

# Die Rehabilitation der zentral paretischen Hand: Bewegungswiederholung und sensomotorische Kopplung

Horst Hummelsheim

*Neurologische Fachklinik Hilchenbach*

*Rehabilitationszentrum für Neurologie und Neuropsychologie*

## Zusammenfassung

Die häufige Wiederholung gleicher Bewegung ist von essentieller Bedeutung für das motorische Lernen Gesunder ebenso wie für die Erholung motorischer Funktionen bei Patienten mit zentralen Lähmungen. Anhand dreier prospektiver Studien bei insgesamt 59 Hirninfarktpatienten wird belegt, daß ein repetitives Training einfacher Hand- und Fingerbewegungen biomechanische und funktionelle Parameter der Handmotorik deutlich verbessert und konventioneller Physiotherapie allein überlegen ist. Die EMG-initialisierte elektrische Muskelstimulation verbessert die Handmotorik ebenfalls, vorausgesetzt der aktiv ausgeführte Bewegungsanteil wird groß gewählt und repetitiv durchgeführt. Elektrische Muskelstimulation allein führt hingegen nicht zu einer Zunahme des motorischen Leistungsvermögens der Hand. Die physiologischen Mechanismen, die der Wirksamkeit des repetitiven Trainings und der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation zugrunde liegen, werden diskutiert. Neben dem repetitiven Element bildet die sensomotorische Kopplung einen wichtigen Baustein für das motorische Lernen und die Erholung motorischer Funktionen. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß diejenigen sensiblen Afferenzen, die in dem sich bewegenden Gliedmaßenabschnitt generiert werden, auf die entsprechenden an der Bewegungsausführung mitwirkenden Neuronenpopulationen der motorischen Hirnrinde treffen (Afferenz-Efferenz-Kopplung).

**Schlüsselwörter:** zentrale Parese, Handmotorik, Bewegungswiederholung, sensomotorische Kopplung, motorisches Lernen, zentralnervöse Plastizität

## Rehabilitation of the centrally paretic hand: repetitive training and sensorimotor coupling

H. Hummelsheim

### Abstract

Frequent repetition of identical movements is an essential prerequisite for motor learning in healthy subjects and for motor recovery in hemiparetic stroke patients. This contribution summarizes the results of three studies dealing with the benefits of a repetitive training of hand and finger movements from a cohort of 59 stroke patients. Repetitive training is appropriate for significant improvement of the centrally paretic arm both biomechanically and functionally. It also proves to be superior to conventional physical exercise therapy. With active and repetitive performance of requested movements comparable positive effects have been observed in the hand and finger muscles with the use of EMG-initiated electrical muscle stimulation. Pure electrical stimulation, however, does not enhance motor capacity of the hand. Physiological mechanisms underlying the influences of the repetitive training and the EMG initiated electrical muscle stimulation are discussed. In addition to the repetitive element, sensorimotor coupling appears to be crucial for motor learning and recovery. The afferent input generated in the moving limb converges on active neuronal populations in those motor centers that are involved in the movement.

**Key words:** hand function, stroke, movement repetition, sensorimotor coupling, motor learning, neuronal plasticity

Neurol Rehabil 1998; 4 (2): 64-70

## Einleitung

Jedes Jahr erkranken 150.000 bis 200.000 Menschen an einem Schlaganfall, aus dem für viele Betroffene eine lebenslange chronische Behinderung resultiert. Die Prävalenz der jemals von einem Hirninfarkt oder einer Hirnblutung Betroffenen wird für die Bundesrepublik Deutschland auf 500 - 700 pro 100.000 Einwohner geschätzt [7].

Ihre soziale Integration zu fördern, drohenden Komplikationen oder Funktionsverschlechterungen entgegenzuwirken und Pflegebedürftigkeit abzuwenden, ist Aufgabe der gesetzlichen Krankenversicherungen. Eine zentrale Rolle in der oft jahrzehntelang stattfindenden (ambulanten und/oder stationären) Rehabilitation spielen Krankengymnastik und Ergotherapie, deren Ziel u. a. in der Verbesserung des motorischen Leistungsvermögens liegt. Mehrere

krankengymnastische bzw. ergotherapeutische Behandlungstermine pro Woche sind die Regel. Vor dem Hintergrund der daraus resultierenden erheblichen Kosten ergibt sich die Forderung nach wissenschaftlicher Untermauerung krankengymnastischer und ergotherapeutischer Behandlungsmethoden sowie das Anliegen, diese zu optimieren und langfristig einen Indikationenkatalog für die verschiedenen Behandlungsmethoden vorzulegen, verknüpft mit erprobten Dosierungsempfehlungen.

Prozeßbezogene Physiotherapieforschung auf dem Gebiet der neurologischen Rehabilitation wird erst seit ca. einem Jahrzehnt systematisch, insbesondere unter Einsatz von Bewegungsanalyseverfahren und neurophysiologischen Methoden, betrieben. Ein wichtiges Ziel ist dabei, diejenigen Grundprinzipien des motorischen Lernens zu ermitteln, die in allen physio- und ergotherapeutischen Interventionen vorkommen sollten, damit diese auch tatsächlich wirksam sind. Die wissenschaftliche Bearbeitung solcher grundsätzlicher Fragen ist erforderlich, da es zwar eine Vielzahl z. T. inhaltlich sehr heterogener physiotherapeutischer »Schulen« gibt, für die aber ein Unterschied in der Wirksamkeit bislang nicht nachgewiesen werden konnte [7, 11, 19]. Es erscheint sinnvoll, wenigstens die weit verbreiteten therapeutischen Methoden (d. h. die Verfahren nach *Bobath*, *Brunnstrom*, *Rood* und die PNF-Methode, in jüngerer Zeit auch die Methoden nach *Affolter* und *Perfetti*) um einige Elemente zu erweitern, soweit sie sich aus der rehabilitationsneurologischen Grundlagenforschung ergeben.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Bedeutung des repetitiven Elementes und der sensomotorischen Kopplung in der Rehabilitation der zentral paretischen Hand. Darüber hinaus wird dargelegt, daß funktionelle Leistungszuwächse der Hand nur dann zu erwarten sind, wenn auf die Hand wirkende Muskelgruppen unmittelbar trainiert werden.

Von physiotherapeutischen Interventionen, die sich ausschließlich oder vorwiegend mit der Rumpf- oder schulternahen Muskulatur beschäftigen [2, 3, 16, 18], ist wenig Nutzen für den distalen Arm oder die Hand zu erwarten [10].

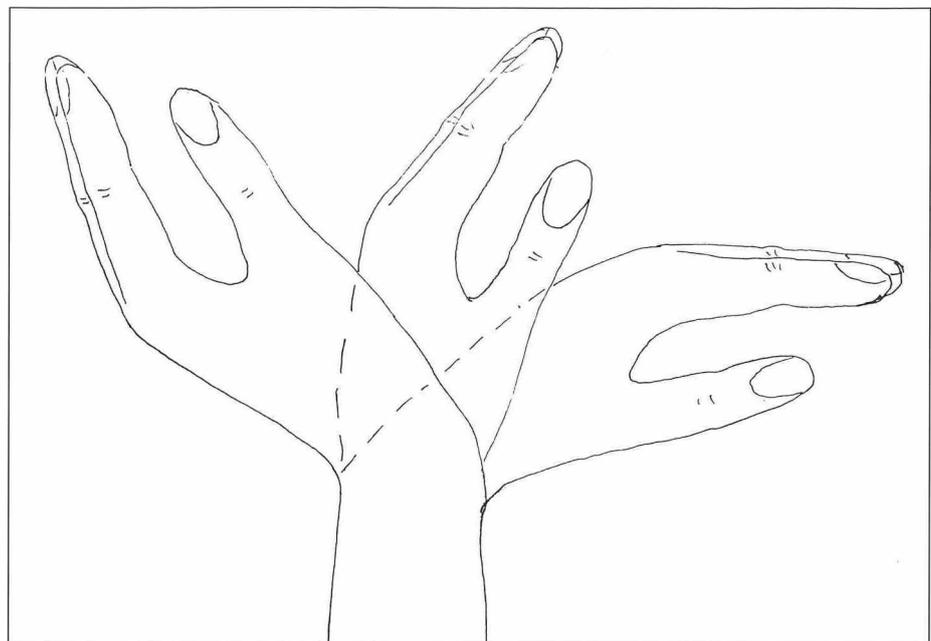
### Das repetitive Element

Daß funktionelle und strukturelle Plastizität im Zentralnervensystem bei allen Lernvorgängen ebenso wie in der Folge von Läsionen permanent stattfindet, wurde in den zurückliegenden beiden Jahrzehnten umfangreich belegt

(Übersicht bei [11, 20]). Verschiedene Mechanismen, u. a. die Demaskierung »stiller«, d. h. präformierter synaptischer Verbindungen, die Funktionsübernahme durch funktionell verwandte Gebiete (Vikariation) oder Long-term-Potentiierungs(LTP)-Phänomene ermöglichen Plastizität und damit sowohl Lernvorgänge als auch die Erholung von eingetretenen Funktionsdefiziten.

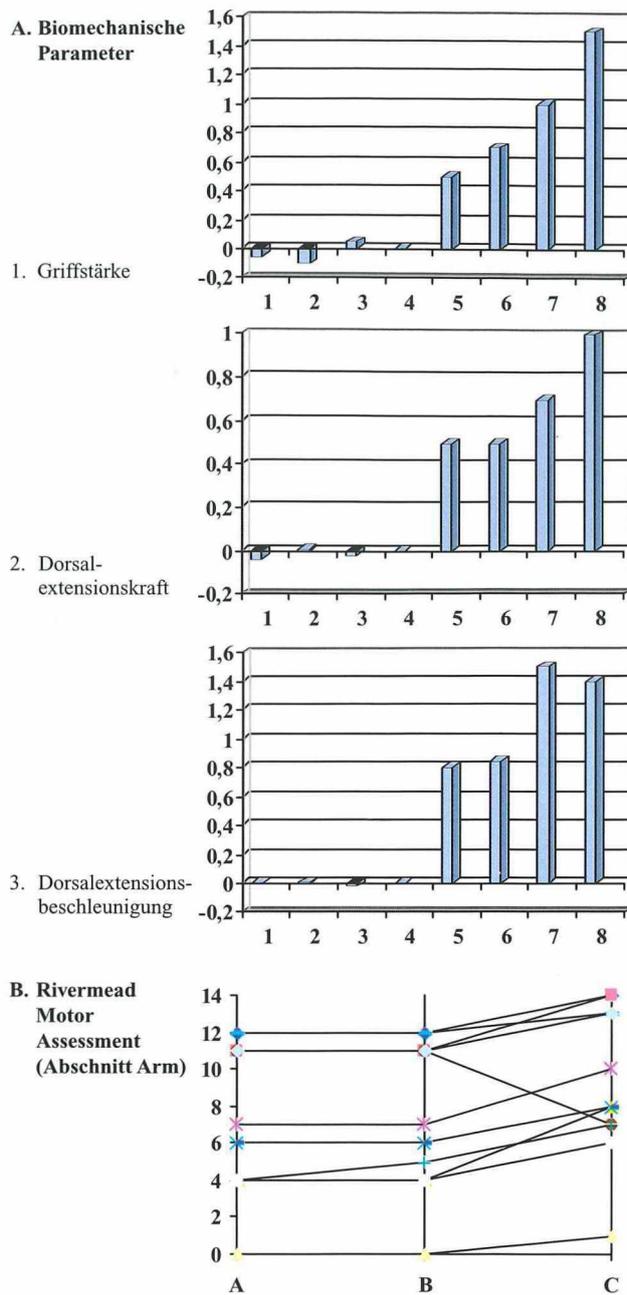
1991 stellten *Asanuma* und *Keller* [1] ihr Modell vom Ablauf des motorischen Lernens vor: Der bei wiederholter Durchführung gleicher Bewegungen generierte afferente Zustrom sensibler Informationen aus dem sich bewegenden Gliedmaßenabschnitt trifft auf aktive, die Bewegung auslösende und steuernde Neuronenpopulationen in der motorischen Hirnrinde. *Asanuma* und *Keller* vermuten, daß es durch die stattfindende Impulzirkulation zur Induktion von LTP-Phänomenen an Neuronen des motorischen Kortex kommt, wodurch die Impulsübertragung facilitiert und die Bewegungsausführung erleichtert und allmählich optimiert wird.

Die Entwicklung und Erprobung des repetitiven Trainings



**Abb. 1:** Prinzip des repetitiven Handtrainings. Der Patient wird gebeten, rasche Dorsalextensionen bzw. Palmarflexionen im Handgelenk durchzuführen. Die Bewegungen sollen im gesamten aktiv zur Verfügung stehenden Bewegungsspielraum durchgeführt werden

geschah dementsprechend hypothesengeleitet in mehreren prospektiven Studien bei Patienten mit ischämischen Hirninfarkten im Versorgungsgebiet der A. cerebri media [4, 13, 14], wobei über das Modell von *Asanuma* und *Keller* hinausgehend auch weitere plastizitätsbedingende Mechanismen angenommen wurden. Zu betonen bleibt, daß lediglich der Einfluß repetitiver Bewegungsausführung untersucht werden sollte. Es war und ist nicht beabsichtigt, eine neue physiotherapeutische Methode zu etablieren. Vielmehr sollen Kernelemente des motorischen Lernens und der Wiederherstellung motorischer Funktionen ermit-

**Abb. 2:**

Einfluß des repetitiven Trainings auf biomechanische Parameter der Hand und auf den Score im Rivermead Motor Assessment

Detaillierte Angaben zu den Berechnungsmodalitäten und Streuungsparametern finden sich in der Originalpublikation [4].

**A.** Gepoolte Daten von 12 Patienten für Griffstärke, maximale Dorsal-extensionskraft und maximale Dorsalextensionsbeschleunigung während der Baseline- und der Trainingsphasen.

**1 - 8** Dauer der Studie in Wochen (Ende der Baselinephase, Beginn der Trainingsphase bei 4)

Der letzte Baselinewert wurde willkürlich gleich 0 gesetzt und die übrigen Werte auf der Ordinate relativ zu diesem Wert ausgedrückt.

**B.** Entwicklung der Scores auf der Rivermead Motor Assessment-Skala (Abschnitt Arm) für die einzelnen Patienten (n=12) während der Baseline- und der Trainingsphasen. Dargestellt sind die Meßwerte nach einer Woche des repetitiven Trainings.

**A** Beginn der Baselinephase (variable Länge von 1 bis 3 Wochen)

**B** Ende der Baselinephase, Beginn der Trainingsphase (Länge von 2 bis 3 Wochen)

**C** 1. Meßzeitpunkt während der Trainingsphase (d. h. nach einer Woche)

telt und bereichernd in die krankengymnastische und ergotherapeutische Behandlungspraxis integriert werden.

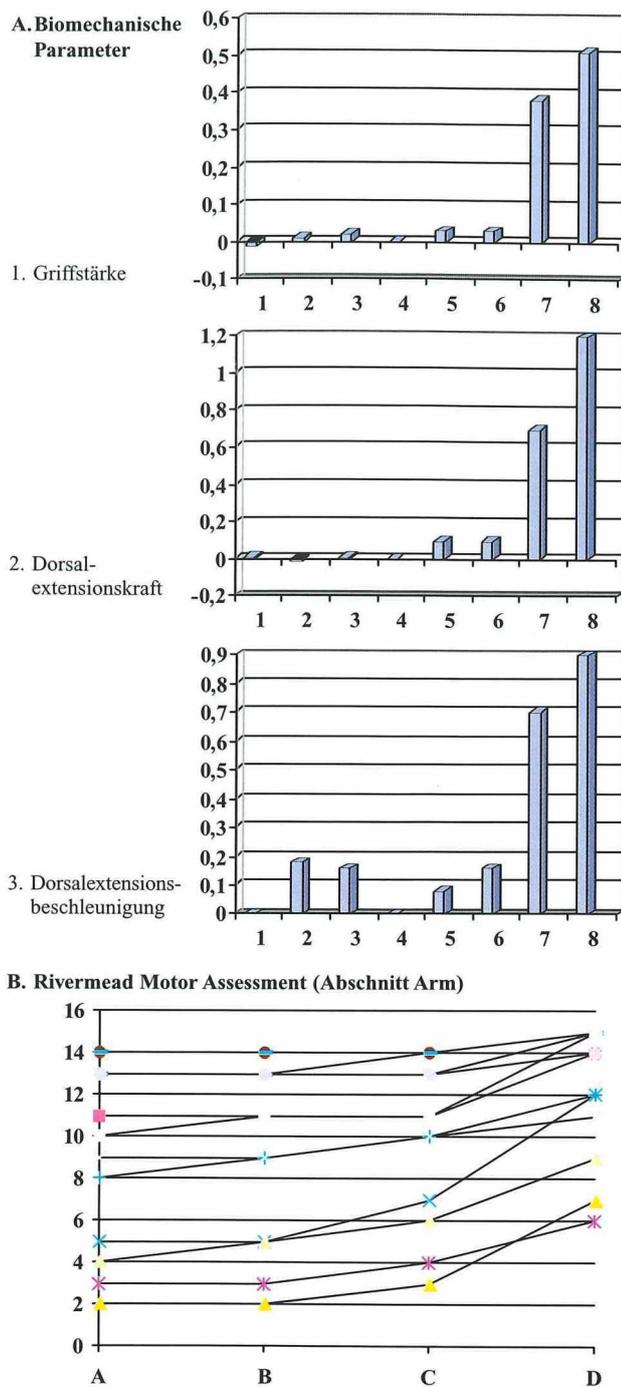
Das Prinzip des repetitiven Trainings besteht in der häufigen Wiederholung gleicher oder gleichförmiger Bewegungen. Dabei werden zunächst diejenigen Bewegungen geübt, die dem Patienten bereits willkürlich möglich sind. Im Rahmen der hier zusammengefaßten Studien wurde das repetitive Training jeweils für die funktionell wichtigen Hand- und Fingerextensoren durchgeführt (Abb. 1). Gerade bei diesen Muskelgruppen kann, insbesondere bei hochgradig betroffenen Patienten, die zur Verfügung stehende Bewegungsexkursion, z. B. im Handgelenk, anfänglich sehr klein sein. In diesem Fall wurde der Patient gebeten, die Bewegung in dem ihm möglichen Bewegungsspielraum repetitiv durchzuführen. Das repetitive Training erfolgte jeweils zweimal täglich für 15 bis 20 Minuten.

Anfänglich war es – besonders bei hochgradigen Paresen – erforderlich, dem Patienten die Eigenschwere des jeweiligen Gliedmaßenabschnittes abzunehmen und die Bewegung führend zu unterstützen. Mit zunehmender Restitution der Muskelkraft wurden die Anforderungen gesteigert, indem allmählich gegen die Eigenschwere und schließlich auch gegen zusätzliche Gewichtsbelastungen, die z. B. am Handrücken befestigt wurden, trainiert wurde.

Es wurde sorgfältig darauf geachtet, daß der Patient die Bewegungen nur so schnell durchführte, wie ihm dies ohne besondere Anstrengung möglich war, da anderenfalls eine unerwünschte Tonuserhöhung v. a. in Flexormuskeln von Hand und Fingern droht. Kam es zu einer Tonuserhöhung, wurde die repetitive Übungsbehandlung unterbrochen, bis sich der Tonus normalisiert hatte.

Die Wirkung des repetitiven Trainings auf das motorische Leistungsvermögen der Hand wurde mit Hilfe von drei biomechanischen Parametern (Griffstärke, maximale Dorsal-extensionskraft und maximale Dorsalextensionsbeschleunigung im Handgelenk), der funktionellen Rivermead Motor Assessment Skala (Abschnitt: Arm) sowie der modifizierten Ashworth-Skala (zur Spastizitätserfassung) gemessen. Es wurde ein »multiple baseline across individuals«-Studiendesign [17] verwendet, bei dem jeder Patient als seine eigene Kontrollperson fungiert. Das Prinzip dieses Studiendesigns besteht darin, daß jeder Patient während einer variabel langen (d. h. zwischen 1 und 3 Wochen dauernden) Baselinephase klinikübliche Rehabilitationsbehandlung, insbesondere auch Krankengymnastik und Ergotherapie, erhält. Nach Abschluß der Baselinephase, deren Dauer jedem Patienten nach dem Zufallsprinzip zugewiesen wird, beginnt das oben beschriebene repetitive Training. Die genannten Meßparameter werden jeweils einmal wöchentlich bestimmt. Ändern sich die Meßparameter in zeitlichem Zusammenhang mit der Intervention, d. h. dem repetitiven Training, so muß die Veränderung auf die Intervention zurückgeführt werden.

Abb. 2 zeigt die gepoolten Daten von 12 Patienten. Während der Baselinephase ergibt sich kein Einfluß auf die gemessenen biomechanischen oder funktionellen Parameter, während sich mit dem Beginn des repetitiven



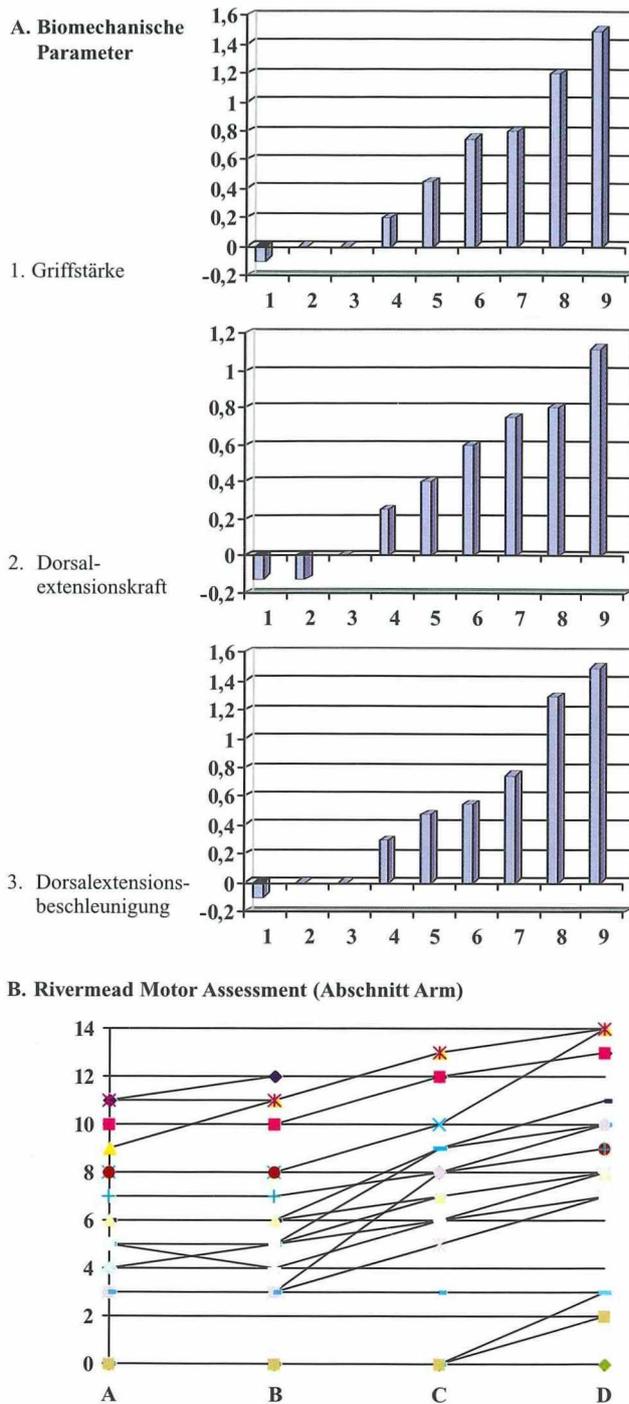
**Abb. 3:** Einfluß des repetitiven Trainings auf biomechanische Parameter der Hand und auf den Score im Rivermead Motor Assessment  
 Detaillierte Angaben zu den Berechnungsmodalitäten und Streuungsparametern finden sich in der Originalpublikation [4].  
**A.** Gepoolte Daten von 15 Patienten für Griffstärke, maximale Dorsal-extensionskraft und maximale Dorsalextensionsbeschleunigung während der Baseline-, der TENS- und der Trainingsphasen.  
 1 - 8 Dauer der Studie in Wochen (Ende der Baselinephase, Beginn der TENS-Phase bei 4, Beginn der Trainingsphase bei 7). Der letzte Baselinewert wurde willkürlich gleich 0 gesetzt und die übrigen Werte auf der Ordinate relativ zu diesem Wert ausgedrückt.  
**B.** Entwicklung der Scores auf der Rivermead Motor Assessment-Skala (Abschnitt Arm) für die einzelnen Patienten (n=15) während der Baseline-, der TENS- und der Trainingsphasen. Dargestellt sind die Meßwerte nach einer Woche des repetitiven Trainings.

**A** Beginn der Baselinephase (variable Länge von 1 bis 3 Wochen)  
**B** Ende der Baselinephase, Beginn der TENS-Phase (Länge von 2 Wochen)  
**C** Ende der TENS-Phase, Beginn der Trainingsphase  
**D** 1. Meßzeitpunkt während der Trainingsphase (d. h. nach einer Woche)

Trainings eine deutliche Verbesserung aller Parameter und eine Verminderung der Spastizität einstellt, die bereits nach einer Trainingswoche statistisch signifikant sind [4]. Um auszuschließen, daß die dargestellten Effekte auf biomechanische und funktionelle Parameter von Arm und Hand durch den unspezifischen Einfluß einer (um zweimal 15 bis 20 Minuten täglich) höheren Therapiezeit zurückzuführen sind, wurde eine als tatsächlich unspezifisch angenommene Intervention im Anschluß an die Baselinephase über zwei Wochen durchgeführt. Während dieser Phase wurde bei insgesamt 15 Patienten transkutane elektrische Nervenstimulation im Bereich des Unterarmes appliziert (Einzelheiten bei [4]). Auf die TENS-Phase folgte die Trainingsphase, während derer das repetitive Handtraining durchgeführt wurde.  
 Abb. 3 zeigt, daß sich in der TENS-Phase ebenso wie in der Baselinephase ein Zugewinn bei den biomechanischen und den funktionellen Parametern nicht ergibt. Erst mit dem Beginn der Trainingsphase kommt es zu einer Abnahme der Spastizität und zu einem deutlichen Leistungszuwachs aller Parameter, der bereits nach einer Trainingswoche statistisch signifikant ist. Die beschriebenen Veränderungen sind demnach der Intervention, d. h. dem repetitiven Training, und nicht unspezifischen Effekten der um zweimal 15 bis 20 Minuten größeren Therapiezeit zuzuschreiben [4].

**Die EMG-initialisierte elektrische Muskelstimulation**

In den letzten Jahren wird die Bedeutung der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation bei Patienten mit zentralen Paresen häufig diskutiert. Sie stellt eine Modifikation des elektromyographischen Biofeedbacktrainings dar. Sobald in einem bestimmten Muskel die EMG-Aktivität, die der Patient willkürlich produzieren soll, eine einstellbare Schwelle überschreitet, erfolgt eine elektrische Stimulation dieses Muskels. Demnach ist die EMG-initialisierte elektrische Muskelstimulation zu einem großen Teil durch die (initiale) aktive Willkürbewegung charakterisiert und damit dem repetitiven Training sehr verwandt. *Fields* [6] berichtet anhand von 69 Patienten mit einem länger zurückliegenden Hirninfarkt über eine Verbesserung des passiven Bewegungsausmaßes im Handgelenk und eine Zunahme der EMG-Gesamtaktivität. Seine Patienten erhielten über sechs Monate eine Kombination aus krankengymnastischer Übungsbehandlung und EMG-initialisierter muskulärer Stimulation. In einer Studie von *Kraft et al.* [19] erwies sich die EMG-initialisierte elektrische Muskelstimulation der Handextensoren hinsichtlich der Verbesserung von Arm- und Handfunktion als überlegen gegenüber einem PNF-Behandlungsprogramm und einem Programm, das eine kutane elektrische Stimulation applizier-



**Abb. 4:** Einfluß der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation auf biomechanische Parameter der Hand und auf den Score im Rivermead Motor Assessment im Vergleich zum repetitiven Training. Detaillierte Angaben zu den Berechnungsmodalitäten und Streuungsparametern finden sich in der Originalpublikation [13].

A. Gepoolte Daten von 20 Patienten für Griffstärke, maximale Dorsal-extensionskraft und maximale Dorsal-extensionsbeschleunigung während der Baselinephase, der Phase der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation und der Phase des repetitiven Trainings. 1 - 8 Dauer der Studie in Wochen (Ende der Baselinephase, Beginn der Phase der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation bei 3, Beginn der Trainingsphase bei 7). Der letzte Baselinewert wurde willkürlich gleich 0 gesetzt und die übrigen Werte auf der Ordinate relativ zu diesem Wert ausgedrückt.

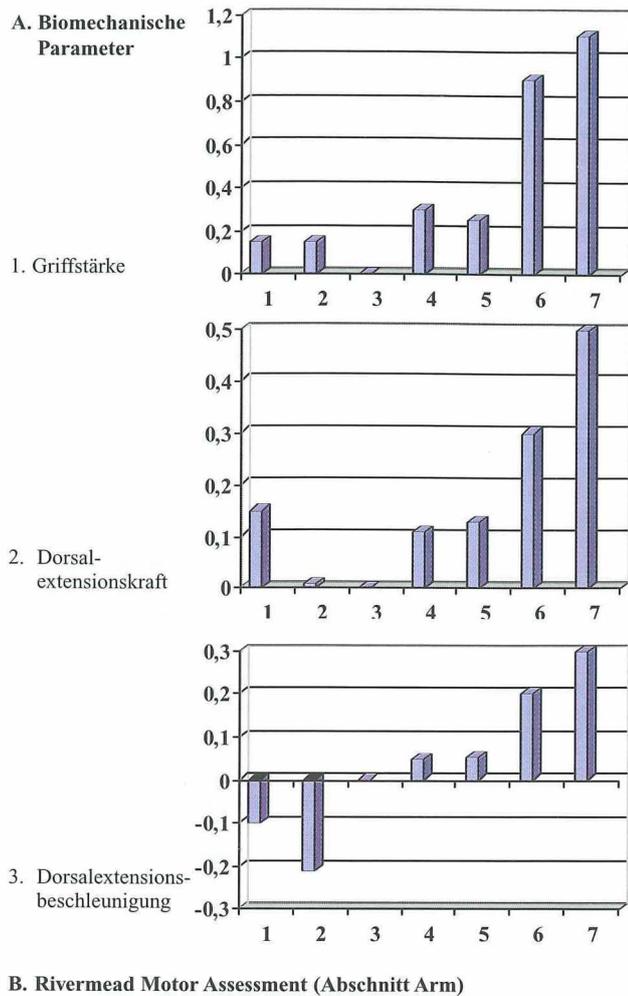
B. Entwicklung der Scores auf der Rivermead Motor Assessment-Skala (Abschnitt Arm) für die einzelnen Patienten (n=20) während der Baselinephase, der Phase der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation und der Phase des repetitiven Trainings.  
**A** Beginn der Baselinephase (variable Länge von 1 bis 3 Wochen)  
**B** Ende der Baselinephase, Beginn der Phase der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation (Länge von 2 Wochen)  
**C** Beginn der Trainingsphase  
**D** Ende der Trainingsphase (Länge von 2 Wochen)

te, während derer der Patient willkürliche Dorsalexensionen der Hand durchführte.

Den Einfluß der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation auf biomechanische und funktionelle Parameter von Arm und Hand untersuchten Hummelsheim et al. [13] bei 20 Patienten mit einem Hirninfarkt im Versorgungsgebiet der A. cerebri media. Dabei wurde wiederum das oben beschriebene »multiple baseline«-Studiendesign eingesetzt. Der Baseline-Phase folgte die Phase der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation, an die sich die Phase des repetitiven Trainings anschloß. Die EMG-initialisierte elektrische Muskelstimulation wurde zweimal täglich über 15 Minuten für die Dorsalexension im Handgelenk und zweimal 5 Minuten täglich für die Palmarflexion im Handgelenk durchgeführt (Einzelheiten bei [13]). Als Ergebnis findet sich eine deutliche Verbesserung der motorischen Funktionen von Arm und Hand bei Einsatz der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation (Abb. 4). Die Verbesserung entspricht dabei in ihrem Ausmaß derjenigen, die durch das repetitive Training erzielt wird. Gegenüber herkömmlichem EMG-Biofeedback dürfte die EMG-initialisierte Muskelstimulation insofern überlegen sein, als Feedbacksignale, die aufgrund und während einer willkürlich ausgeführten Bewegung entstehen, adäquatere ascendierende Bahnen und Relaisstationen benutzen als z. B. akustische oder visuelle Feedbacksignale. Das dürfte daran liegen, daß neben der elektrischen Rezeptorenreizung auch eine natürliche aus der Bewegung resultierende Stimulation von kutanen und propriozeptiven Afferenzen stattfindet. Dadurch wird – vermutlich auf motorkortikaler Ebene – die sensomotorische Kopplung begünstigt und gefördert, weil das afferente Eingangssignal zeitgekoppelt mit der Bewegungsausführung generiert wird.

Dennoch erweist sich die EMG-initialisierte elektrische Muskelstimulation nicht als überlegen gegenüber dem spezifischen repetitiven Handtraining (Abb. 4). Beide Therapieansätze haben das repetitive Element und die physiologische Rekrutierung natürlicher Afferenzen aus dem sich bewegenden Muskel und der sich bewegenden Gliedmaße gemeinsam. Beide Faktoren – Repetition und sensomotorische Kopplung – dürften für das motorische Lernen ebenso wie für das Wiedererlernen motorischer Fertigkeiten von essentieller Bedeutung sein.

Ein gewichtiger Nachteil der EMG-initialisierten elektrischen Muskelstimulation wird von Hummelsheim et al. [13] angegeben: Lediglich 2 von 20 untersuchten Hirninfarktpatienten zeigten sich in der Lage, die Stimulations-



**B. Rivermead Motor Assessment (Abschnitt Arm)**

**Abb. 5:** Einfluß der reinen elektrischen Muskelstimulation auf biomechanische Parameter der Hand und auf den Score im Rivermead Motor Assessment im Vergleich zum repetitiven Training. Detaillierte Angaben zu den Berechnungsmodalitäten und Streuungsparametern finden sich in der Originalpublikation [14].

**A.** Gepoolte Daten von 12 Patienten für Griffstärke, maximale Dorsal-extensionskraft und maximale Dorsalextensionsbeschleunigung während der Baselinephase, der Phase der elektrischen Muskelstimulation und der Phase des repetitiven Trainings. 1 - 7 Dauer der Studie in Wochen (Ende der Baselinephase, Beginn der Phase der elektrischen Muskelstimulation bei 3, Beginn der Trainingsphase bei 5). Der letzte Baselinewert wurde willkürlich gleich 0 gesetzt und die übrigen Werte auf der Ordinate relativ zu diesem Wert ausgedrückt.

**B.** Entwicklung der Scores auf der Rivermead Motor Assessment-Skala (Abschnitt Arm) für die einzelnen Patienten (n=12) während der Baselinephase, der Phase der elektrischen Muskelstimulation und der Phase des repetitiven Trainings.

- A** Beginn der Baselinephase (variable Länge von 1 bis 3 Wochen)
- B** Ende der Baselinephase, Beginn der Phase elektrischer Muskelstimulation (Länge von 2 Wochen)
- C** Beginn der Trainingsphase
- D** Ende der Trainingsphase (Länge von 2 Wochen)

apparat ohne Hilfe zu benutzen. Darüber hinaus ist das spezifische repetitive Handtraining in gleichem Maße wirkungsvoll, weshalb es – nicht zuletzt wegen des geringeren Aufwandes – in der Regel vorgezogen werden sollte. Prinzipiell gilt, daß die stereotype Wiederholung gleicher Bewegungen in allen physiotherapeutischen Bemühungen bei Patienten mit zentralen Hemiparesen eine zentrale Rolle spielen muß.

### Die Bedeutung der sensomotorischen Kopplung

Um die Hypothese zu prüfen, daß die sensomotorische Kopplung ein gewichtiger Faktor für die motorische Erholung und das motorische Lernen bei Patienten mit zentralen Paresen darstellt, untersuchten Hummelsheim et al. [14] bei 12 Patienten mit einem ischämischen Hirninfarkt im Versorgungsgebiet der A. cerebri media den Einfluß einer reinen, d. h. nicht an eine Willkürbewegung gekoppelten, elektrischen Muskelstimulation. Dabei stellte sich heraus, daß simple sensibel und motorisch überschwellige Stimulation, die zu afferenten kutanen und propriozeptiven Impulsen führt, motorische Leistungsparameter von Arm und Hand nicht verbessert (Abb. 5). Der einzige meßbare Einfluß der zweimal täglich über 20 Minuten (15 Minuten für die Handextensoren, 5 Minuten für die Handflexoren) applizierten elektrischen Muskelstimulation war eine milde Reduktion der Spastizität in Hand- und Fingerbeugern (Einzelheiten bei [14]). Um ein gutes Ergebnis der motorischen Rehabilitation von Arm und Hand zu erreichen, ist es demnach erforderlich, daß die sensible Afferenz aus einem sich bewegenden Gliedmaßenabschnitt auf aktive, d. h. an der Bewegungsausführung mitwirkende Neuronenpopulationen der Hirnrinde trifft (Afferenz-Efferenz-Kopplung, sensomotorische Kopplung).

Leider existieren bislang keine Studien, die sich mit dem Einfluß eines ausschließlich sensiblen oder Wahrnehmungstrainings auf motorische Funktionen beschäftigen. Die Untersuchungen von Carey et al. [5] und Yekutiel und Guttmann [22] untersuchten den Einfluß eines sensiblen Trainings nur auf das taktile und diskriminative Leistungsvermögen bei Schlaganfallpatienten, ohne auf die Verbesserung motorischer Funktionen zu achten.

Mit den Untersuchungen von Bütefisch et al. [4] sowie Hummelsheim et al. [13, 14] ließ sich das aus der Grundlagenforschung hergeleitete Modell von Asanuma und Keller [1] in prospektiven klinischen Studien bestätigen. Die repetitive Durchführung gleicher Bewegungen von Hand und Fingern führt zu einer raschen und hochsignifi-

kanten Verbesserung des motorischen Leistungsvermögens der Hand. Die Wirksamkeit des »repetitiven Trainings« konnte in der Zwischenzeit auch für proximale Muskelgruppen [15] des Armes und für das Gehen [8] nachgewiesen werden.

In der praktischen Physiotherapie wird das repetitive Training auch auf andere Muskelgruppen und Gelenke ausgedehnt und führt über die Kopplung von Einzelbewegungen schließlich zur Durchführung von Komplexbewegungen und zum Training von Bewegungen in verschiedenen Körperpositionen, die begleitende Gleichgewichtsreaktionen erfordern. Die Auswahl der bevorzugt zu trainierenden Muskeln und Muskelgruppen darf keinesfalls stereotyp erfolgen, sondern muß sich nach der individuellen Pareseverteilung und funktionellen Erfordernissen richten. Wichtig bleibt, daß alle erarbeiteten Bewegungen wiederholend geübt und dadurch in ihrer Durchführung konsolidiert und optimiert werden.

### Berücksichtigung der Alltagsmotorik

Sobald wie möglich sollten Materialien des Alltags (z. B. Flasche, Glas, Besteck etc.) in das Übungsrepertoire von Krankengymnastik und Ergotherapie einbezogen werden. Die dem Patienten aus dem Alltag vertraute Motorik soll früh erarbeitet werden und zu einem möglichst der natürlichen Bewegung nahekommenden Bewegungsablauf führen. Läßt der Grad der Parese den willkürlichen Einsatz des Armes noch nicht zu, wird die Bewegung zunächst vom Therapeuten geführt. Darüber hinaus wird der Patient angeleitet, die betroffene Hand mit seiner gesunden Hand zu führen. Unter allmählich zunehmender Verwendung auch kleinerer Objekte wird die Aktivität auch in intrinsischen Handmuskeln fazilitiert (z. B. Daumen- und Kleinfingeropposition).

### Literatur

1. Asanuma H, Keller A: Neurobiological basis of motor learning and memory. *Concepts Neurosci* 1991; 2: 1-30
2. Bobath B: Die Hemiplegie Erwachsener. 4. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1985
3. Bobath B: Abnorme Haltungsreflexe bei Gehirnschäden. 4. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 1986
4. Bütefisch C, Hummelsheim H, Denzler P, Mauritz KH: Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *J Neurol Sci* 1995; 130: 59-68
5. Carey LM, Matyas TA, Oke LE: Sensory loss in stroke patients: Effects of training of tactile and proprioceptive discrimination. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; 74: 602-611
6. Fields RW: Electromyographically triggered electric muscle stimulation for chronic hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 1987; 68: 407-414
7. Häussler B: Epidemiologie des Schlaganfalles. In: Mäurer HC, Diener HC (Hrsg): Der Schlaganfall - Praxisbezogene, aktive Konzepte für Prävention, Diagnostik, Akutbehandlung und Rehabilitation. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1996, pp 1-25
8. Hesse S, Bertelt C, Jahnke M, Schaffrin A, Baake P, Malezic M, Mauritz KH: Treadmill training with partial body weight support compared with physiotherapy in nonambulatory hemiparetic patients. *Stroke* 1995; 26: 976-981
9. Hummelsheim H, Mauritz KH: Neurophysiologische Grundlagen krankengymnastischer Übungsbehandlung bei Patienten mit zentralen Hemiparesen. *Fortschr Neurol Psychiatr* 1993; 61: 208-216
10. Hummelsheim H, Hoppe S: Are muscular responses to magnetic brain stimulation in hemiparetic stroke patients influenced by variation in body, head and arm positions? *Eur J Phys Med Rehabil* 1994; 4: 201-204
11. Hummelsheim H: Mechanismen der zentralnervösen Plastizität. In: Mäurer HC, Diener HC (Hrsg): Der Schlaganfall - Praxisbezogene, aktive Konzepte für Prävention, Diagnostik, Akutbehandlung und Rehabilitation. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1996b, pp 134-138
12. Hummelsheim H: Die Rehabilitation zentraler Lähmungen - eine Standortbestimmung. *Akt Neurol* 1996b; 23: 7-14
13. Hummelsheim H, Amberger S, Mauritz KH: The influence of EMG-initiated electrical muscle stimulation on motor recovery of the centrally paretic hand. *Eur J Neurol* 1996; 3: 245-254
14. Hummelsheim H, Maier-Loth ML, Eickhof C: The functional value of electrical muscle stimulation for the rehabilitation of the hand in stroke patients. *Scand J Rehabil Med* 1997; 29: 3-10
15. Hummelsheim H, Eickhof C: Der Schulterschmerz des Hemiparetikers - Entstehungsmechanismen, Prävention und Therapie. *Akt Neurol* 1997; 24: 143-149
16. Kabat H, Knott M: Proprioceptive facilitation techniques for treatment of paralysis. *Phys Ther Rev* 1953; 33: 53-64
17. Kazdin AE: Single-case research designs. *Methods for clinical and applied settings*. Oxford University Press, New York 1982
18. Knott M, Voss DE: Proprioceptive neuromuscular facilitation. Harper & Row, New York 1968
19. Kraft GH, Fitts SS, Hammond MC: Techniques to improve function of the arm and hand in chronic hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 1992; 73: 220-227
20. Mauritz KH: Plastizität als Grundlage der Funktionswiederherstellung. In: Mauritz KH (Hrsg.): Rehabilitation nach Schlaganfall. W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart 1994, pp 56-63
21. Odaka B: Controversies in neurorehabilitation. In: Mauritz KH, Hömberg V (Hrsg): Neurologische Rehabilitation 2, Hans Huber Verlag, Bern 1992, pp 232-237
22. Yekutieli M, Guttman E: A controlled trial of the retraining of the sensory function of the hand in stroke patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1993; 56: 241-244

### Korrespondenzadresse:

Priv.-Doz. Dr. Horst Hummelsheim  
Neurologische Fachklinik Hilchenbach  
Ferdorfstraße 14  
D-57271 Hilchenbach