt FITNESS
Stepper S7100



SportsArt FITNESS
Laufband 6310/6320



FIRST DEGREE
FITNESS
UBE Upper Body Ergometer



HBP
Krafttrainingsgeräte

TUNTURI®

FIRST DEGREE
FITNESS

SCHWINN

VISION FITNESS

Nautilus®

BOWFLEX®

HBP

WORLD
GYM
FITNESS

KETTLER

WaterRower

SportsArt FITNESS

Body-Solid

The Shark Fitness Company



Shark Fitness AG
Landstrasse 129

5430 Wettingen 2

Tel.: 056 – 427 02 25

info@sharkfitness.ch

website: www.sharkfitness.ch

Shark Fitness Shops in Wettingen und Wil (SG)

Preise inkl. MwSt

Ausstellung – Planung – Beratung – Realisation – Service – Leasing