

# Isometrisches Muskelkrafttraining in der Rehabilitation des zentral paretischen Armes

M. Lippert-Grüner<sup>1</sup>, S. Grüner<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Klinik für Allgemeine Neurochirurgie der Universität zu Köln

<sup>2</sup>Orthopädische Facharztpraxis, Köln

## Zusammenfassung

Störungen der Handmotorik gehören zu den häufigsten Folgen einer erworbenen Hirnschädigung. Die therapeutischen Interventionen in der Rehabilitation des zentral paretischen Armes zielen in erster Linie auf die Verbesserung der Beweglichkeit, der Muskelkraft, der Koordination und der Feinmotorik. In der klinischen Routine ist die quantitative Erfassung von Muskelkraft an den oberen Extremitäten zur Verlaufsdagnostik und weiteren Therapieplanung von Bedeutung, damit differenzierte Aussagen über das individuelle Störungsbild gewonnen werden können.

In einer Untersuchung wurde der Einsatz des isometrischen Muskelkrafttrainings als Ergänzung zu der kliniküblichen Rehabilitationsbehandlung (an den oberen Extremitäten) für die Handbeugung und -streckung in der frühen Rehabilitationsphase bei Patienten mit Hemiparese nach erworbener Hirnschädigung geprüft und einer Kontrollgruppe gegenübergestellt. Sowohl für die Handbeugung als auch für die Handstreckung ließ sich bei der Therapiegruppe eine signifikante Erhöhung der Maximalkraftwerte nachweisen, während dies bei der Kontrollgruppe nicht der Fall war.

Diese Ergebnisse zeigen, daß trotz der zum Teil sehr unterschiedlichen Trainingsverläufe bei Patienten mit zentral bedingten Armparesen bereits in der frühen Rehabilitationsphase ein zusätzliches isometrisches Muskelkrafttraining effizient durchgeführt werden kann und somit zu einer sinnvollen Erweiterung des therapeutischen Spektrums beiträgt.

**Schlüsselwörter:** isometrisches Muskeltraining, zentrale Armparese, Rehabilitation

## Isometrical muscle training in the rehabilitation of the centrally paretic arm

M. Lippert-Grüner, S. Grüner

### Abstract

Disorders of hand movement are often complications in patients with hemiparesis. Therapeutical interventions in the rehabilitation of centrally paretic arms aim in improving of function, muscle power, coordination, sensibility and precision motor activity. In clinical routine, quantitative measurement of the motoric and coordinative deficits are important for therapy planning and efficiency control to achieve subtly differentiated information on individual malfunction profile.

In this study, using of isometric muscle power training as a supplement to normal rehabilitation treatment of upper extremities for hand flexion and extension in early rehabilitation phase was checked in patients with hemiparesis after acquired brain damage, comparing to a control group without this special treatment. In contrast to the control group there were significant improvements of maximum power of hand flexion and extension in the therapy group.

Results show that - despite the in part very different training courses - additional isometric muscle power training in patients with centrally caused arm paresis can be made efficiently, adding a useful part to therapeutical spectrum.

**Key words:** isometrical muscle training, centrally paretic hand, rehabilitation

Neurol Rehabil 1999; 5 (5): 275-279

## Einleitung

Obwohl eine gezielte, apparativ gestützte Trainingstherapie in der Frührehabilitation nach erworbener Hirnschädigung bisher nur in wenigen Einrichtungen durchgeführt wird, gehört die Steigerung der Muskelkraft der paretischen Extremitäten bereits in dieser frühesten Phase der Rehabilitation zu den wichtigsten Therapiezielen, begleitet von der Schulung der Koordinationsfähigkeit und Feinmotorik.

Aus trainingsmethodischen Überlegungen kann generell ein Muskeltraining auf den Muskelaufbau, die Verbesserung der neuromuskulären Koppelung und die Kraftausdauersteigerung abzielen [17, 20]. Ein Muskelaufbautraining beinhaltet Elemente mit hoher Wiederholungszahl und geringer Intensität. Demgegenüber bedarf es zur Erreichung einer verbesserten neuromuskulären Koppelung und Maximalkraft einer hohen Intensität bei geringerer Wiederholungszahl. Zur Steigerung der Kraftausdauer erfolgen

Trainingsformen wie beim Muskelaufbau, allerdings mit geringerer Intensität und höherer Wiederholungszahl. Bei der Muskelfunktion können die drei Grundtypen der konzentrischen, der exzentrischen und der isometrischen Kontraktion unterschieden werden. Bei erstgenannter kann der Muskel mit Verkürzung Widerstände überwinden, bei zweitgenannter mit Längenänderung nachgebend ihnen entgegenwirken und bei letztgenannter sie mit konstanter Muskellänge halten [13, 17, 20]. Konzentrische und exzentrische Kontraktionen zählen zu den dynamischen, die isometrische Kontraktion zu den statischen Formen. Zum Training der dynamischen Formen können isotonische und isokinetische Übungen verwendet werden. Bei der isotonischen Muskelarbeit hält der Muskel während der gesamten Bewegung eine konstante Spannung, wobei die entwickelte Kraft hierbei maßgeblich vom Gelenkwinkel abhängt und im gesamten Zyklus bei jeder unterschiedlichen Position einen differenten Wert annimmt. Ein typisches Beispiel ist die Kniebeuge. Beim isokinetischen Training verbleibt die Bewegungsgeschwindigkeit konstant, daraus folgend muß für jede unterschiedliche Gelenkposition ein unterschiedlicher Widerstand gesetzt werden. Beim isometrischen Training soll der Muskel eine konstante Spannung halten, beispielsweise das Halten des gestreckten angehebenen Armes gegen die Schwerkraft [17, 20].

Aufgrund der geringen Herz-Kreislaufbelastung kann diese Trainingsform bereits in der Frührehabilitation eingesetzt werden, häufig zunächst bei noch bettlägerigen Patienten mit prophylaktischer Zielsetzung (Kreislauftraining, Verhinderung bzw. Minderung der inaktivitätsbedingten Muskelatrophie, Kontrakturprophylaxe). Mit zunehmender Mobilisierung und steigender Kooperationsfähigkeit der Patienten kann das isometrische Muskelkrafttraining auch bei Vorhandensein zentralmotorischer Ausfälle ergänzend zu den spezifischen krankengymnastischen Behandlungsformen eingesetzt werden. Gängige Therapiekonzepte der gestörten Motorik sind zunächst krankengymnastische Übungsformen auf neurophysiologischer Basis wie z. B. die Verfahren nach *Bobath*, *Brunnstrom*, *Vojta* und die PNF [3, 12, 14, 19]. Ergänzend zu der krankengymnastischen Therapie werden auch weitere Maßnahmen der physikalischen Medizin (Elektrotherapie, Kälte-/Wärmeapplikationen etc.) eingesetzt. Schließlich können noch die intentionsabhängige EMG-getriggerte Muskelstimulation und der Einsatz von Biofeedback an dieser Stelle genannt werden [4, 11, 17], die gerade in den letzten Jahren zu einer sinnvollen Erweiterung des therapeutischen Spektrums geführt haben. Eine besondere Bedeutung in der Rehabilitation von zentral bedingten motorischen Funktionsdefiziten wird zunehmend dem repetitiven Element im Rahmen der physiotherapeutischen Behandlung eingeräumt [2, 8, 9]. Ausgehend von dem Modell vom Ablauf des motorischen Lernens von *Asanuma* und *Keller* [1] konnte *Hummelsheim* [9] zeigen, daß die häufige Wiederholung gleicher Bewegung für das motorische Lernen Gesunder und ebenso für die Erholung motorischer Funktionen bei Patienten mit zentralen Lähmungen eine essentielle Bedeutung hat. In einer Studie

mit 59 Hirninfarkt-Patienten führte das repetitive Training bereits nach einer Trainingswoche zu einer statistisch signifikanten Verbesserung sowohl der motorischen Funktionsdefizite als auch zur Verminderung der Spastizität [9]. Störungen der Handmotorik gehören zu den häufigsten Folgen einer erworbenen Hirnschädigung. Für die Betroffenen führen diese Funktionsdefizite zunächst vor allem zu Einschränkungen in der Durchführung alltäglicher Tätigkeiten wie z. B. Ankleiden, Essen und Körperhygiene. Die therapeutischen Interventionen in der Rehabilitation des zentral paretischen Armes zielen in erster Linie auf die Verbesserung der Beweglichkeit, Muskelkraft, Koordination und Feinmotorik. Viele Patienten neigen ohne gezielte rehabilitative Förderung der Armfunktion dazu, die vorhandenen Defizite mit dem intakten Arm zu kompensieren. Dies verzögert einerseits die funktionelle Verbesserung, begünstigt andererseits auch das Auftreten von schmerzhaften Bewegungseinschränkungen im Schultergelenk und an der Hand [10, 15]. In der klinischen Routine ist die quantitative Erfassung der Kraftminderung an den oberen Extremitäten zur Verlaufsdiagnostik und weiteren Therapieplanung von Bedeutung, damit differenzierte Aussagen über das individuelle Störungsbild gewonnen werden können. Da gerade bei Patienten nach einer erworbenen Hirnschädigung eine isolierte Störung der Muskelkraft nur sehr selten vorliegt und eine solche Störung meist von weiteren sensomotorischen und neuropsychologischen Defiziten begleitet wird, sollten weitere wichtige Leistungsaspekte der Handfunktion wie Beweglichkeit, Sensibilität, Koordination und Wahrnehmung sorgfältig miterfaßt werden. Die Beurteilung der Handfunktion erfolgt meist anhand der klinischen Untersuchung unter Berücksichtigung der Angaben des Patienten und anhand von Nominalskalen ohne quantitative Einschätzung.

Obwohl die ersten Untersuchungen, die sich mit Messungen der Muskelkraft befassen, nach *Hettinger* [5, 6, 7] bis in die Mitte des 19. Jahrhundert zurückgehen, kommt die reproduzierbare quantitative Erfassung der Muskelkraft in der klinischen Routine bisher nur wenig zur Anwendung. Hierbei zählt die Muskelkraftmessung mittels eines Dynamometers zu den am häufigsten angewandten semiobjektiven Methoden. Unabhängig von der Exaktheit der Meßvorrichtung ist jedoch auch hier die vom Probanden ausgeübte Muskelkraft seinem Willen unterworfen und läßt sich daher nicht mit letzter Sicherheit objektivieren [5, 21]. Bei Patienten mit lokalen motorischen Defiziten ist es im Hinblick auf die Charakterisierung von beeinträchtigten Muskelfunktionen von entscheidender Bedeutung, diese auch exakt quantifizieren zu können [22].

Das Hand- und Fingerdynamometer HDF 200 ist zur Messung der isometrischen Beuge- und Streckkräfte der Hand und der einzelnen Finger sowie zur Trainings- und Verlaufsdocumentation einer Behandlung eingerichtet [18, 19]. Aufgrund der derzeit noch fehlenden Daten über die Erfahrungen mit diesem Trainings-/Therapiegerät wurde zunächst das Trainingsverhalten unterschiedlicher Muskelfunktionen an gesunden Probanden untersucht [16]. Zu-

sätzlich sollte überprüft werden, ob bei der Behandlung definierter Muskeldefizite komplexe Übungsmuster durch eine Irradiation in die schwächere Muskulatur zu günstigeren Trainingsergebnissen führen als ein isoliertes Training der betroffenen Muskelgruppen [16]. Das Ziel der hier vorgestellten Untersuchung war es, die Anwendungsmöglichkeiten des isometrischen Muskelkrafttrainings mit dem Hand- und Fingerdynamometer HDF 200 in der frühen Rehabilitationsphase bei Patienten mit zentral bedingter Armparese zu prüfen.

### Material und Methoden

In einem Zeitraum von zwei Monaten wurden 20 Patienten (m:w=3:1) mit einer zentral bedingten Armparese nach einem ischämischen oder hämorrhagischen Insult im Rahmen der frührehabilitativen Behandlung (vier bis sechs Wochen nach dem akuten Krankheitsereignis) – randomisiert zwei Gruppen mit vergleichbaren anthropometrischen Daten zugeordnet – hinsichtlich der Handflexion und Handextension des paretischen Armes untersucht. In beiden Gruppen erfolgte zur Diagnostik eine Anfangs- und eine Endmessung mit dem Hand- und Fingerdynamometer HDF 200, einer Vorrichtung zur Messung der isometrischen Beuge- und Streckkräfte der Hand und der einzelnen Finger. Die erste Gruppe erhielt zusätzlich zu der kliniküblichen frührehabilitativen Behandlung ein zehntägiges Training mit diesem Gerät. Die zweite Gruppe diente als Kontrollgruppe ohne zusätzliches Training. Während der Leistungsdiagnostik und der Trainingsbehandlung lag der Unterarm des Probanden in einer Unterarmformschale, die Hand nahm stets eine Mittelstellung zwischen Pronation und Supination ein. Die stufenlose Einstellbarkeit der Kraftaufnahmelemente sorgte für eine optimale individuelle Anpaßbarkeit und somit die Standardisierbarkeit der biomechanischen Meßbedingungen sowie eine exakte Reproduzierbarkeit. Die Untersuchungsparameter beschränkten wir auf die Messung der innerhalb eines Versuchsdurchganges erreichten Maximalkräfte ( $F_{max}$ ); diese wurden täglich durch die gleiche Untersuchungsperson vorgenommen, um die Reproduzierbarkeit der Untersuchung zu optimieren. Die Gruppe 1 absolvierte mit der paretischen Hand ein isometrisches Maximalkrafttraining. Die Trainingseinheiten wurden täglich über zehn Tage durchgeführt, mit jeweils zweitägiger Pause nach fünf Trainingseinheiten. Die Übungsfrequenz für beide Gruppen lag bei 6/min (5 s Anspannungsphase, 5 s Pause). Innerhalb der 5 s Anspannungsphase sollten die Probanden die für sie mögliche Maximalkraft aufbringen. Am Versuchstag wurde insgesamt fünf Minuten isometrisch trainiert. Zu Beginn und am Ende der Versuchsserie wurde die Maximalkraft der definierten Muskelfunktionen durch dreimalige Testung bestimmt und in einem Meßprotokoll dokumentiert. Die bei der Ergebnisanalyse verwandten Daten ergaben sich aus drei Kraftwerten (in Newton) der Ausgangs- und Endtestung, wobei jeweils der Maximalwert zur weiteren Berechnung verwandt wurde.

### Ergebnisse

Innerhalb der Gruppe 1 betragen die gemessenen Maximalkraftwerte für die Handbeugung (Messungsreihe 1) bei der Anfangsmessung im Median 128 N (17–285 N,  $Q_1 = 49$  N,  $Q_3 = 216$  N) und bei der Endtestung im Median 164 N (64–449 N,  $Q_1 = 164$  N,  $Q_3 = 210$  N). Die Verteilung unterschied sich in einem WILCOXON-Test für verbundene Stichproben signifikant auf dem 5%-Niveau.

Innerhalb der Gruppe 2 betragen die gemessenen Maximalkraftwerte für die Handbeugung (Messungsreihe 2) bei der Anfangsmessung im Median 77 N (17–480 N,  $Q_1 = 56$  N,  $Q_3 = 160$  N) und bei der Endtestung im Median 94,5 N (21–262 N,  $Q_1 = 36$  N,  $Q_3 = 199$  N). Diese Verteilung unterschied sich in einem WILCOXON-Test für verbundene Stichproben nicht signifikant.

Bei der Gruppe 1 betragen die gemessenen Maximalkraftwerte für die Handstreckung (Messungsreihe 3) bei der Anfangsmessung im Median 12 N (0–50 N,  $Q_1 = 12$  N,  $Q_3 = 27$  N) und bei der Endtestung im Median 32,5 N (17–69 N,  $Q_1 = 20$  N,  $Q_3 = 64$  N). Die Verteilung unterschied sich ebenfalls in einem WILCOXON-Test für verbundene Stichproben signifikant auf dem 5%-Niveau.

Innerhalb der Gruppe 2 betragen die gemessenen Maximalkraftwerte für die Handstreckung (Messungsreihe 4) bei der Anfangsmessung und der Endtestung jeweils im Median 17 N (0–69 N,  $Q_1 = 10$  N,  $Q_3 = 21$  N bzw. 0–50 N,  $Q_1 = 04$  N,  $Q_3 = 30$  N), der WILCOXON-Test

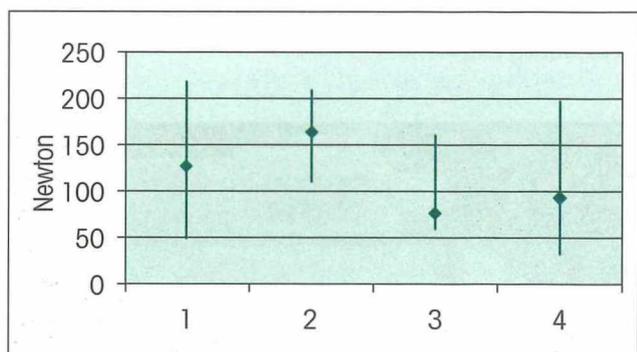


Abb. 1: Mediane und Q1–Q3-Intervalle Handbeugung (1 Anfangsmessung Trainingsgruppe, 2 Abschlußmessung Trainingsgruppe, 3 Anfangsmessung Kontrollgruppe, 4 Abschlußmessung Kontrollgruppe)

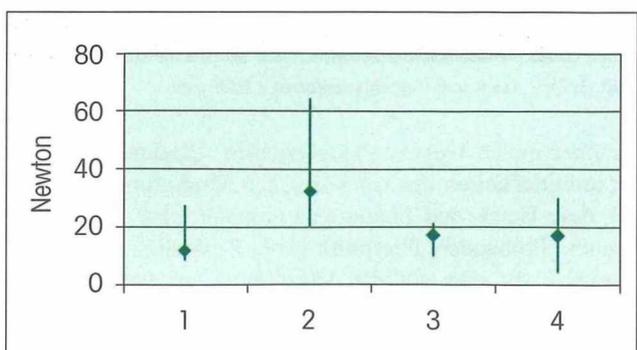


Abb. 2: Mediane und Q1–Q3-Intervalle Handstreckung (Legende siehe Abb. 1)

für verbundene Stichproben zeigte keinen signifikanten Unterschied. Die Mediane mit den Q1–Q3-Intervallen für die Handbeugung und die Handstreckung sind in Abb. 1 und 2 zusammenfassend dargestellt.

### Diskussion

Zweifelsohne stellt die Objektivierung der Kraft- und Koordinationsentwicklung in der Rehabilitation nach erworbener Hirnschädigung ein großes Problem dar, da neben den individuell unterschiedlichen Funktionsstadien auch zahlreiche unkalkulierbare Faktoren in den Rehabilitationsverlauf eingehen und somit auch die Trainingszuwachsrate beeinflussen können. Die reproduzierbare quantitative Erfassung der Muskelkraft wird in der klinischen Routine nur wenig angewandt. Hierbei zählt die semiobjektive Muskelkraftmessung mittels eines Dynamometers noch zu den am häufigsten angewandten Methoden. Unabhängig von der Exaktheit der Meßvorrichtung ist jedoch auch hier die vom Probanden ausgeübte Muskelkraft seinem Willen unterworfen und läßt sich daher nicht mit letzter Sicherheit objektivieren [5, 21].

Bei Patienten mit zentral bedingten motorischen Defiziten ist es im Hinblick auf die Therapieplanung und -durchführung von entscheidender Bedeutung, die Beeinträchtigung der Muskelfunktion auch möglichst genau quantifizieren zu können [5]. Das Hand- und Fingerdynamometer HDF 200 (Abb. 3) ist zur Messung der isometrischen Beuge- und Streckkräfte der Hand und der einzelnen Finger sowie zur Trainings- und Verlaufsdocumentation einer Behandlung eingerichtet [21, 22].

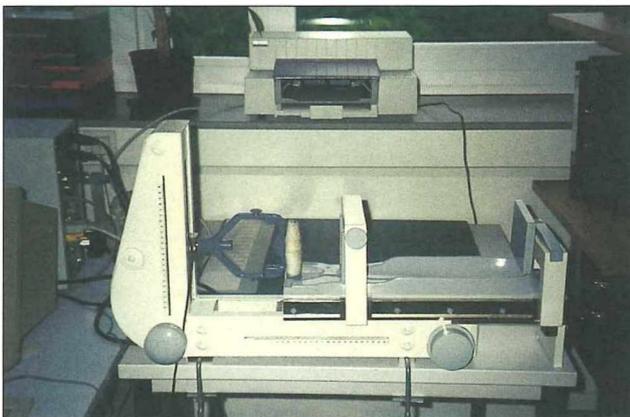


Abb. 3: Das Hand- und Fingerdynamometer HDF 200

In einer ersten Untersuchung wurden zunächst die Einsatzmöglichkeiten des isometrischen Muskelkrafttrainings mit dem Hand- und Fingerdynamometer HDF 200 an gesunden Probanden überprüft [16]. Zusätzlich wurde im Hinblick auf eine spätere Anwendung bei Patienten mit lokal begrenzten motorischen Defiziten geprüft, ob komplexes oder isoliertes isometrisches Muskeltraining definierter Muskelfunktionen zu einem besseren Trainingsergebnis führt. Die Ergebnisse zeigten, daß mit dem Hand-

und Fingerdynamometer ein effizientes isometrisches Muskelkrafttraining durchführbar ist und daß entgegen der vielfach in der Literatur verbreiteten Meinung über die Überlegenheit von komplexem Muskeltraining bei dem untersuchten Probandenkollektiv das isolierte Muskeltraining für definierte Muskelfunktionen bessere Ergebnisse zeigte [16]. Diese Ergebnisse stimmen mit den Ausführungen von Hummelsheim [9] überein, der darlegen konnte, daß funktionelle Leistungszuwächse an 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 befassen, ist nur wenig Nutzen für den distalen Arm oder die Hand zu erwarten [9].

In einer zweiten Untersuchungsserie wurde der Einsatz des isometrischen Muskelkrafttrainings als Ergänzung zu der kliniküblichen Rehabilitationsbehandlung an den oberen Extremitäten für die Handbeugung- und Streckung in der frühen Rehabilitationsphase bei Patienten mit Hemiparese nach erworbener Hirnschädigung geprüft und einer Kontrollgruppe gegenübergestellt. Aufgrund der Schwankungsbreite der Meßwerte wurden bei der statistischen Auswertung die Mediane und der WILCOXON-Test für verbundene Stichproben verwendet. Sowohl für die Handbeugung als auch für die Handstreckung ließ sich bei der Therapiegruppe eine signifikante Erhöhung der Maximalkraftwerte nachweisen, während dies bei der Kontrollgruppe nicht der Fall war.

Diese Ergebnisse zeigen, daß trotz der zum Teil sehr unterschiedlichen Trainingsverläufe (Abb. 4) bei Patienten mit

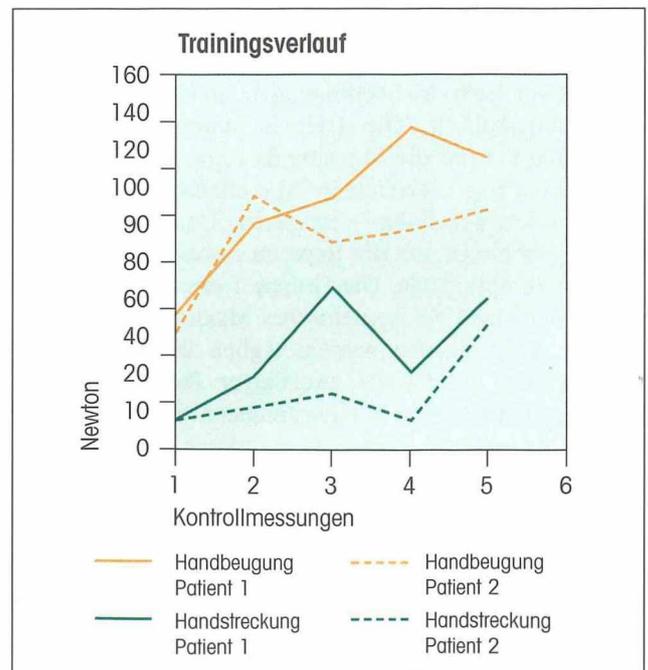


Abb. 4: Übungsverlauf am Beispiel zweier Patienten der Trainingsgruppe (1 Anfangsmessung, 2 Messung nach drei Tagen, 3 Messung nach fünf Tagen, 4 Messung nach sieben Tagen, 5 Abschlußmessung)

zentral bedingten Armparesen bereits in der frühen Rehabilitationsphase ein zusätzliches isometrisches Muskelkrafttraining effizient durchgeführt werden kann, welches zu einer sinnvollen Erweiterung des therapeutischen Spektrums beiträgt. Voraussetzung für die Aufnahme in die Trainingsbehandlung ist, daß Beuge- und Streckbewegungen der Hand bereits willkürlich möglich sind und daß die Patienten auch kognitiv in der Lage sind, ein solches Training zu absolvieren. Ein Feedback über die erreichten Maximalwerte wirkt sich zudem motivationssteigernd für die Patienten aus und kann so das Trainingsergebnis zusätzlich positiv beeinflussen. Neben der Berücksichtigung der kognitiven/neuropsychologischen Fähigkeiten der Patienten erschien für die Durchführung des Trainingsprogramms das Ausmaß der motorischen Funktionsstörung von Bedeutung, da nach den bisherigen Erfahrungen insbesondere Patienten mit leichten und mittelgradigen Funktionsdefiziten von dem Trainingsangebot am meisten zu profitieren scheinen. Bei Patienten mit höhergradiger spastischer Tonuserhöhung erwies sich das Training als nur schwer durchführbar. Falls eine Tonuserhöhung während der Trainingsbehandlung auftrat, wurde diese bis zur Tonusnormalisierung unterbrochen. Bei einer leichten bis mittleren Tonuserhöhung wurde hingegen nach Abschluß der Trainingsbehandlung teilweise eine Tonussenkung beobachtet. Inwiefern im Rahmen des vorgestellten Trainingsprogramms auch das repetitive Element von Bedeutung ist und dieses neben der Steigerung der Muskelkraft auch zur Senkung des spastischen Muskeltonus beiträgt, müssen weitere Untersuchungen an größeren Patientengruppen zeigen. Gleiches gilt für die Frage, inwiefern das hier vorgestellte apparativ gestützte isometrische Muskelkrafttraining zusätzlich zu einer Effizienzsteigerung der gängigen physiotherapeutischen Maßnahmen, ggf. in der Kombination mit einem repetitiven Training [9], bei der Behandlung zentral bedingter motorischer Defizite führen könnte.

## Literatur

1. Asanuma H, Keller A: Neurobiological basis of motor learning and memory. *Concepts Neurosci* 1991; 2: 1-30
2. Buetefisch C et al: Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *J Neurol Sci* 1995; 130 (1): 59-68
3. Damiano DL, Abel MF: Functional outcomes of strength training in spastic cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil* 1998; 79 (2): 119-25
4. Danz J, Gutierrez-Lopez S: Behandlung der Hemiplegie mit intentionabhängiger EMG-getriggelter Muskelstimulation. *Phys Rehab Kur Med* 1994; 4: 5-9
5. Hettinger Th: Isometrisches Muskeltraining. Georg Thieme, Stuttgart 1983
6. Hettinger Th: Die Rehabilitation der Muskulatur aus der Sicht des Internisten. *Med Welt* 1970; 21/39: 1693-1698
7. Hettinger Th, Müller EA: Muskelleistung und Muskeltraining. *Arbeitsphysiologie* 1953; 15: 111-126
8. Hummelsheim H: Mechanismen der gestörten Motorik. In: Mauritz, KH: Rehabilitation nach Schlaganfall. W. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln 1994, 64-86
9. Hummelsheim H: Die Rehabilitation der zentral paretischen Hand: Bewegungswiederholung und sensomotorische Koppelung. *Neurol Rehabil* 1998; 4 (2): 64-70
10. Hummelsheim H, Eickhof C: Der Schulterschmerz des Hemiparetikers – Entstehungsmechanismen, Prävention und Therapie. *Akt Neurol* 1997; 24: 143-149
11. Intiso D et al: Rehabilitation of walking with electromyographic biofeedback in foot-drop after stroke. *Stroke* 1994; 25 (6): 1189-1192
12. Knott M, Voss DE: Komplexbewegungen. Gustav Fischer, Stuttgart, New York 1981
13. Kosel H: Apparatives Muskeltraining im Rahmen der Trainingstherapie bei Sport- und Unfallverletzungen. *Krankengymnastik* 1992; 44 (6): 738-743
14. Kauranen KJ et al: A 10-week strength training program: effect of motor performance of an unimpaired upper extremity. *Arch Phys Med Rehabil* 1998; 79 (8): 925-930
15. Lippert-Grüner M, Grüner S: Das Schulter-Hand-Syndrom – eine häufige neurologisch-orthopädische Komplikation bei Patienten mit Hemiparese. *Orth Praxis* 1998; 3: 169-172
16. Mucha Ch, Lippert-Grüner M: Einfluß von komplexem versus isolierten isometrischen Krafttraining auf definierte Muskelfunktionen der Hand. *Phys Med Rehab Kur Med* 1995; (4): 131-133
17. Roskamm H, Clasing D: Die Abhängigkeit des Trainingseffektes von der Trainingsart. *Sportarzt und Sportmedizin* 1967; 1: 16-23
18. Sonde L et al: Stimulation with low frequency (1.7Hz) transcutaneous electric nerve stimulation (low-tens) increases motor function of the post stroke paretic arm. *Scand J Rehabil Med* 1998; 30 (2): 95-99
19. Sullivan PE, Markos PD, Minor MAD: PNF – Ein Weg zum therapeutischen Üben. Gustav Fischer, Stuttgart 1985
20. Tusker F: Allgemeine Grundlagen des Muskeltrainings. In: Binkowski H, Huber G: Muskeltraining in der Sporttherapie. Kleine Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Gesundheitssport und Sporttherapie 1, Echo, Köln 1989, 5-30
21. Weber H: Vorrichtung zum Messen der Kräfte der menschlichen Hand oder ihrer einzelnen Finger. Europäische Patentanmeldung 91100521.1 Europäisches Patentamt, Paris 1992
22. Weber H: Trainingsbehandlung eines Dreijährigen am HDF 200. In: Spektrum der Neurorehabilitation. W. Zuckschwerdt, München 1993, 195-198

### Korrespondenzadresse:

Dr. med. M. Lippert-Grüner  
Klinik für Neurochirurgie  
Universität Köln  
Joseph-Stelzmann-Str. 9  
50924 Köln