

Sequenzielle Muskelaktivierung am hemiparetischen Arm

C. Mucha

Abteilung Medizinische Rehabilitation und Prävention, Deutsche Sporthochschule Köln

Zusammenfassung

Geprüft werden sollte die sequenzielle Muskelaktivierung bei Mehrgelenksbewegung des hemiparetischen Armes von Patienten mit zentraler Hemiparese sowie am Arm gesunder Probanden.

12 Patienten mit zentraler Hemiparese und 8 gesunde Kontrollpersonen wurden untersucht. Zunächst erfolgte bei schneller Abduktion des Armes die Registrierung elektromyographischer Aktivitäten des mittleren Musculus deltoideus, M. biceps brachii und M. extensor digitorum. Anschließend wurde die Messung bei Anteversionsbewegung des ventralen Anteils des M. deltoideus, des M. biceps brachii und M. flexor digitorum superficialis vorgenommen.

Aus den abgeleiteten EMG-Daten wurden Aktivierungsdauer, Aktivierungslatenz und die Innervationsreihenfolge bestimmt und zwischen Patientengruppe und Kontrollgruppe verglichen.

In der Patientengruppe bestand eine signifikante Verlängerung der Aktivierungsdauer nur bei Abduktion, jedoch bei beiden Bewegungen eine signifikante Verlängerung der Aktivierungslatenz gegenüber der Kontrollgruppe. Bei der Innervationsreihenfolge war eine simultane Aktivierung aller drei abgeleiteten Muskeln am häufigsten bei Gesunden vorzufinden. Bei Gesunden fungierte auch der M. deltoideus am häufigsten als Leitmuskel, während bei den hemiparetischen Patienten oft eine Verschiebung nach distal zum M. biceps brachii auftrat.

Die Geschwindigkeit von Mehrgelenksbewegungen am hemiparetischen Arm scheint bei bestimmten Bewegungen (Anteversion) nicht beeinträchtigt zu sein, während in anderen (Abduktion) diese signifikant reduziert ist. Dieses Teilergebnis sowie die signifikant verlängerte Aktivierungslatenz am hemiparetischen Arm sollte im therapeutischen Übungsregime Beachtung finden.

Schlüsselwörter: hemiparetischer Arm, Mehrgelenksbewegungen, sequenzielle Muskelaktivierung

Chronological activation sequence of the hemiparetic arm

C. Mucha

Abstract

This study investigated the chronological activation sequence of multiple joint movements of the hemiparetic arm in patients with central hemiparesis compared to healthy test subjects.

Twelve patients with central hemiparesis and eight healthy control subjects were studied. First, in rapid abduction movement of the upper limb, the electromyographic activities of the middle part of the deltoid muscle, the brachial biceps muscle and the extensor muscles of the fingers, were registered. Second, in rapid flexion of the arm, the electromyographic activities of the ventral part of the deltoid muscle, the brachial biceps muscle and the superficial flexor muscles of the fingers, were measured. From the EMG data registered, activation duration, activation latency and the innervation sequence were determined and compared between patient group and control group.

In the patient group, a significant prolongation of the activation duration was shown only in abduction. However, the activation latency was significantly prolonged in both movements compared to healthy test subjects. In the innervation sequences, a simultaneous activation was most frequently shown in healthy subjects. In healthy subjects, the deltoid muscle also usually functioned as leading muscle, whereas there was sometimes a shift distally to the brachial biceps muscle in the hemiparetic patients.

The speed of rapid multiple joint movements in hemiparetic extremities seems to be unaffected in certain movements (anteversion), in others (abduction) it seems to be significantly reduced. This, as well as the fact that the activation latency is significantly longer in the hemiparetic limbs, should be taken into consideration when choosing rehabilitation exercises.

Key words: hemiparetic arm, polyarticular movement, chronological activation sequence

Einleitung und Problemstellung

Alltagsbewegungen erfordern eine sequenzielle Aktivierung der beteiligten Muskeln. Bei Greifbewegungen werden zunächst rumpfnah und proximale Extremitätenmuskeln aktiviert [14]. Nach Levin [11] sind die Cortexareale, in denen die Bewegungen geplant und kontrolliert werden, nicht eindeutig festzulegen und diese Funktionen wahrscheinlich über mehrere kortikale und subkortikale Areale verteilt. Die distalen Armsegmente sind hauptsächlich im primärmotorischen Cortex repräsentiert. Für die Innervation von proximalen Extremitäten- und Rumpfmuskeln stehen der Hirnrinde der prämotorische, der supplementärmotorische und der primärmotorische Cortex zur Verfügung [2]. Im primärmotorischen Cortex sind distale Muskelgruppen nahezu monopolisiert. Die zeitliche Koordination motokortikaler Aktivität bei der Durchführung von Willkürbewegungen obliegt den sekundärmotorischen Cortexarealen. Veränderungen der Aktivierungssequenz von Armmuskeln bei Schädigung des prämotorischen Cortex wurden bereits festgestellt [7]. In dieser Untersuchung sollte geprüft werden, ob bei Patienten mit typischen zentralen Paresen, d. h. solchen mit einem nach distal zunehmenden Lähmungsgradienten, ein veränderter zeitlicher Aktivierungsablauf in den beteiligten Muskeln beobachtet werden kann.

Patienten und Methoden

Untersucht wurden 12 Patienten mit zentraler Hemiparese infolge einer Läsion im Territorium der A. cerebri media mit typischem Paresemuster. In die Untersuchung wurden nur Patienten aufgenommen, die ein einziges cerebrovasculäres Ereignis hatten, das 4–6 Monate zurücklag sowie in der Krankengeschichte durch CT und MRT bestätigt war. Patienten mit einem Neglect, einer Apraxie, einer Subluxation oder mit Schmerzen in der Schulter wurden ausgeschlossen. Eine Kontrollgruppe bestand aus acht gesunden Versuchspersonen vergleichbaren Alters und gleicher Geschlechterverteilung. In keiner Gruppe bestanden Einschränkungen der passiven Mobilität am betroffenen Arm. Alle Testpersonen waren Rechtshänder.

In beiden Vergleichsgruppen wurden die Teilnehmer aufgefordert, aus der aufrechten stehenden Position mit gestrecktem Arm eine maximal schnelle Anteversions- bzw. Abduktionsbewegung in Richtung des Beschleunigungsaufnehmers (Abb. 1) bis zur Schulterhöhe auszuführen. Die Handfläche wurde dabei während der Anteversionsbewegung nach ventral und während der Abduktionsbewegung parallel zum Rumpf gehalten. Bei der Anteversionsbewegung wurden Oberflächenelektroden auf dem ventralen Anteil des M. deltoideus, dem Muskelbauch des M. biceps brachii am mittleren Oberarm und den Mm. flexor digitorum superficialis positioniert. Bei der Abduktionsbewegung wurden die Elektroden auf dem mittleren Anteil des M. deltoideus, dem M. biceps brachii und den Mm. extensor digitorum angebracht. Zur Verstärkung der elektromyographischen Aktivität wurde an der Hand ein Gewicht von 600 g befestigt.

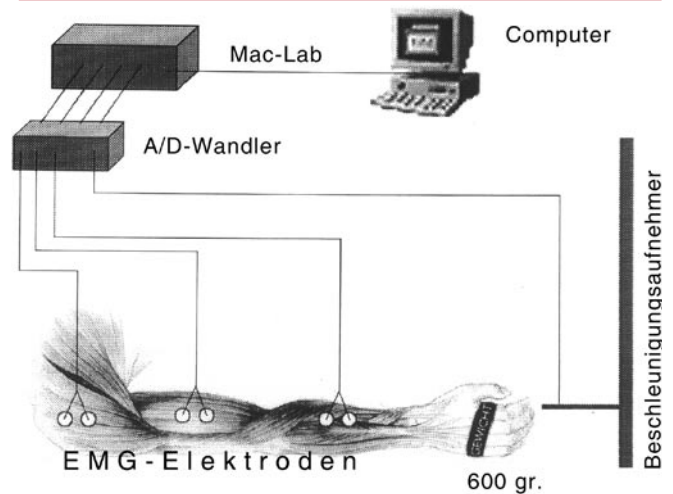


Abb. 1: Versuchsaufbau

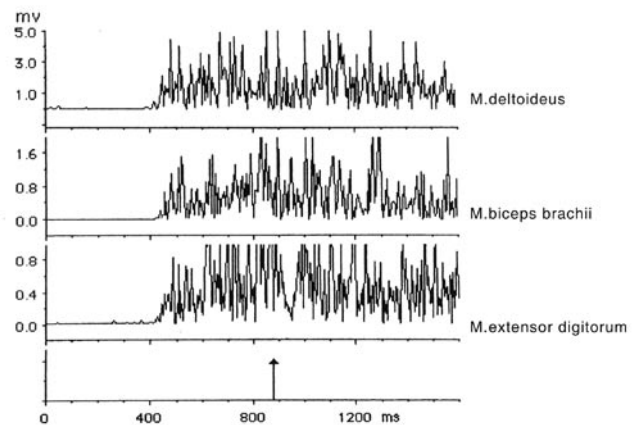


Abb. 2: Elektromyographische Aktivität bei Abduktion eines gesunden Probanden

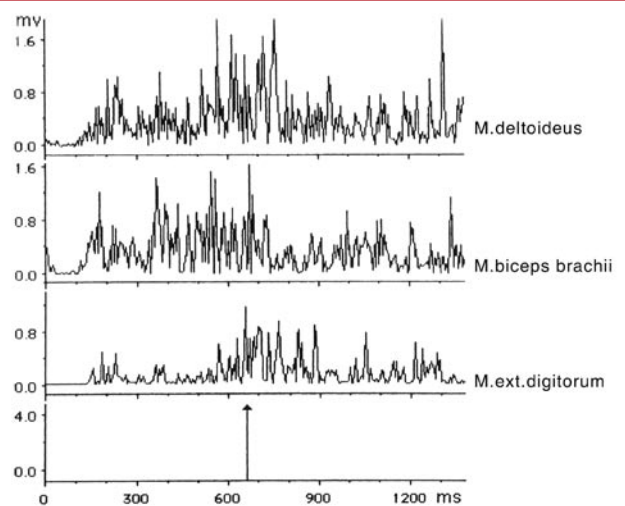


Abb. 3: Elektromyographische Aktivität bei Abduktion der hemiparetischen Extremität eines Patienten

Die EMG-Signale wurden gleichgerichtet, gefiltert (3 Hz bis 3 kHz) und über einen Analog/Digitalwandler in ein kommerzielles Datenakquisitionssystem gegeben. Die Ab-

tastrate betrug 1 kHz, so dass eine zeitliche Auflösung von 1 ms möglich war.

Zur Bestimmung der Bewegungsdauer wurde der Beschleunigungsaufnehmer in Schulterhöhe angebracht, so dass er die Gesamtdauer der Bewegung markierte (Abb. 1).

Bei den gesunden Kontrollpersonen wurde zuvor die dominante und nicht dominante Extremität untersucht, wobei sich jedoch keine Seitenunterschiede im elektromyographischen Muster ergaben. Bei den Patienten erfolgten dann die Messungen an der paretischen Seite.

Aus den abgeleiteten EMG-Daten wurden Aktivierungsdauer, Aktivierungslatenz und die Innervationsreihenfolge der an der Bewegung mitinnervierten Muskeln bei Anteversion und Abduktion des Armes bestimmt.

Die Aktivierungsdauer repräsentiert den Zeitraum von der zuerst gemessenen elektromyographischen Aktivität bis zum Anschlag des Beschleunigungsaufnehmers in Schulterhöhe. Sie korreliert mit der Bewegungsdauer.

Die Aktivierungslatenz stellt den relativen zeitlichen Abstand der Aktivierung aller abgeleiteten Muskeln dar. Sie entspricht dem Zeitintervall vom Erregungsbeginn des ersten (= Leitmuskel) bis zum Erregungsbeginn des letzten innervierten Muskels.

Um die aus den einzelnen Ableitungen gewonnenen Innervationslatenzen bei Anteversions- und Abduktionsbewegung zwischen Patienten- und Kontrollgruppe quantitativ zu vergleichen, wurde die erste elektromyographische Erregung mit dem Wert 0 belegt. Von diesem Wert ausgehend ergab sich der Zeitraum bis zum Erregungsbeginn der folgenden Muskelgruppen. Bei gleichem Erregungsbeginn verschiedener Muskelgruppen resultieren folglich gleiche Zahlenwerte. Zur statistischen Berechnung der Aktivierungsdauer und Aktivierungslatenz zwischen den Gruppen diente der t-Test, nachdem die empirische Varianz bestimmt, der F-Test durchgeführt und das Signifikanzniveau auf $\alpha=0,05$ festgesetzt wurden. Die Innervationsreihenfolgen wurden deskriptiv tabellarisch dargestellt.

Ergebnisse

Sieben Patienten hatten eine Hemiparese rechts und fünf links. Das mittlere Alter der Patienten betrug $54,5 \pm 8,9$ Jahre. Acht von ihnen waren männlich. In der Kontrollgruppe wurden jeweils die registrierten EMG-Daten des seitenangepassten Arms verglichen.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft die elektromyographische Aktivität der Abduktionsbewegung einer gesunden Versuchsperson. In der unteren Ableitung zeigt der Pfeil das Signal des Beschleunigungsaufnehmers beim Anschlagen der Fingerspitzen in der Horizontalen, der dem Ende der Bewegungsexkursion entspricht. Es fällt auf, dass die Aktivierung der drei Muskelgruppen gleichzeitig erfolgt und dann ein steiler Amplitudenanstieg bis zur maximalen Erregung folgt. Dieses Erregungsniveau bleibt nach der Abduktion des Armes bis zur Horizontalen bestehen.

Abbildung 3 zeigt ein elektromyographisches Beispiel der hemiparetischen Extremität eines Patienten bei der Abduk-

Vergleichsgruppen	Bewegungsdauer (ms)	
	\bar{x}	$\pm s$
Gesunde	642,4	158,5
Patienten	799,0	283,0

Tab. 1: Mittlere Bewegungsdauer bei Anteversion des Armes, n.s. ($\alpha=0,05$)

Vergleichsgruppen	Bewegungsdauer (ms)	
	\bar{x}	$\pm s$
Gesunde	540	81*
Patienten	694	164*

Tab. 2: Mittlere Bewegungsdauer bei Abduktion des Armes, *s. ($\alpha=0,05$)

Vergleichsgruppen	Aktivierungslatenz (ms)	
	\bar{x}	$\pm s$
Gesunde	56,4	54,0*
Patienten	169,5	121,9*

Tab. 3: Mittlere Aktivierungslatenz bei Anteversion des Armes, *s. ($\alpha=0,05$)

Vergleichsgruppen	Aktivierungslatenz (ms)	
	\bar{x}	$\pm s$
Gesunde	26	21,2*
Patienten	130,8	127,6*

Tab. 4: Mittlere Aktivierungslatenz bei Abduktion des Armes, *s. ($\alpha=0,05$)

tionsbewegung. Hier wird deutlich, dass die Erregungen des Musculus deltoideus und M. biceps brachii simultan beginnen, diejenige des M. extensor digitorum jedoch erst mit einer Latenz von 35 ms einsetzt.

Die Bewegungs-(Aktivierungs-)dauer wurde zunächst für jede Versuchsperson gegenübergestellt. Der Vergleich der Mittelwerte für die Dauer der Anteversionsbewegung bis zur Horizontalen (Tab. 1) ergab bei den gesunden Probanden $642,4 \text{ ms} \pm 158,5 \text{ ms}$, bei den Patienten $799 \text{ ms} \pm 283,0 \text{ ms}$. Die Differenz ist auf dem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ nicht signifikant.

Die Bewegungsdauer bei Abduktion (Tab. 2) bis zum Anschlag des Bewegungsmessers von Normalpersonen betrug im Mittel $540 \text{ ms} \pm 81 \text{ ms}$. Bei Patienten betrug diese Bewegungsdauer $694 \text{ ms} \pm 164 \text{ ms}$. Die Abduktionsbewegung der Patienten ist also im Mittel signifikant um 154 ms gegenüber den Normalpersonen verlangsamt.

In Tabelle 3 und 4 sind die mittleren Aktivierungslatenzen in den Vergleichsgruppen bei Anteversion und Abduktion des Armes gegenübergestellt. Die Aktivierungslatenzen der hemiparetischen Patienten sind gegenüber denen der gesunden Probanden signifikant verlängert.

In den Tabellen 5 bis 8 sind die Innervationsreihenfolgen bei Anteversion und Abduktion jeder einzelnen Versuchsperson

aufgeführt. Bei der Anteversion der gesunden Probanden (Tab. 5) ist erkennbar, dass der M. deltoideus hier in vier Fällen als einziger Muskel führt. Eine simultane Erregung aller drei abgeleiteten Muskeln erfolgte in drei Fällen. Eine gleichzeitige Erregung von M. deltoideus und M. biceps brachii besteht in einem Fall.

Bei der Anteversion der Patienten (Tab. 6) führt der M. biceps brachii sechsmal als einziger Muskel und der M. deltoideus viermal. Eine gleichzeitige Erregung von M. deltoideus und M. biceps brachii erfolgte in einem Fall. Eine simultane Erregung von M. biceps brachii und flexor digitorum superficialis besteht einmal. Die Innervationsreihenfolgen bei Abduktion der Normalpersonen (Tab. 7) führt der M. deltoideus als einziger Muskel dreimal an. Eine gleichzeitige Erregung von M. deltoideus und M. biceps brachii sowie M. deltoideus und M. extensor digitorum fanden jeweils einmal statt. Eine simultane Aktivierung aller drei abgeleiteten Muskeln erfolgte in drei Fällen.

Die Innervationsreihenfolgen bei Abduktion der Patienten (Tab. 8) führt der M. deltoideus als einziger Muskel in fünf Fällen und zusammen mit dem M. biceps brachii in vier Fällen an. Der M. biceps brachii führt als einziger Muskel in drei Fällen. Eine simultane Aktivierung aller drei abgeleiteten Muskeln fand nicht statt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass besonders bei der Anteversion der oberen Extremität bei Normalpersonen von proximal nach distal die Häufigkeit der Leitmuskulatur abnimmt, sich bei der hemiparetischen Extremität der Patienten eine Verlagerung zum distalen M. biceps brachii zeigt und sowohl bei Anteversion als auch bei Abduktion die simultane Erregung aller drei Muskeln bei gesunden Normalpersonen am häufigsten zu finden ist. Offensichtlich kann so eine Bewegung flüssiger, schneller und synchroner durchgeführt werden.

Diskussion

Da die mittels Oberflächenelektroden registrierte EMG-Aktivität hinsichtlich ihrer Amplitude einer Reihe von variablen und schwer zu determinierenden Einflussgrößen unterliegt (z.B. Hautwiderstand, Beschaffenheit der Bindegewebsstrukturen und der Muskulatur zwischen den Elektroden), wurde auf zahlenmäßige Angaben der Amplituden der Muskelaktivität verzichtet.

Nach Läsion des 1. motorischen Neurons kommt es sowohl zu verändertem Rekrutierungsverhalten in motorischen Einheiten als auch zu histologischen Veränderungen der betroffenen Muskulatur. Hierzu sind jedoch die Aussagen in der Literatur [3, 4, 9, 13] widersprüchlich. Zum Teil scheint eine Atrophie vor allem der schnellen ATP-ase-reichen Typ 2-Fasern, z.T. eine Transformation von Typ 1- in Typ 2-Fasern vorzuherrschen. Letzteres spricht dafür, dass eine Tendenz bestünde, durch Transformation weiter schnelle Bewegungen möglich zu machen. Gelingen rasche Bewegungen dennoch nicht, dürfte hierfür ein verminderter Einsatz neuronaler Elemente verantwortlich sein [12]. *Fellows* et al. [6] sowie *Goland* et al. [8] konnten zeigen, dass bei der Hemiplegie

Probanden-Nr.	Deltoideus (ms)	Biceps (ms)	Flexor (ms)
1	0	15	20
2	0	50	85
3	0	0	150
4	0	55	65
5	0	20	55
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0

Tab. 5: Innervationsreihenfolgen bei Anteversion der gesunden Probanden

Probanden-Nr.	Deltoideus (ms)	Biceps (ms)	Flexor (ms)
1	128	0	128
2	28	0	171
3	36	0	0
4	57	0	129
5	0	0	171
6	416	0	314
7	36	0	157
8	0	271	328
9	28	0	129
10	0	136	164
11	0	71	157
12	0	25	45

Tab. 6: Innervationsreihenfolgen bei Anteversion der Patienten mit Hemiparese

Probanden-Nr.	Deltoideus (ms)	Biceps (ms)	Extensor (ms)
1	0	20	0
2	0	50	50
3	0	0	20
4	0	50	50
5	0	50	50
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0

Tab. 7: Innervationsreihenfolgen bei Abduktion der gesunden Probanden

Probanden-Nr.	Deltoideus (ms)	Biceps (ms)	Extensor (ms)
1	0	0	20
2	0	186	43
3	43	0	100
4	0	0	36
5	28	0	20
6	0	428	357
7	0	0	186
8	0	171	20
9	70	0	114
10	0	357	43
11	0	0	35
12	0	80	80

Tab. 8: Innervationsreihenfolgen bei Abduktion der Patienten mit Hemiparese

Muskelgruppe	Gesunde	Patienten
M. deltoideus	100,0%	60,0%
M. biceps brachii	57,1%	60,0%
M. flexor digitorum	28,6%	10,0%

Tab. 9: Anteil der Leitmuskulatur bei Anteversion

Muskelgruppe	Gesunde	Patienten
M. deltoideus	87,5%	100,0%
M. biceps brachii	50,0%	33,3%
M. flexor digitorum	50,0%	0,0%

Tab. 10: Anteil der Leitmuskulatur bei Abduktion

eher eine verminderte Rekrutierung agonistischer motorischer Einheiten und weniger verstärkte antagonistische Kokontraktionen vorzufinden sind. Diese Entwicklungsunterschiede können sowohl die in dieser Untersuchung bei Patienten festgestellte verminderte Geschwindigkeit bei Abduktionsbewegung als auch die relativ unbeeinflusste Anteversionsdauer erklären. Da hier, im Gegensatz zu Untersuchungen aus der Literatur [1, 5, 10], Mehrgelenksbewegungen untersucht wurden, sind kompensatorische Muskeleinflüsse (z. B. M. biceps brachii) nicht auszuschließen.

Die Aktivierungslatenz war bei den hemiparetischen Extremitäten gegenüber derjenigen von gesunden Versuchspersonen signifikant verlängert. Dieses Ergebnis deckt sich weitgehend mit demjenigen von *Tsuji* und *Nakamura* [15], die bei Patienten mit zentraler Hemiparese eine verlängerte Latenzzeit vom Beginn der EMG-Aktivität bis zum Beginn des Spannungsanstiegs bei Kontraktion des M. gastrocnemius fanden.

Eine simultane Erregung konnte bei den untersuchten Patienten deutlich seltener als bei den gesunden Probanden gefunden werden. Die Koordination zwischen den Muskelgruppen an der paretischen Extremität erscheint also deutlich verändert. Die von Gesunden abweichenden Muskelaktivierungsmuster der Patienten weisen bei ihnen auf eine veränderte Strategie der untersuchten Komplexbewegungen hin. Dabei spielte z. T. der M. biceps brachii, möglicherweise aus gelenkmechanischen Gründen sowie offensichtlich wegen der besonderen Verteilung der Spastik, eine besondere Rolle. Hochgradig paretisch sind regelmäßig die an der Abduktion im Schultergelenk beteiligten Mm. serratus anterior, infraspinatus, supraspinatus und deltoideus. Die veränderten Aktivierungsmuster repräsentieren in den vorliegenden Ergebnissen u. a. auch die Innervationsreihenfolgen, die bei den Patienten eine Verschiebung zum M. biceps brachii aufwiesen, während bei Gesunden der M. deltoideus in der Regel als Leitmuskel fungierte, falls nicht die hier häufiger vorliegende simultane Erregung erfolgte.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich bei einer zentralen Hemiparese nach Insult im Versorgungsgebiet der A. cerebri media und mit typischem Verteilungsmuster der Parese teilweise erhebliche Veränderungen innerhalb der elektromyographischen Aktivität und im Zusammenspiel

der betroffenen Extremitätenmuskulatur ergeben. Die Geschwindigkeit von schnellen Mehrgelenksbewegungen hemiparetischer Extremitäten ist bei signifikanter Verlängerung der Aktivierungslatenz gegenüber gesunden Versuchspersonen für bestimmte Bewegungen unbeeinflusst (bei Anteversion), bei anderen Bewegungen signifikant reduziert (bei Abduktion).

Nach Bestätigung dieser Ergebnisse an größeren Untersuchungskollektiven müssten die daraus resultierenden Konsequenzen für das therapeutische Übungsregime dahingehend geklärt werden, ob durch an diese Defizite angepasste Übungsformen und -techniken eine Normalisierung der sequenziellen Muskelaktivierung möglich ist oder ob durch Beschränkung auf Kompensationstechniken ein schnelleres und besseres funktionelles Rehabilitationsergebnis erreicht wird.

Literatur

1. Bourbonnais D, Vanden Noven S, Carey KM, Rymr WZ: Abnormal spatial patterns of elbow muscle activation in hemiparetic human subjects. *Brain* 1989; 112: 85 - 102
2. Colebatch JG, Rothwell JC, Day BL, Thompson PD, Marsden CD: Cortical outflow to proximal arm muscles in man. *Brain* 1990; 113: 1843-1856
3. Dattola R, Girlanda P, Vita G, Santoro M, Roberto ML, Toscano A, Venuto C, Baradello A, Messina C: Muscle rearrangement in patients with hemiparesis after stroke: an electrophysiological and morphological study. *Eur Neurol* 1993; 33: 109-114
4. Dietz V, Ketelsen UP, Berger W, Quintern J: Motor unit involvement in spastic paresis. Relationship between leg muscle activation and histochemistry. *J Neurol Sci* 1986; 75: 89-103
5. Dietz V, Trippel M, Berger W: Reflex activity and muscle tone during elbow movements in patients with spastic paresis. *Ann Neurol* 1991; 30: 767-779
6. Fellows SJ, Klaus C, Ross HF, Thilmann AF: Agonist and antagonist EMG activation during isometric development at the elbow in spastic hemiparesis. *Electroencephalog Clin Neurophysiol* 1994; 93: 106-112
7. Freund HJ, Hummelsheim H: Lesions of premotor cortex in man. *Brain* 1985; 108: 697-733
8. Gowland C, De Bruin H, Basmajian JV, Plews N, Burcea I: Agonist and antagonist activity during voluntary upper-limb movement in patients with stroke. *Phys Ther* 1992; 72: 624-633
9. Jakobsson F, Edström L, Grimby L, Thornell LE: Disuse of anterior tibial muscle during locomotion and increased proportion of type 2 fibres in hemiplegia. *J Neurol Sci* 1991; 105: 49-56
10. Knutsson E, Martensson A: Dynamic Motor Capacity in Spastic Paresis and its Relation to Prime Mover Dysfunction, Spastic Reflexes and Antagonist Co-Activation. *Scand J Rehab Med* 1980; 12: 93-106
11. Levin MF: Interjoint coordination during pointing movements is disrupted in spastic hemiparesis. *Brain* 1996; 119: 281-293
12. Rosenfalck A, Andreassen S: Impaired regulation of force and firing pattern of single motor units in patients with spasticity. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1980; 43: 907-916
13. Slager UT, Hsu JD, Jordan C: Histochemical and Morphometric Changes in Muscles of Stroke Patients. *Clin Ortho Rel Res* 1985; 199: 159-168
14. Soetiching JF, Flanders M: Sensorimotor representations for pointing to targets in three-dimensional space. *J Neurophysiol* 1989; 62: 582-594
15. Tsuji I, Nakamura R: The altered time course of tension development during the initiation of fast movement in hemiplegic patients. *Tohoku J Exp Med* 1987; 151: 137-143

Korrespondenzadresse:

Univ.-Prof. Dr. med. C. Mucha
Abt. Medizinische Rehabilitation u. Prävention
Deutsche Sporthochschule Köln
Carl-Diem-Weg 6
50933 Köln
e-mail: mucha@dshs-Koeln.de