

Aus der Neurologischen Klinik und Poliklinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. Th. Brandt

Spiegelbildliche Mitbewegungen bei Kindern und Jugendlichen
mit infantiler Zerebralparese

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Sylvia Maaß
aus
München
2003

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. A. Danek

Mitberichterstatter: Prof. Dr. M. Papoušek
Prof. Dr. I. Rentschler

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 08.05.2003

1 EINLEITUNG	3
1.1. SPIEGELBILDICHE MITBEWEGUNGEN	3
1.1.1. Physiologische Spiegelbewegungen im Kindesalter und im Erwachsenenalter	4
1.1.2. Spiegelbewegungen bei genetischen Syndromen	5
1.1.3. Spiegelbewegungen nach Schädigung des adulten Zentralnervensystems ...	6
1.1.4. Spiegelbewegungen nach Schädigung des unausgereiften Zentralnervensystems.....	7
1.2. INFANTILE ZEREBRALPARESE	9
1.3. UNTERSUCHUNGSMETHODEN BEI SPIEGELBEWEGUNGEN	12
1.4. THEORIEN ZUR ENTSTEHUNG VON SPIEGELBEWEGUNGEN.....	15
1.4.1. Disinhibitionstheorie.....	15
1.4.2. Aussprossen von ipsilateralen kortikospinalen Bahnen.....	17
1.4.3. Entwicklung von neuen kortikospinalen Bahnen.....	18
1.4.4. Bilaterale kortikale Aktivität.....	20
1.4.5. Vergleich der Hypothesen.....	21
2 FRAGESTELLUNG	23
3 METHODIK	24
3.1. VERSUCHSABLAUF	24
3.1.1. Handpräferenz.....	25
3.1.2. Ergotherapeutischer Handfunktionstest	26
3.1.3. Klinische Untersuchung auf Spiegelbewegungen.....	27
3.1.4. Apparative Messungen.....	32
3.2. PATIENTEN UND KONTROLLPERSONEN	44
3.2.1. Kontrollstichprobe	44
3.2.2. Patientenstichprobe	45
3.3. GRUPPENAUFTeilUNG DER PATIENTEN UND DATENAUSWERTUNG.....	54
4 ERGEBNISSE	59
4.1. PHYSIOLOGISCHE SPIEGELBEWEGUNGEN DER KONTROLLPERSONEN.....	59
4.2. SPIEGELBEWEGUNGEN DER PATIENTEN MIT INFANTILER ZEREBRALPARESE .	61

4.2.1. Klinische Untersuchung.....	61
4.2.2. Experimentelle Untersuchung.....	71
4.2.3. Zusammenfassung.....	79
5 DISKUSSION.....	82
5.1. METHODISCHE ASPEKTE	82
5.2. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	87
5.2.1. Ergebnisse der Kontrollgruppe	87
5.2.2. Spiegelbewegungen bei Patienten mit infantiler Zerebralparese	89
5.2.3. Einfluß der Seite der Hirnschädigung auf das Auftreten von Spiegelbewegungen	97
5.3. HIRNANATOMISCHE GRUNDLAGEN DER SPIEGELBEWEGUNGEN BEI ZEREBRALPARESE.....	99
5.3.1. Die Rolle der Disinhibitionstheorie	99
5.3.2. Die Rolle abnormer ipsilateraler Bahnen für die Entstehung von Spiegelbewegungen	99
5.3.3. Die Rolle der bilateralen kortikalen Aktivität.....	102
5.3.4. Evaluation der verschiedenen Theorien.....	103
6 ZUSAMMENFASSUNG	105
7 LITERATURVERZEICHNIS.....	107
8 ANHANG.....	115
8.1. Tabellen.....	115
8.2. Algorithmus zur Gruppeneinteilung der Patienten	126
8.3. Lebenslauf.....	127
8.4. Danksagung.....	128

1 EINLEITUNG

1.1. Spiegelbildliche Mitbewegungen

Mitbewegungen sind "unwillkürliche oder automatische" Bewegungen, die willkürliche Bewegungen begleiten (Zülch und Müller 1969). Mitbewegungen können physiologisch oder pathologisch sein; letztere sind Zeichen einer zentralnervösen Schädigung.

Die erste detaillierte Erwähnung von "Synkinesien" (Mitbewegungen) findet sich 1840 in Johann Müllers Lehrbuch der Physiologie. Dort werden sie definiert als "diejenigen Bewegungen der Muskeln, welche mit intendirten willkürlichen Bewegungen gegen den Willen zugleich erfolgen. ... Das Eigenthümliche derselben besteht darin, daß der Impuls zu einer an sich willkürlichen Bewegung eine unwillkürliche zugleich hervorruft."(zitiert nach Müller 1840)

Bei den physiologischen Mitbewegungen werden "unkontrollierbare" von "kontrollierbaren" unterschieden. Bei ersteren handelt es sich um komplett automatische Bewegungen, die willentlich nicht zu unterdrücken sind wie etwa das Bell'sche Phänomen (Aufwärtsbewegung des Bulbus oculi beim Lidschluß).

Zur zweiten Gruppe, den "kontrollierbaren" Mitbewegungen zählt das Mitschwingen der Arme beim Gehen. Diese Mitbewegungen laufen normalerweise automatisch ab, können aber willentlich unterdrückt werden (Zülch und Müller 1969).

"Spiegelbildliche Mitbewegungen", denen seit Ende des vorigen Jahrhunderts besonderes Interesse gilt, sind eine Sonderform der Mitbewegungen. Sie laufen in homologen Muskelgruppen gleichzeitig mit einer Willkürbewegung des kontralateralen Körperteils ab (Durwen et al. 1997). Dabei wird die Bewegung symmetrisch und synchron beidseitig beobachtet, gleich einer Spiegelung der ursprünglichen Bewegung an der Körperlängsachse.

Die Bezeichnung und Abgrenzung von anderen Mitbewegungen geht zurück auf Westphal (1874). In der französischen Literatur wird das Phänomen als "syncinésies d'imitation" bezeichnet; im Englischen finden sich die Bezeichnungen "mirror movements" oder auch "identical", "imitative", "corresponding movements".

Spiegelbildliche Mitbewegungen können willkürlich zum Teil unterdrückt werden. Bei Gesunden können sie im Verlauf der Entwicklung auftreten. Darüber hinaus findet man Spiegelbewegungen bei Patienten mit neurologischen Syndromen, darunter auch sogenannte persistierende Spiegelbewegungen. Letztere können isoliert ohne sonstige neurologische Einschränkungen auftreten.

Spiegelbewegungen wurden wiederholt bei neurologisch unauffälligen Probanden im Rahmen der motorischen Entwicklung untersucht. Ihre Wertung als "soft neurological sign" ist kontrovers. Neuroanatomische und neuropathologische Hypothesen zu ihrem Auftreten sind bisher nicht bewiesen. Ein besonderes Interesse besteht an der möglichen Bedeutung von spiegelbildlichen Mitbewegungen für die Rehabilitation nach Erkrankungen des Nervensystems, wo sie als Zeichen zentralnervöser Reorganisation diskutiert werden.

1.1.1. Physiologische Spiegelbewegungen im Kindesalter und im Erwachsenenalter

Bei seiner Beschreibung von Spiegelbewegungen bei Hemiplegie postulierte Westphal 1874, daß die Mitbewegungen in früher Jugend noch physiologisch sind und im Verlauf der normalen motorischen Entwicklung durch Hemmung eingeschränkt werden. Von Erlenmeyer (1879) wurden spiegelbildliche Mitbewegungen als die "natürlichsten Bewegungen der Hand" angesehen. Physiologische Spiegelbewegungen sollen vorzugsweise während feinmotorischer Leistungen der Hand, besonders bei angestrenzter Muskelkontraktion, repetitiven Fingerbewegungen und unter Ermüdung auftreten (Durwen et al. 1997).

Curschmann (1906) nahm an, daß Spiegelbewegungen Ausdruck einer ursprünglichen Bilateralität aller motorischen Impulse im Zentralorgan sind. Dies begründete er damit, daß viele Bewegungen wie die der Augen, der Kau- und der Atemmuskeln während des ganzen Lebens nur bilateral ausführbar seien. Weiterhin schreibt er: "Die in früher Jugend noch physiologischen kontralateralen symmetrischen Mitbewegungen werden nun durch Übung in der Unterdrückung, d.i. durch Hemmung ... eingeschränkt: ... Sie gehen nicht vollständig verloren, sondern werden - in individuell wechselndem Umfang - latent ..."

In den sechziger Jahren wurden Spiegelbewegungen systematisch bei gesunden Kindern und Jugendlichen untersucht (Zazzo 1960, Fog & Fog 1963, Abercrombie 1964, Cohen

et al. 1967 und Connolly & Stratton 1968). Die meisten Autoren beschreiben eine Abnahme ihrer Ausprägung um das zehnte Lebensjahr (Nass 1985). Neuere Untersuchungen mit empfindlichen Meßinstrumenten lassen vermuten, daß spiegelbildliche Mitbewegungen in keiner Altersstufe ganz fehlen, wenn auch ihre Ausprägung unterschiedlich stark ist (Armatas et al. 1994).

Nach dem Leitfaden zur kinderneurologischen Untersuchung von Touwen ist die Abnahme von Spiegelbewegungen ein Zeichen der funktionellen Reifung des Nervensystems (Touwen 1982). Ihr Auftreten über ein bestimmtes Alter hinaus ist damit als Zeichen einer Retardierung anzusehen und eine Seitendifferenz der assoziierten Bewegungen gilt als Hinweis auf ein Hemisyndrom, wobei die erkrankte Körperhälfte eine stärkere Ausprägung der Mitbewegungen zeigen soll.

1.1.2. Spiegelbewegungen bei genetischen Syndromen

Zu dieser Gruppe von Spiegelbewegungen gehören Formen mit autosomal-dominantem Erbgang ohne jegliche neurologische Auffälligkeit (Danek 1995). Sie sind kaum unterdrückbar und der Betroffene ist beim Ausführen von alltäglichen Bewegungsabläufen beeinträchtigt. Dazu schreibt Foerster (1903): "Es sind einzelne, ganz einwandfreie Fälle ... beschrieben worden, in welchen bei beabsichtigter Ausführung irgend einer Bewegung namentlich an der oberen, aber auch an der unteren Extremität, genau die korrespondierende Bewegung auf der anderen Seite mit auftrat. Die betreffenden Personen waren außerstande, die Mitbewegungen zu unterdrücken. Dieselben waren umso intensiver, je komplizierter die beabsichtigte Bewegung war und mit je größerer Kraft dieselbe ausgeführt wurde; bei Widerstandsbewegungen waren sie am größten."

Besonders eindrucksvoll ist eine Kasuistik von Burr und Crow (1913). Es handelte sich hierbei um einen Matrosen, der ein Seil nicht hinaufklettern konnte, da er nicht in der Lage war, beide Hände unabhängig voneinander zu öffnen oder zu schließen.

Besonders störend sind Spiegelbewegungen, wenn der Betroffene Bewegungsabläufe erlernen oder ausführen will, die die unabhängige Bewegung beider Hände erfordern, wie zum Beispiel beim Klavier- oder Geigenspiel. Bei Foerster (1903) findet sich folgende Schilderung dieser Problematik: "Den jungen Mann ... verhinderten die Mitbewegungen Violinunterricht zu nehmen, da bei der Fingerbewegung auf dem Griffbrett

allemaal die analogen Bewegungen der anderen Seite eintraten und dadurch der Violinbogen der Hand entschlüpfte.”

Foerster sieht in den Mitbewegungen dieses Patienten die Persistenz der entwicklungsbedingten, physiologischen Spiegelbewegungen, die normalerweise beim Erwachsenen unterdrückt werden. Auf diesem Konzept basiert die Benennung als ”persistierende Spiegelbewegungen” für dieses seltene Phänomen.

Persistierende Spiegelbewegungen mit zu vermutendem genetischen Hintergrund können auch bei Balkenagenesie (Milner 1983), bei Mißbildungen der occipito-zervikalen Übergangsregion, Arnold-Chiari-Mißbildung, basilärer Impression (Linke et al. 1992), Klippel-Feil-Syndrom (zervikale Blockwirbelbildung) sowie bei Kallmann-Syndrom (Danek et al. 1992) auftreten.

1.1.3. Spiegelbewegungen nach Schädigung des adulten Zentralnervensystems

Eine heterogene Gruppe bilden erworbene Spiegelbewegungen, die als Folge unterschiedlicher zerebraler Läsionen auftreten können, insbesondere nach Hirninfarkten. So untersuchten Witt et al. (1992) drei Patienten mit einseitigen ischämischen Infarkten im Bereich des hinteren Schenkels der Capsula interna, bei denen es zu kontralateralen symmetrischen Mitbewegungen immer dann kam, wenn die paretische Hand Willkürbewegungen ausführte; erfolgte die Willkürbewegung dagegen mit der gesunden Hand, traten keine Mitbewegungen auf.

Über Mitbewegungen nach Kapselinfarkten berichteten auch Weiller et al. 1993, die die funktionale Reorganisation des Motorkortex in der Positronen-Emissionstomographie untersuchten und bei vier Patienten Spiegelbewegungen fanden. Auch bei diesen Patienten zeigten sich nur in der gesunden Hand Mitbewegungen.

Weitere Schilderungen von Spiegelbewegungen finden sich im Zusammenhang mit frontalen Läsionen, insbesondere der supplementär-motorischen Area, (Della Sala et al. 1994), sowie nach temporalen und parietalen Läsionen (Jelasic & Ott 1969).

1.1.4. Spiegelbewegungen nach Schädigung des unausgereiften Zentralnervensystems

In drei Fällen von infantiler Zerebralparese schilderte Westphal 1874 deutlich ausgeprägte kontralaterale Mitbewegungen. In einem weiteren Fall waren die Mitbewegungen so stark, daß der Patient jedesmal die gesunde Hand bewegte, wenn er die paretische bewegen wollte.

Westphal beobachtete die Mitbewegungen sowohl in der paretischen als auch in der gesunden Hand. Wie bei seinen gesunden Probanden nahm ihre Intensität mit steigender Entfernung vom Stamm und mit den Ansprüchen an Koordination und Anstrengung zu. Westphal interpretierte dies durch "Unwirksamkeit der hemmenden Bahnen, die das Bewegungsübermaß nicht eindämmen können".

Curschmann meinte, daß die infantile "Cerebrallähmung die Prädilektionskrankheit für die kontralateralen symmetrischen Mitbewegungen" sei. In „Beiträge zur Physiologie und Pathologie der kontralateralen Mitbewegungen“ (1906) beschreibt er die von ihm durchgeführten Untersuchungen bei Kindern mit infantiler Zerebralparese. Er fand, daß Mitbewegungen sowohl in der gesunden als auch in der geschädigten Hand zu beobachten waren und nur dann fehlten, wenn die paretische Hand keinerlei Willkürbewegung mehr durchführen konnte.

Abercrombie und Mitarbeiter verglichen Kinder mit infantiler Zerebralparese mit gleichaltrigen Gesunden und fanden bei den Patienten im Durchschnitt mehr Mitbewegungen (1964). Die Untersuchungen ließen keine Rückschlüsse auf eine bevorzugte Körperseite (ipsiläsional oder kontraläsional) zu, was das Auftreten von Spiegelbewegungen betrifft. Ebenso stellten sie keine signifikante Korrelation zwischen dem Auftreten von Spiegelbewegungen und dem Grad der zerebralen Schädigung fest.

Woods und Teuber (1978) beschrieben als Einflußfaktoren auf das Ausmaß der Spiegelbewegungen bei hemiparetischen Kindern und Jugendlichen die Schwere der motorischen Aufgabe, den Zeitpunkt der Schädigung, die Seite der Willkürbewegung sowie die Schwäche der paretischen Hand. Die Spiegelbewegungen waren ausgeprägter, wenn die Hirnschädigung früh stattgefunden hatte, wenn die paretische Hand bewegt wurde

und wenn eine leichtere Parese vorlag. Bei schwerer Hemiparese wurden weniger Spiegelbewegungen festgestellt.

Nass beobachtete 1985 bei Patienten mit infantiler Hemiparese Spiegelbewegungen in der kranken sowie in der gesunden Hand (in der gesunden Hand stärker ausgeprägt). Bei jüngeren Patienten waren sie deutlicher ausgeprägt als bei älteren.

Überblickt man die vorliegenden Untersuchungen, so ergibt sich kein klares Bild in Bezug auf mögliche Gesetzmäßigkeiten von Spiegelbewegungen bei infantiler Zerebralparese. Zunächst sind die Aussagen über die Seite ihres Auftretens uneinheitlich: manche Autoren sprechen von einem bevorzugten Auftreten der Bewegungen in der gesunden Hand, andere finden keine Seitendifferenz oder beobachteten Mitbewegungen in der paretischen Hand.

Andere Autoren finden keine pathologische Spiegelaktivität bei den Patienten mit Zerebralparese.

Auch die Aussagen über den Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der zerebralen Beeinträchtigung und dem Ausprägungsgrad der Spiegelbewegungen sind uneinheitlich: einige Autoren beschreiben eine eindeutige positive Korrelation mit der Stärke der Mitbewegungen, andere fanden keinen Zusammenhang oder eine negative Korrelation, mit dem höchsten Maß an Mitbewegungen bei leichteren Paresen.

Unklar bleibt auch, ob die ausgeübte Kraft einen Einfluß auf das Auftreten und Ausmaß von Spiegelbewegungen hat.

Die Wertung der Beobachtungen ist nicht nur durch Unterschiede in den Untersuchungsmethoden erschwert, sondern es werden vermutlich unter der Bezeichnung "infantile Zerebralparese" Patienten mit unterschiedlichen Krankheitsursachen zusammengefaßt. Im folgenden Abschnitt wird daher das Krankheitsbild „infantile Zerebralparese“ genauer dargestellt.

1.2. Infantile Zerebralparese

1843 beschrieb W. J. Little spastische Paresen bei Frühgeborenen und bei Kindern mit Geburtskomplikationen. Sigmund Freud subsumierte unter dem Begriff "infantile Zerebrallähmung" Störungen der motorischen, psychischen und intellektuellen Entwicklung sowie eine frühkindliche Epilepsie. Er betonte, daß es sich eher um einen Symptomenkomplex als um ein eigenständiges Krankheitsbild handelt (Collier 1924).

Unter dem Begriff „infantile Zerebralparese“ werden heute perinatal erworbene Hirnschädigungen zusammengefaßt, bei denen Störungen der Motorik mit Tonusanomalien, pyramidalen und extrapyramidalen Symptomen im Vordergrund stehen. Die Inzidenz wird auf 1.5-2.5 pro 1000 Neugeborene geschätzt (Kuban & Levinton 1994). Folgende Syndrome werden unterschieden (Neuhäuser 1995):

1. Spastische Tetraplegie-Syndrome

mit spastischen Paresen der Beine und Arme, oft mit hochgradiger geistiger Behinderung, Epilepsie und schwerer Sprachstörung;

2. Spastische Diplegie-Syndrome

mit nahezu symmetrischen spastischen Paresen der Extremitäten, meist Beine und Füße (Paraplegie);

3. Spastische Hemiplegie-Syndrome

mit spastischer Halbseitenlähmung, oftmals von dyskinetischem Charakter;

4. Hypotonie-Syndrome

mit allgemeiner Verminderung des Muskeltonus bei normalen oder gesteigerten Muskeleigenreflexen; oft mit geistiger Behinderung und Epilepsie;

5. Dyskinetische Syndrome

mit schwerer Tetraplegie und abnormem Wechsel des Muskeltonus (Dystonie oder veränderliche Rigidity), Athetose;

6. Kongenitale Ataxie-Syndrome.

Neben diesen hauptsächlich durch Störungen der Motorik charakterisierten Krankheitsbildern wird die minimale zerebrale Dysfunktion (MCD) als Syndrom mit überwiegenden Störungen der kognitiven Funktionen und des Verhaltens als diskreten Zeichen einer frühkindlichen Hirnschädigung beschrieben.

Als häufigste Ursachen einer frühkindlichen Hirnschädigung nimmt man Anoxie und Asphyxie durch eine Perfusionsstörung der Plazenta an, ferner Geburtsasphyxie sowie Atem- und Stoffwechselstörungen, insbesondere bei Frühgeborenen. Demgegenüber selten sind: infektiös und toxisch bedingte Embryopathien bzw. Fetopathien, direkte Geburtstraumen (z.B. subdurale Hämatome oder Hirnblutungen als Folge von Schädel-frakturen) und Infektionskrankheiten der Säuglinge.

Der Fortschritt im Bereich der Neugeborenen-Intensivmedizin hat einerseits höhere Überlebensraten der Frühgeborenen ermöglicht, führte aber auch zu einer höheren Inzidenz der Zerebralparese.

Die morphologischen Korrelate sind erwartungsgemäß heterogen. Krägeloh-Mann et al. (1992) untersuchten Patienten mit infantiler Tetraplegie und Hemiplegie mittels Kernspintomographie. Lediglich bei Patienten mit perinataler Asphyxie bestanden Zeichen einer multizystischen Enzephalopathie. In den drei anderen untersuchten Gruppen (reife Neugeborene ohne Zeichen der Asphyxie; Frühgeborene ab der 32. Schwangerschaftswoche; Frühgeborene vor der 32. Schwangerschaftswoche) fand sich überwiegend eine periventrikuläre Leukenzephalopathie (PVL), wobei eine deutliche Korrelation zwischen spastischer Diplegie und PVL festzustellen war.

Zur Erklärung für das häufige Auftreten der PVL insbesondere bei Frühgeborenen verweisen die Autoren auf die Entwicklung des Gehirns. Diese sei zwar großteils in der 24. Gestationswoche abgeschlossen, bis zur 36. Woche seien periventrikulär gelegene Strukturen als Keimzone für Myelinisierung, Glia- und Dendritenbildung aber besonders vulnerabel.

Bei infantiler spastischer Hemiplegie finden sich typischerweise Läsionen im Gebiet der Arteria cerebri media (Ment et al. 1984, Levy et al. 1985), wobei die Hemiplegie aus unbekanntem Grund rechts (durch linkshemisphärische Läsion) doppelt so häufig wie links auftritt (Grether und Mitarbeiter 1992).

Zusammenfassend wird deutlich, daß es sich bei der infantilen Zerebralparese um eine sehr heterogene Gruppe von Syndromen handelt und nicht um ein einheitliches Krankheitsbild.

Derzeit ist in der Regel nur eine klinisch-syndromale Gliederung der Zerebralparese möglich, während eine ätiologische Zuordnung zu den Ursachen in den meisten Fällen kaum gelingt.

1.3. Untersuchungsmethoden bei Spiegelbewegungen

Die bisher verwendeten Methoden zur Untersuchung der zugrundeliegenden Mechanismen umfassen ein Spektrum von den ursprünglich rein klinischen Beobachtungen, später ergänzt durch Hilfsapparate (Klemmen etc.), bis zur transkraniellen Cortexstimulation und funktionellen Kernspintomographie. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über Methoden zur Bewegungsdokumentation bei Spiegelbewegungen:

Test	Bewertung	Probanden	Autor
Fingerextension, Handextension, passive Bewegung der Finger	qualitativ	Gesunde und Patienten mit Hemiparese	Westphal (1874)
Faustöffnen, Fingerflexion	qualitativ	Gesunde und Patienten mit Hemiparese/ Zerebralparese	Foerster (1903)
Diadochokinese, Spreizung/ Adduktion aller Finger	qualitativ	Gesunde und Patienten mit Zerebralparese	Curschmann (1906)
Fingerhebetest	qualitativ	Gesunde	Zazzo (1960)
Druckklemmen unterschiedlicher Stärke	qualitativ/quantitativ (Skala von 0-2)	Gesunde und Kinder mit geistiger Retardierung unterschiedlicher Ätiologie	Fog & Fog (1963)
Fingerhebetest (Zazzo) & Druckklemmen unterschiedlicher Stärke	Qualitativ/quantitativ (Skala von 0,5-4)	Gesunde und Patienten mit Zerebralparese	Abercrombie (1964)
Druckklemme, Fingerabduktionstest	qualitativ	Gesunde	Connolly & Stratton (1968)
Diadochokinese, Sequentielle Fingeropposition	qualitativ/quantitativ (Ausprägungsgrad der Mitbewegungen: Skala von 0-4)	Gesunde und Patienten mit Hemiparese	Woods & Teuber (1978)
Sequentielle Fingeropposition, repetitives Fingertippen	qualitativ/quantitativ (Skala von 0-4)	Patienten mit Hemiparese	Nass (1985)
Apparative Messung der Oberarmmuskulaturkraft mit EMG-Feedback	qualitativ/quantitativ (MB in % der Willküraktivität)	Gesunde, Patienten mit Hemiplegie	Lazarus (1992)
Apparative Messung der Fingerkräfte	qualitativ/quantitativ (MB in % der Willkürbewegungskraft)	Gesunde	Armatas (1994)
Apparative Messung der Fingerkräfte im Präzisionsgriff	qualitativ/quantitativ (MB in % der Willkürbewegungskraft)	Gesunde/ Patienten mit Spiegelbewegungen unterschiedlicher Genese	Hermsdörfer et al. (1995) Danek (1997)
Oberflächen-EMG	qualitativ/quantitativ (Verhältnis der durchschnittlichen EMG-Aktivität der Willkürhand zur Spiegelhand)	Gesunde	Mayston et al. (1999)

Bei dem von Fog und Fog 1963 eingeführten „Druckklemmen-Test“ (clip pinching) soll das Drücken einer Klemme zwischen Zeigefinger und Daumen Mitbewegungen in der anderen, passiven Hand auslösen. Die Klemme (in ihrer Funktion einer Wäscheklammer entsprechend) erfordert je nach Ausführung und Größe unterschiedliche Kräfte beim Zusammendrücken. Der Druckklemmen-Test wurde mehrfach modifiziert (Abercrombie et al. 1964, Connolly und Stratton 1968). Allerdings fehlen genaue Hinweise zur Methodik wie z.B. der genauen Ausführung der Klemmen und insbesondere Angaben, wie der Schweregrad der Mitbewegungen quantifiziert wurde („leicht“ bzw. „ausgeprägt“).

Abercrombie fand die allgemeine Verwendbarkeit des Tests eingeschränkt, da viele seiner Patienten mit infantiler Zerebralparese nicht imstande waren, die Klemmen zu öffnen.

Beim „Fingerhebetest“ (Zazzo 1960) sollen die Probanden auf Aufforderung willkürlich jeden Finger heben (die Hand liegt mit gespreizten Fingern auf einer Unterlage).

Connolly und Stratton (1968) untersuchten Spiegelbewegungen als erste mit einem "Fingerabduktionstest": dabei sollen beide Hände des Probanden flach auf einer Unterlage liegen und zunächst der Zeigefinger vom Mittelfinger abgespreizt werden, dann der Mittelfinger vom Ringfinger. Eine isolierte Spreizbewegung wurde als korrekte Lösung ("pass") bewertet. War der Proband nicht fähig, die bezeichneten Finger zu spreizen oder traten in der kontralateralen Hand Mitbewegungen auf, lautete die Bewertung "fail". Hierbei wurde die Art der Bewegung nicht näher differenziert, es muß sich also nicht sicher um Spiegelbewegungen handeln.

Armatas et al. (1994) untersuchten apparativ die Kräfte des Zeigefingers und des kleinen Fingers bei gesunden Erwachsenen. Die Finger lagen auf flachen Kraftmessern und von der jeweils passiven Hand wurden Spiegelbewegungen abgeleitet.

Hermisdörfer et al. (1995) entwickelten ein Untersuchungssystem, das die Fingerkräfte im Präzisionsgriff mißt. Der Proband hält zwei Kraftmesser zwischen dem Zeigefinger und Daumen jeder Hand.

Bei Mayston et al. (1999) sollten die Probanden nacheinander mit beiden Händen eine sequentielle Fingeropposition und repetitive Fingerabduktion durchführen, während die jeweils passive Hand mittels Oberflächen-EMG untersucht wurde.

Diese Methode bietet den Vorteil einer sehr hohen Sensitivität für unwillkürliche Muskelaktivität, ist aber für Kleinkinder nur bedingt geeignet.

Zusammenfassend zeigt sich hier deutlich die Schwierigkeit beim Erfassen von Spiegelbewegungen sowohl bei Gesunden als auch bei Personen mit motorischer Beeinträchtigung. Die bislang verwendeten Methoden zur Untersuchung von Spiegelbewegungen sind größtenteils nicht allgemein anwendbar, das heißt, entweder nicht für Kleinkinder oder Patienten mit motorischen Beeinträchtigungen geeignet. Zudem sind viele der klinischen Untersuchungsmethoden aufgrund ihres subjektiven Bewertungssystems problematisch.

Um Spiegelbewegungen bei Patienten mit Zerebralparese untersuchen und mit Normdaten vergleichen zu können, ergeben sich zahlreiche Anforderungen an eine zuverlässige Untersuchungsmethode:

Das Untersuchungssystem muß allgemein anwendbar sein, sowohl bei Normalpersonen aller Altersstufen als auch bei Patienten mit Zerebralparese. Weiterhin erfordert die Untersuchung gerade von Kindern und Jugendlichen mit Zerebralparese aufgrund deren motorischen und kognitiven Beeinträchtigungen ein einfach zu bedienendes und zuverlässiges, dabei aber auch empfindliches Instrumentarium. Die Untersuchungsmethoden müssen objektivierbar und jederzeit ohne großen Aufwand wiederholbar sein.

Das System darf nicht störanfällig sein und muß auch bei motorischen Beeinträchtigungen zuverlässig nur Spiegelaktivität (in homologen Muskeln, namentlich in den distalen Handmuskeln) erkennen. Ein allgemein verständliches und vom Auswerter unabhängiges Auswertungsschema zur objektiven Evaluation der Spiegelbewegungen sollte vorhanden sein.

Eine Untersuchung an einem größeren Patientengut mit einer Methodik, die den genannten Ansprüchen gerecht wird, wurde hier erstmalig bei Kindern und Jugendlichen mit Zerebralparese durchgeführt und mit repräsentativen gesunden Probanden verglichen.

1.4. Theorien zur Entstehung von Spiegelbewegungen

So vielfältig die Krankheitsbilder sind, in deren Zusammenhang Spiegelbewegungen auftreten, so unterschiedlich sind auch die Theorien zur Erklärung ihrer Entstehung. Einige davon sollen aufgeführt und anhand von Schemazeichnungen erklärt werden.

1.4.1. Disinhibitionshypothese

Die Disinhibitionshypothese versucht Spiegelbewegungen durch eine fehlende Hemmung zu erklären. Normalerweise soll jede Hemisphäre die ipsilateral projizierenden pyramidalen Bahnen der gegenseitigen Hemisphäre unterdrücken. Ist dieser Mechanismus durch eine einseitige Hemisphärenläsion beeinträchtigt, kommt es zu Spiegelbewegungen auf der gleichseitigen Körperhälfte (also in der gesunden Hand).

Westphal formulierte diese Hypothese am Beispiel einer rechtshemisphärischen Hirnschädigung: "Von der linken gesunden Hemisphäre aus werden Willensimpulse in normaler Weise auf die ihr zugehörigen gleichseitigen motorischen Ganglien (Corpus striatum, Linsenkern) und von dort durch die Pyramidenkreuzung auf die Nerven der rechtsseitigen Extremitäten fortgeleitet; es geht aber auch - wie wir aus der Tendenz zur Mitbewegung im physiologischen Zustande schließen können - die durch den Willensimpuls in der linken Hemisphäre gesetzte Erregung durch die Commissurenfasern auf die nach unserer Annahme intact gebliebenen großen Ganglien der rechten Hirnhälfte über, und deren Erregung bedingt eine gleichartige Mitbewegung der der willkürlichen Bewegung entzogenen Extremitäten der linken Seite. Daß im physiologischen Zustande solche Mitbewegungen nicht stattfinden, erklärt sich, wie bereits erwähnt, durch Übung in der Unterdrückung derselben, was nichts Anderes heißen würde, als daß, wenn wir z.B. mittelst der linken Hemisphäre die rechten Extremitäten bewegen, gleichzeitig einen hemmenden Einfluß auf die Miterregung der großen Ganglien der entgegengesetzten rechten Hirnhälfte ausüben, ein Einfluß, der von der rechten Hemisphäre hergeleitet werden könnte. Fällt nun, bei Zerstörung eines Teils der rechten Hemisphäre, dieser hemmende Einfluß fort, so erfolgt eben die physiologisch vorgebildete Mitbewegung..." (Westphal 1874).

Nach der Disinhibitionshypothese ist der Ursprungsort der Spiegelbewegungen der motorische Kortex, durch Erregung ungekreuzter Bahnen (s. Abbildung 1.1).

Die ungehemmte Aktivität der ipsilateralen Bahnen beruht zum Beispiel auf dem Fehlen kallosaler Einflüsse.

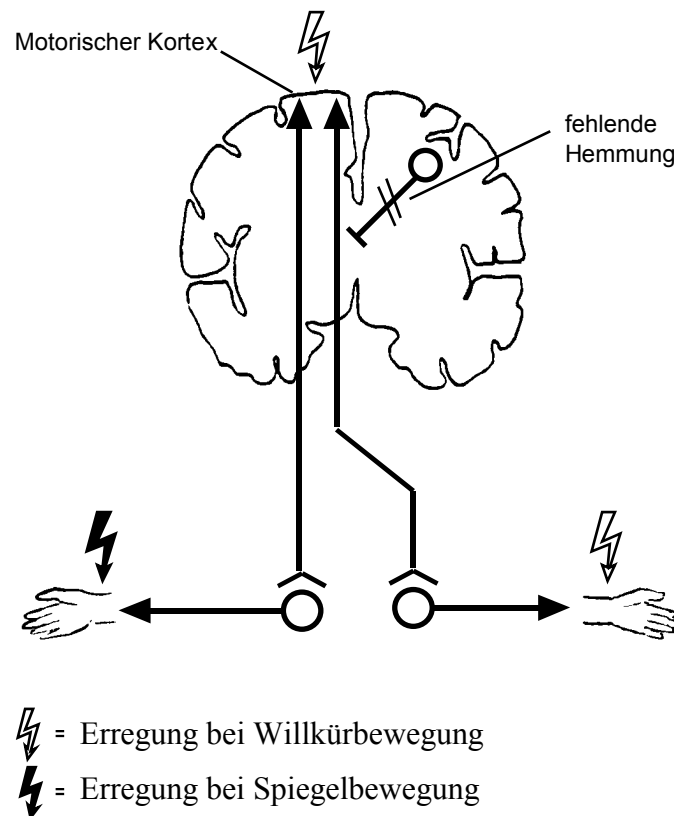


Abbildung 1.1: Schematische Darstellung der Disinhibitionshypothese: Bei Wegfall hemmender Impulse von der kontralateralen Hemisphäre werden Spiegelbewegungen durch ungekreuzte Bahnen vom ipsilateralen Motorkortex ausgelöst (Hypothese I)

Diese Theorie wird oft im Zusammenhang mit den entwicklungsbedingten physiologischen Spiegelbewegungen genannt. Als kontrollierende Struktur gilt der Balken, dessen Bahnen zunehmend reifen.

1.4.2. Aussprossen von ipsilateralen kortikospinalen Bahnen

Eine weitere Hypothese zieht das Aussprossen von ipsilateralen kortikospinalen Bahnen in Betracht (s. Abbildung 1.2). Demnach könnten nach einseitiger Läsion der Pyramidenbahn kortikospinale Axone von der gesunden zur denervierten Seite aussprossen und beidseits Motoneuronen innervieren.

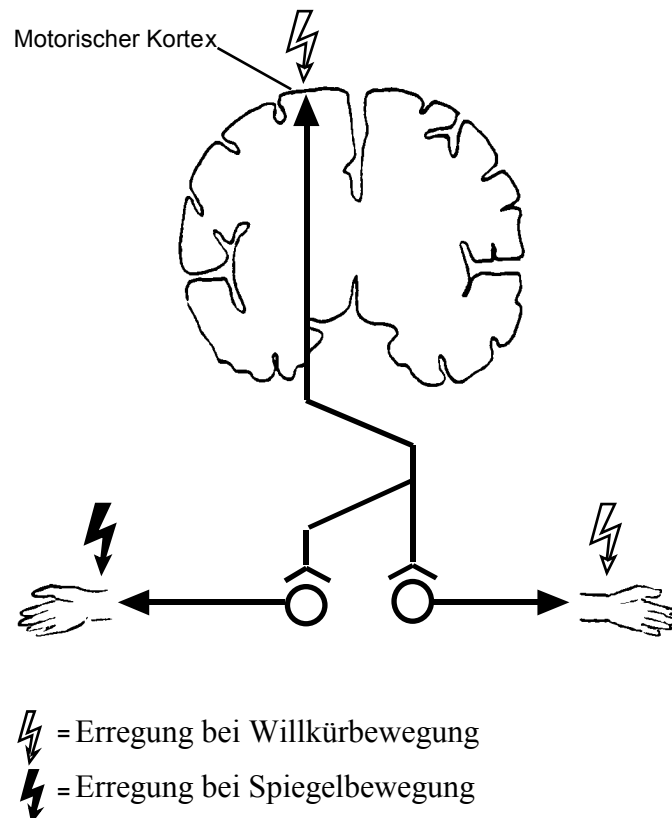


Abbildung 1.2: Schematische Darstellung der Theorie der aussprossenden ipsilateralen kortikospinalen Bahnen: Spiegelbewegungen werden durch die in Höhe der Decussatio pyramidum kreuzenden kortikospinalen Bahnen ausgelöst. Diese verzweigen sich im Rückenmark und innervieren dort beidseits Motoneuronen, die Willkür- und simultan Spiegelbewegungen auslösen (Hypothese II).

Hypothese II beschreibt demnach einen kompensatorischen Aussprossungsmechanismus der Axone im Rückenmark der gesunden Seite hin zur kranken Seite und schreibt somit der gesunden Seite ein kompensatorisches Potential zu. Bei einer einseitigen Hemisphärenläsion mit Aussprossen der gesunden kortikospinalen Bahnen zur geschädigten Seite sollten bei Bewegung der gesunden Hand stets Spiegelbewegungen in der kranken Hand auftreten.

Für diese Hypothese sprechen u. a. die Befunde von Carr und Mitarbeitern (1993). Sie untersuchten bei Patienten mit infantiler Hemiparese die absteigenden motorischen Bahnen mittels transkranieller Stimulation. Die Stimulation des intakten Motorkortex rief bei Patienten mit ausgeprägten Spiegelbewegungen bilaterale, simultane EMG-Antworten mit kurzer Latenz hervor. Nirrko et al. 1997 beobachteten einen analogen Befund in einem Einzelfall.

Die Hypothese wird durch tierexperimentelle Befunde nach Pyramidotomie unterstützt. Kuang und Kalil (1990) stellten fest, daß bei jungen Hamstern nach einseitigen Läsionen der Pyramidenbahn kortikospinale Axone von der gesunden zur denervierten Seite des Rückenmarks aussprossen.

Carr et al. (1993) sehen Spiegelbewegungen als prognostisch günstig an und werten sie als Zeichen einer guten Funktionswiederherstellung nach zerebraler Schädigung. Dabei ist der Zeitpunkt der Schädigung von Bedeutung: je später sie stattfindet, desto geringer ist die Möglichkeit für eine Reorganisation von zentralnervösen Bahnen.

1.4.3. Entwicklung von neuen kortikospinalen Bahnen

Cao und Mitarbeiter (1994) ließen Patienten mit perinatal erworbener Hemiparese sowohl mit der rechten als auch mit der linken Hand mit maximaler Frequenz eine sequentielle Fingeropposition ausführen und fanden eine signifikante Erhöhung von funktionellen Kernspin-Signalen in beiden Hemisphären während der Bewegung der motorisch beeinträchtigten Hand.

Bei gesunden Individuen finden sich bei Bewegung einer Hand hauptsächlich in der kontralateralen Hemisphäre funktionelle Kernspin-Signale.

Zur Erklärung wird die Entwicklung von neuen, ungekreuzten kortikospinalen Bahnen nach Schädigung des unausgereiften Zentralnervensystems herangezogen.

Diese Annahme wird durch tierexperimentelle Funde unterstützt. So fand man beispielsweise nach Hemisphärektomie bei Nagern, daß sich neue, ungekreuzte kortikospinale Bahnen zum ipsilateralen Rückenmark ausbildeten (Hicks & D'Amato 1970).

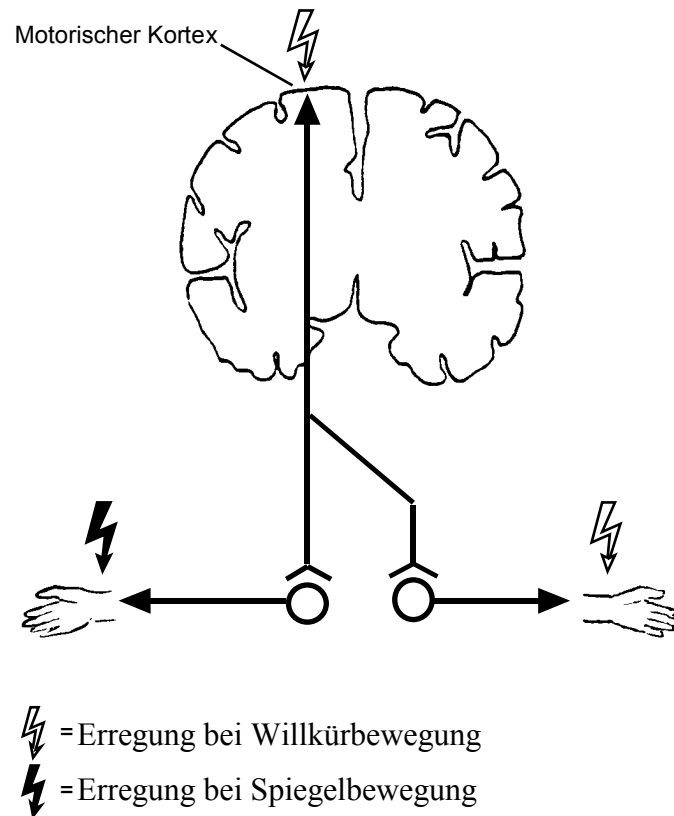


Abbildung 1.3: Schematische Darstellung der Theorie der neuen ipsilateralen Bahnen: Nach einseitiger Hemisphärenläsion bilden sich kompensatorisch neue ipsilaterale Bahnen aus, die Spiegelbewegungen in der ipsilateralen Hand auslösen (Hypothese III)

Als dritte Hypothese (Abbildung 1.3) könnten somit neue ipsilaterale kortikospinale Bahnen vorliegen, die möglicherweise kompensatorisch nach einer einseitigen Hemisphärenläsion in das ipsilaterale Rückenmark aussprossen. Im Fall einer einseitigen Läsion sollte es dann stets zu Spiegelaktivität bei Bewegung der kranken Hand kommen.

Diese Hypothese ähnelt der 2. Hypothese, was das morphologische Korrelat betrifft. Im Vergleich zu Hypothese II ist jedoch der Zeitpunkt früher, d.h. im Stadium des unausgereiften Zentralnervensystems anzunehmen. Die kompensatorisch ausgebildeten neuen kortikospinale Bahnen lassen Spiegelaktivität in der gesunden Hand vermuten.

Die in Hypothese II beschriebenen, im Rückenmark beidseits aussprossenden Bahnen implizieren hingegen Spiegelbewegungen in der kranken Hand.

1.4.4. Bilaterale kortikale Aktivität

Zuletzt besteht die Möglichkeit, daß bei intendierten einseitigen Bewegungen stets beide motorischen Kortizes aktiv sind, wobei die zu Spiegelbewegungen führende Aktivität durch ein übergeordnetes Zentrum moduliert werden kann (Mayston et al. 1999). Bei einer einseitigen Hemisphärenläsion sollte es demnach bei Bewegung der gesunden Hand zu Spiegelbewegungen in der kranken Hand kommen, da auf der Seite der Läsion die Mechanismen zur Unterdrückung der kontralateralen motorischen Impulse beeinträchtigt wären. Hypothese IV beschreibt ähnlich der Disinhibitionshypothese einen Wegfall kontrollierender Hemmechanismen auf der kranken Seite, hierbei wird aber im Gegensatz zur Hypothese I nicht von einer normalerweise einseitigen (unihemisphärischen) Impulsleitung ausgegangen. Insofern muß die Dishinhibitionshypothese als eigenständiges Modell gesehen werden und kann nicht mit dem relativ neuen Modell der bilateralen kortikalen Aktivität gleichgesetzt werden.

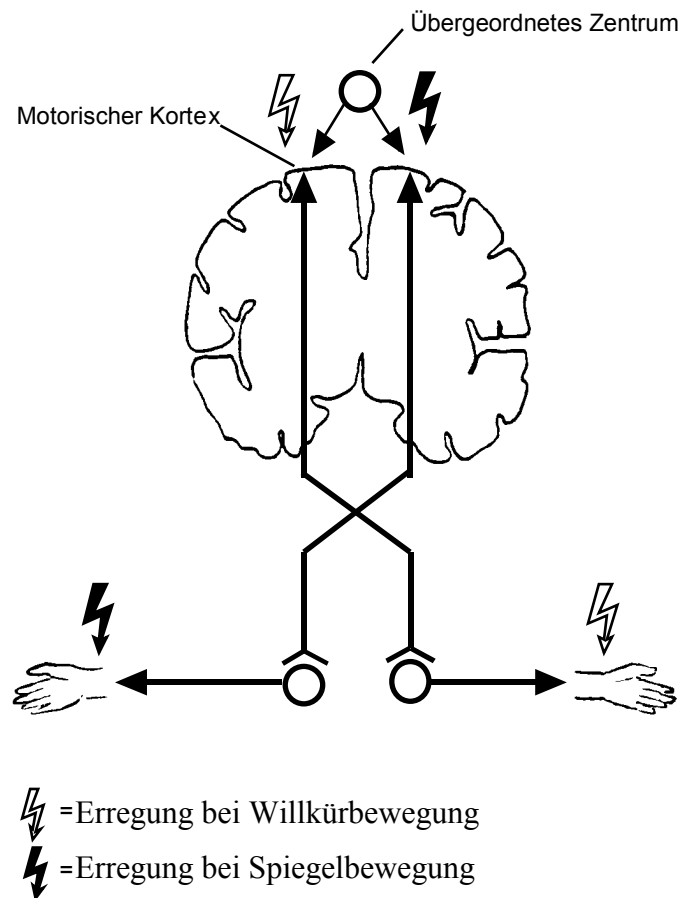


Abbildung 1.4: Schematische Darstellung der Hypothese der bilateralen kortikalen Aktivität: Bei einseitiger Willkürbewegungen sind stets beide motorischen Kortexen aktiv. Die normalerweise durch ein übergeordnetes Zentrum kontrollierte kontralaterale Aktivität kann bei einseitiger Schädigung zu Spiegelaktivität führen (Hypothese IV).

1.4.5. Vergleich der Hypothesen

Ob spiegelbildliche Mitbewegungen ein Hinweis auf zentralnervöse Reorganisation sind, wie es Hypothese II und III postulieren, wird vielfach diskutiert. Demgegenüber stehen die Hypothesen, die einen Wegfall hemmender Strukturen bei unilateralen Hirnschädigungen für die Spiegelaktivität verantwortlich machen.

Zusammenfassend lässt sich eine enge Kopplung der Bewegung beider Hände erwarten, wenn auf Höhe des Rückenmarks aussprossende ipsilaterale Bahnen vorliegen (Hypothese II). Bei Willkürbewegungen sowohl der rechten als auch der linken Hand sollten Spiegelbewegungen zu beobachten sein.

Die Hypothese der ipsilateralen Bahnen (Hypothese I und III) bzw. der bilateralen kortikalen Aktivität (IV) lässt eine weniger enge Kopplung der beiden Hände zu.

Die Disinhibitionshypothese (Hypothese I) und die Hypothese der neuen kortikospinalen Bahnen (Hypothese III) beschreiben Spiegelaktivität in der gesunden Hand bei Willkürbewegung der kranken Hand. Dabei wird in Hypothese I von einer Impulsleitung in vorbestehenden ipsilateralen Bahnen ausgegangen, die durch eine Schädigung kontralateraler Strukturen (Balken) „enthemmt“ wird. Hypothese III spricht für eine Impulsleitung in de novo gebildeten ipsilateralen Bahnen, die sich vom geschädigten Cortex zum ipsilateralen Rückenmark ausbilden. Dies scheint aufgrund der Plastizität des noch nicht vollständig entwickelten Zentralnervensystems möglich.

Im Gegensatz hierzu lassen Hypothese II (Aussprossen bereits bestehender ipsilateraler Bahnen auf Höhe des Rückenmarks) und Hypothese IV (Bilaterale kortikale Aktivität) die Spiegelaktivität in der kranken Hand vermuten.

Eine genauere Beschreibung der Phänomenologie von Spiegelbewegungen kann dazu beitragen, die oben aufgeführten anatomischen Hypothesen zu überprüfen.

2 FRAGESTELLUNG

Mit den hier vorgestellten Untersuchungen soll die Phänomenologie der spiegelbildlichen Mitbewegungen bei Kindern und Jugendlichen mit infantiler Zerebralparese beschrieben werden.

In vorausgegangenen Studien über kongenitale Spiegelbewegungen war die Zahl der untersuchten Patienten mit infantiler Zerebralparese vergleichsweise klein und die Daten dieser Untersuchungen waren aufgrund unterschiedlicher Methoden schwer zu vergleichen. In der vorliegenden Studie sollte ein größeres Patientenkollektiv nach einheitlichen Kriterien untersucht und die Beobachtungen mit altersentsprechenden Normdaten verglichen werden.

Für eine umfassende Beurteilung des Phänomens bei infantiler Zerebralparese wurden sowohl Patienten mit rechts- und linksseitiger Hemiparese, Patienten mit infantiler Tetra- und Diparese sowie Patienten ohne feinmotorisches Defizit untersucht.

Die Studie soll einen Beitrag zur Frage des Zusammenhangs zwischen Ausmaß und Lokalisation der motorischen Beeinträchtigung und dem Auftreten von Spiegelaktivität leisten.

Insbesondere sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Haben Patienten mit infantilen Zerebralparesen mehr Spiegelaktivität als Normalpersonen?
2. Sind diese Spiegelbewegungen abhängig vom Schweregrad des neurologischen Befundes?
3. Treten Spiegelbewegungen nur bei intendierten Bewegungen der von einer Lähmung betroffenen Hand, also in der gesunden Hand auf?
4. Hat die Seite der Hirnschädigung Einfluß auf das Auftreten von Spiegelbewegungen?

3 METHODIK

Die Untersuchungen fanden in der Zeit von April bis Juni 1996 im Spastikerzentrum München statt. Hierbei handelt es sich um eine Einrichtung zur Schul- und Berufsausbildung von Kindern und Jugendlichen mit Schädigung des Zentralnervensystems.

Die Patienten erklärten ihr mündliches Einverständnis, nachdem sie über die Art der Untersuchung informiert und mit den Untersuchungsgeräten vertraut gemacht worden waren. Bei Minderjährigen hatten die Eltern nach Information über Art und Zweck der Untersuchungen schriftlich ihr Einverständnis erklärt.

3.1. Versuchsablauf

Die Untersuchung bestand aus vier Abschnitten: drei klinischen Teilen und einem apparativen Teil. Zunächst wurde die Handpräferenz ermittelt, danach ein Handfunktionstest zur Prüfung der Feinmotorik durchgeführt sowie eine klinische Untersuchung zur Einschätzung der Spiegelbewegungen vorgenommen.

Zuletzt wurde in einem apparativen Test die Griffkraft beider Hände im Präzisionsgriff untersucht.

3.1.1. Handpräferenz

Zur Ermittlung der Handpräferenz bedienten wir uns des Händigkeitstests von Salmaso & Longoni (1985). Die Patienten sollten angeben, mit welcher Hand sie verschiedene Tätigkeiten wie Werfen, Kämmen und Zähneputzen bevorzugt ausführten. Die Vorschulkinder wurden dabei aufgefordert, die Tätigkeiten pantomimisch vorzuführen. Insgesamt wurden 10 Alltagsaktivitäten beurteilt.

Tätigkeit:	ausführende Hand:	
	Links	Rechts
1. Werfen
2. Schneiden (Schere)
3. Zähne putzen
4. Schneiden (Messer)
5. Löffel
6. Streichholz anzünden
7. Kämmen
8. Hammer
9. Schraubenzieher
10. Faden in Nadel einfädeln

Tabelle 2: Händigkeitstest von Salmaso & Longoni (1985)

Wurden die Aufgaben mit beiden Händen gleichermaßen durchgeführt, so zählte diese Angabe sowohl für die rechte als auch für die linke Seite.

Aus den Angaben wurde ein Lateralitätsquotient LQ errechnet:

$$LQ = \frac{\text{Angaben rechts} - \text{Angaben links}}{\text{Angaben rechts} + \text{Angaben links}} \times 100$$

Gleichung 1: Berechnung des Lateralitätsquotienten
 „Angaben“ = Anzahl der angegebenen Tätigkeiten auf der entsprechenden Seite

Der errechnete Wert bewegt sich zwischen LQ = 100 im Falle reiner Rechtshändigkeit und LQ = -100 im Falle reiner Linkshändigkeit. Für unsere Untersuchung werteten wir Lateralitätsquotienten LQ > +20 oder LQ < -20 als eindeutige Handpräferenz.

3.1.2. Ergotherapeutischer Handfunktionstest

Zur Überprüfung der Feinmotorik wurde ein Handfunktionstest der Ergotherapie-Abteilung des Spastikerzentrums verwendet (s.u.).

Dieser Test untersucht die feinmotorischen Fähigkeiten der Hand in 8 verschiedenen Funktionsaufgaben. Dabei wurden Faust-, Pinzetten- und Schlüsselgriff sowie isolierte Fingerbewegung und die Finger-Daumenopposition der Finger II bis V getestet.

Bewertet wurden die einzelnen Testaufgaben als gut durchführbare (Punktwert 1), eingeschränkt durchführbare (Punktwert 2) und nicht durchführbare (3) Bewegung. Somit konnte "8" als niedrigster Wert erreicht werden, entsprechend einer normalen Funktion der untersuchten Hand. Ergebnisse >8 wurden als pathologisch eingestuft (maximal 24 je Hand).

Handfunktionsprüfung		
	rechts	links
Faustgriff	_____	_____
Pinzettengriff	_____	_____
Schlüsselgriff	_____	_____
Isolierte Fingerbewegung Zeigefinger	_____	_____
Opposition: Daumen - Zeigefinger	_____	_____
Daumen - Mittelfinger	_____	_____
Daumen - Ringfinger	_____	_____
Daumen - kleiner Finger	_____	_____

Tabelle 3: Einzelaufgaben der Handfunktionsprüfung

3.1.3. Klinische Untersuchung auf Spiegelbewegungen

Zur klinischen Beurteilung der Spiegelbewegungen wurden vier einfache unimanuelle Bewegungssequenzen untersucht. Sie sollten seitengesondert erst mit der rechten, später mit der linken Hand durchgeführt werden. Während ein Untersucher Instruktionen erteilte und auf ihre Befolgung achtete, wurde von einem zweiten Untersucher auf unwillkürliche Mitbewegungen der gegenüberliegenden Hand des Probanden geachtet. Während der gesamten Untersuchung saßen sich Untersucher und Proband direkt gegenüber; der für die Bewertung zuständige zweite Untersucher saß seitlich dazu.

Die vier Aufgaben waren so ausgewählt worden, daß sie von gesunden Kindern ab etwa vier Jahren durchführbar waren und nach Angaben aus der Literatur und nach klinischer Erfahrung gut zur Untersuchung von Spiegelbewegungen geeignet waren.

1. Sequentielle Fingeropposition

Der Proband sollte beide Hände locker in Supinationsstellung auf die Oberschenkel legen und mit den Fingern II-V der rechten Hand jeweils einmal in dieser Reihenfolge an die Daumenkuppe derselben Hand tippen und anschließend in umgekehrter Reihenfolge. Der Proband wurde aufgefordert, den Bewegungsablauf so schnell wie möglich durchzuführen. Nach fünf Durchgängen wurde die Aufgabe mit der linken Hand wiederholt (Abbildung 3.1.1).

2. Fingerschnipsen

In oben beschriebener Ausgangshaltung wurde der rechte Zeigefinger flektiert und auf der Innenseite des gestreckten Daumens so aufgesetzt, daß sich die Form eines Ringes ergab. Dann wurde der Zeigefinger acht mal kräftig vom Daumen weggeschnipst, wobei die Finger III-V der ausführenden Hand ausgestreckt blieben.

Im Anschluß wurde die Übung mit der linken Hand wiederholt (Abbildung 3.1.2).

3. Faustöffnen

Bei dieser Aufgabe lagen die Hände flach in Pronationsstellung auf den Oberschenkeln, wobei fünf mal die Hand zur Faust geschlossen und soweit wie möglich geöffnet wurde, bis alle Finger der entsprechenden Hand maximal weit gespreizt waren. Nach Durchführung mit der rechten Hand wurde die Aufgabe links durchgeführt (Abbildung 3.1.3).

4. Finger spreizen gegen Kraft

Der Untersucher hielt Zeige- und Mittelfinger der ausgestreckten rechten Hand des Patienten zusammen, wobei dieser gleichzeitig beide Finger maximal auseinanderspreizen sollte. Danach wurde die Aufgabe noch zweimal wiederholt und gleiches mit der linken Hand durchgeführt. Bei dieser Aufgabe befanden sich die Hände ebenfalls in Pronationsstellung (Abbildung 3.1.4).

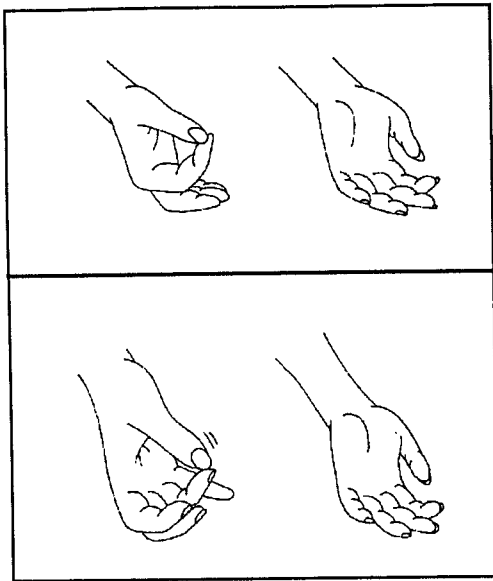


Abb. 3.1.1 Sequentielle Fingeropposition

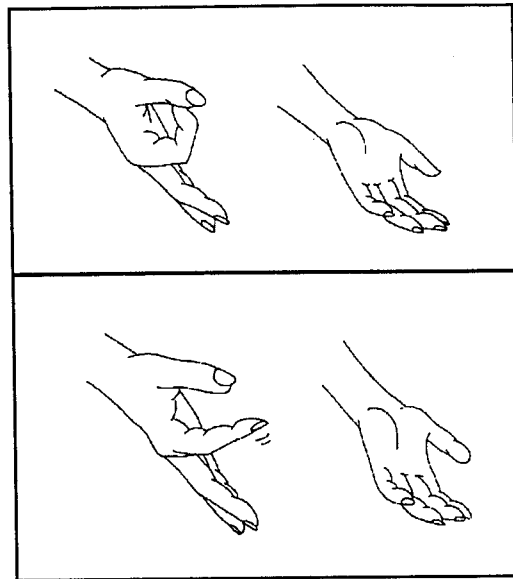


Abb. 3.1.2 Fingerschnipsen

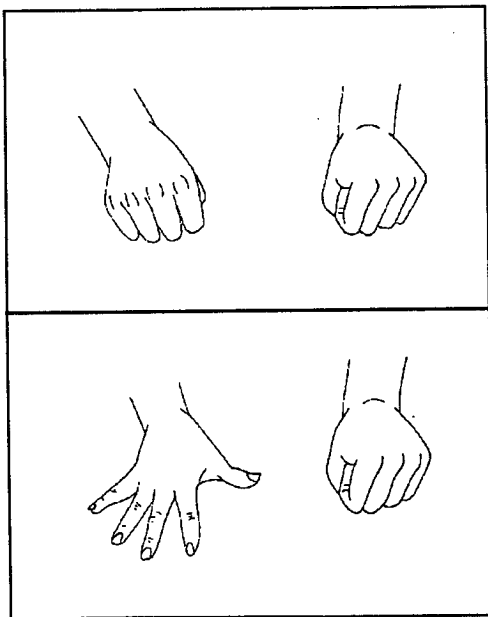


Abb. 3.1.3 Faustöffnen

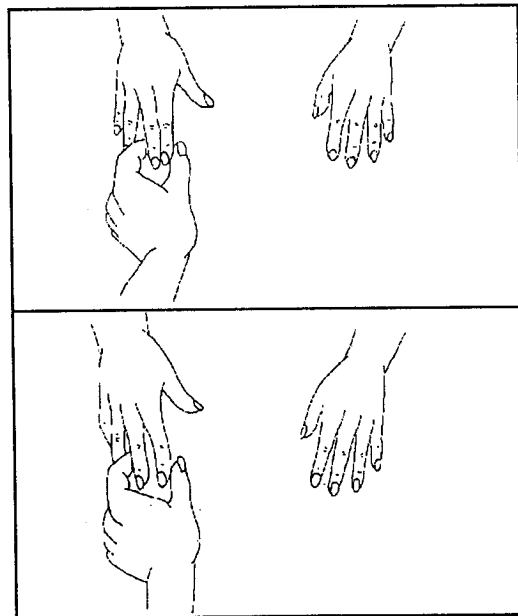


Abb. 3.1.4 Fingerspreizen gegen Widerstand

Die Untersuchung wurde mit einem dreistufigen Bewertungssystem beurteilt (s. Tabelle 3.2), wobei als Spiegelbewegungen nur diejenigen Mitbewegungen gewertet wurden, die simultan zur Willkürbewegung in den homologen Muskeln der jeweils inaktiven Hand auftraten.

0: Keine Mitbewegungen homologer Muskeln der Gegenseite

1: Leichte bis mittelgradige, inkonstante Mitbewegungen homologer Muskeln der Gegenseite

2: Starke, über längere Zeit bestehende Mitbewegungen homologer Muskeln der Gegenseite

Tabelle 3.2: Skala zur klinischen Quantifizierung von spiegelbildlichen Mitbewegungen bei unimanueller Willküraktivität

Bei jeweils 4 Aufgaben pro Hand errechnete sich für jede Hand ein möglicher individueller Höchstwert von 8 Punkten. Der Ausprägungsgrad der klinischen Mitbewegungen insgesamt wurde in Prozent umgerechnet.

Punktwert 0: P= 0% klinische Mitbewegungen

Punktwert 1: P=50% klinische Mitbewegungen

Punktwert 2: P=100% klinische Mitbewegungen

Es wurden beide Hände einzeln nacheinander bewertet, d.h. bei Willkürbewegungen der rechten Hand wurden unwillkürliche Mitbewegungen der linken Hand gewertet und umgekehrt. Es ergaben sich für die klinische Untersuchung für jeden Patienten 8 Prozentwerte (Mitbewegungen der linken Hand: Pl 1, Pl 2, Pl 3, Pl 4; Mitbewegungen der rechten Hand: Pr 1, Pr 2, Pr 3, Pr 4). Die Ergebnisse der vier Versuche wurden jeweils zu einem Mittelwert zusammengefaßt (P_{ges}). Der Ausprägungsgrad der klinischen Mitbewegungen links (Pl_{ges}) und rechts (Pr_{ges}) wurde entsprechend berechnet:

$$Pl_{ges} = \frac{Pl\ 1 + Pl\ 2 + Pl\ 3 + Pl\ 4}{4}$$

$$Pr_{ges} = \frac{Pr\ 1 + Pr\ 2 + Pr\ 3 + Pr\ 4}{4}$$

Gleichung 2: Mittelwert der klinischen Versuche

Der errechnete Wert gibt den prozentualen Anteil der individuellen klinischen Mitbewegungen vom maximal erreichbaren Wert an. Bei $P_{ges} = 0\%$ wurden keine Spiegelbewegungen beobachtet, bei $P_{ges} = 100\%$ wurden in allen Aufgaben maximale Mitbewegungen beobachtet.

Dabei konnte ein Werteausfall berücksichtigt werden, beispielsweise wenn ein Patient nicht in der Lage war, die entsprechende Aufgabe auszuführen. Die Summe der Einzelwerte wurde dann durch die Anzahl der tatsächlich durchgeführten Versuche geteilt.

3.1.4. Apparative Messungen

Die apparativen Messungen wurden mit einem von Hermsdörfer, Mai und Marquardt (1992) entwickelten System durchgeführt, das aus zwei 15 Gramm schweren, zylinderförmigen Kraftaufnehmern von jeweils 20 mm Höhe und Durchmesser bestand, die über Kabel mit einem Zweikanal-Meßverstärker verbunden waren. Die Kraftaufnehmer wurden im Präzisionsgriff, also zwischen Daumen und Zeigefinger, gehalten. Dabei wurden die auf die Kraftaufnehmer ausgeübten isometrischen Fingerkräfte als Spannungssignal von 0 bis 10 Volt weitergegeben und mit einer Analog-Digital-Wandlerkarte in einem Personal Computer digitalisiert.

Der Meßbereich umfaßte 0-100 Newton mit einer Meßgenauigkeit von ± 0.1 Newton, die Fingerkräfte wurden mit einer zeitlichen Auflösung von 100 Hertz registriert.

Es wurden alle 10 msec Meßwerte aufgezeichnet, wodurch einerseits sehr diskrete Fingerbewegungen, als auch deren Verläufe mit hoher Genauigkeit aufgezeichnet werden konnten. Mit dieser Methode ließen sich die Kraftverläufe von rechter und linker Hand getrennt aufzeichnen.

Die Datenaufzeichnung und -auswertung erfolgte mit einer speziellen, von Hermsdörfer et al. entwickelten Software (Hermsdörfer et al. 1992).

Die Software ermöglichte zudem die Einstellung der wichtigsten Aufgabenparameter, wie z.B. die Dauer des entsprechenden Versuchs oder den Einsatz und die Art einer optischen Rückmeldung. Diese wurde durch einen auf dem Monitor dargestellten vertikalen Balken visualisiert, wobei die Höhe des Balkens der jeweils ausgeübten Fingerkraft entsprach. Zusätzlich konnten Zielmarkierungen gesetzt werden, auf die der Balken vom Patienten durch entsprechenden Krafteinsatz eingestellt werden sollte. Abbildung 3.2. stellt die Versuchsanordnung exemplarisch dar.

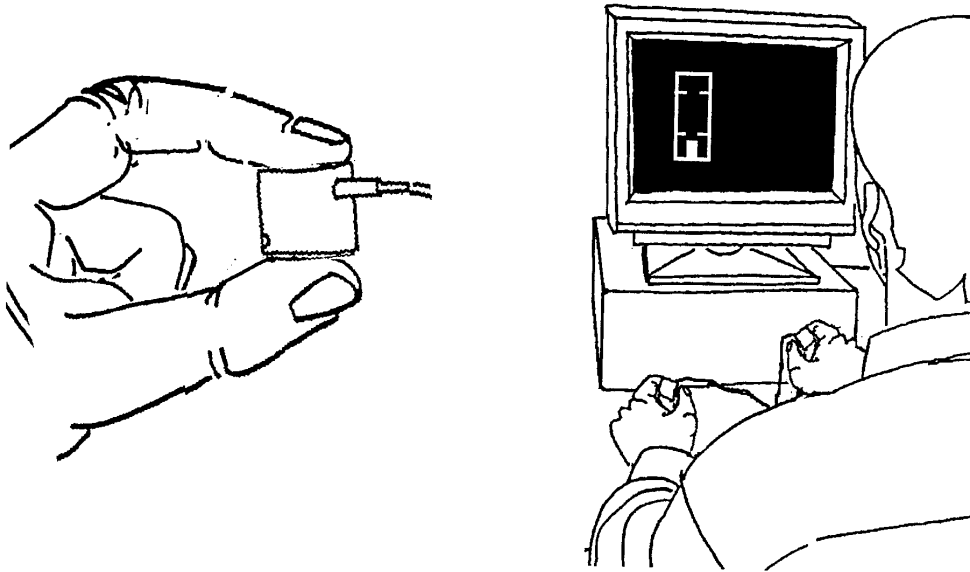


Abbildung 3.2: Versuchsaufbau

Der Proband saß während des gesamten Untersuchungsvorgangs direkt vor dem Monitor, der im Abstand von 50 bis 70 Zentimeter (vor der Gesichtsebene) in Augenhöhe aufgestellt war. Bei der Datenregistrierung sollten die Hände nicht auf der Unterlage aufliegen. Die Kraftaufnehmer wurden während der gesamten Datenregistrierung im Präzisionsgriff zwischen Daumen und Zeigefinger in ca. 30 Zentimeter Entfernung vom Körper gehalten.

Die Untersuchung bestand aus zwei Vorversuchen zur Gewöhnung an die Apparatur und zur individuellen Anpassung der Versuchsparameter. Danach folgte der Hauptversuch aus 8 Einzelaufgaben. Die Aufgaben waren so konzipiert, daß einerseits möglichst viele Bewegungsmuster erfaßt werden konnten, andererseits die Belastung möglichst gering war.

Die Aufgaben wurden jeweils in einer einzigen Sitzung durchgeführt, die einschließlich Instruktionen zwischen 20 und 30 Minuten dauerte. Falls erforderlich, konnten Pausen genommen werden.

Im ersten Vorversuch sollte die Fingerkraft konstant gehalten werden, im zweiten wurde die Maximalkraft ermittelt.

Anschließend wurden in den Hauptversuchen langsame und schnelle unimanuelle Kraftwechsel im Präzisionsgriff durchgeführt, wobei der Proband aufgefordert wurde, mit einer Hand den Kraftaufnehmer zunächst mit langsamer Frequenz (1/sec) und anschließend so schnell wie möglich zu drücken. Die andere Hand sollte den Kraftauf-

nehmer halten. Dies wurde jeweils wiederholt. Damit bestand die Möglichkeit, in der jeweils inaktiven Hand unwillkürliche Spontanaktivität aufzuzeichnen.

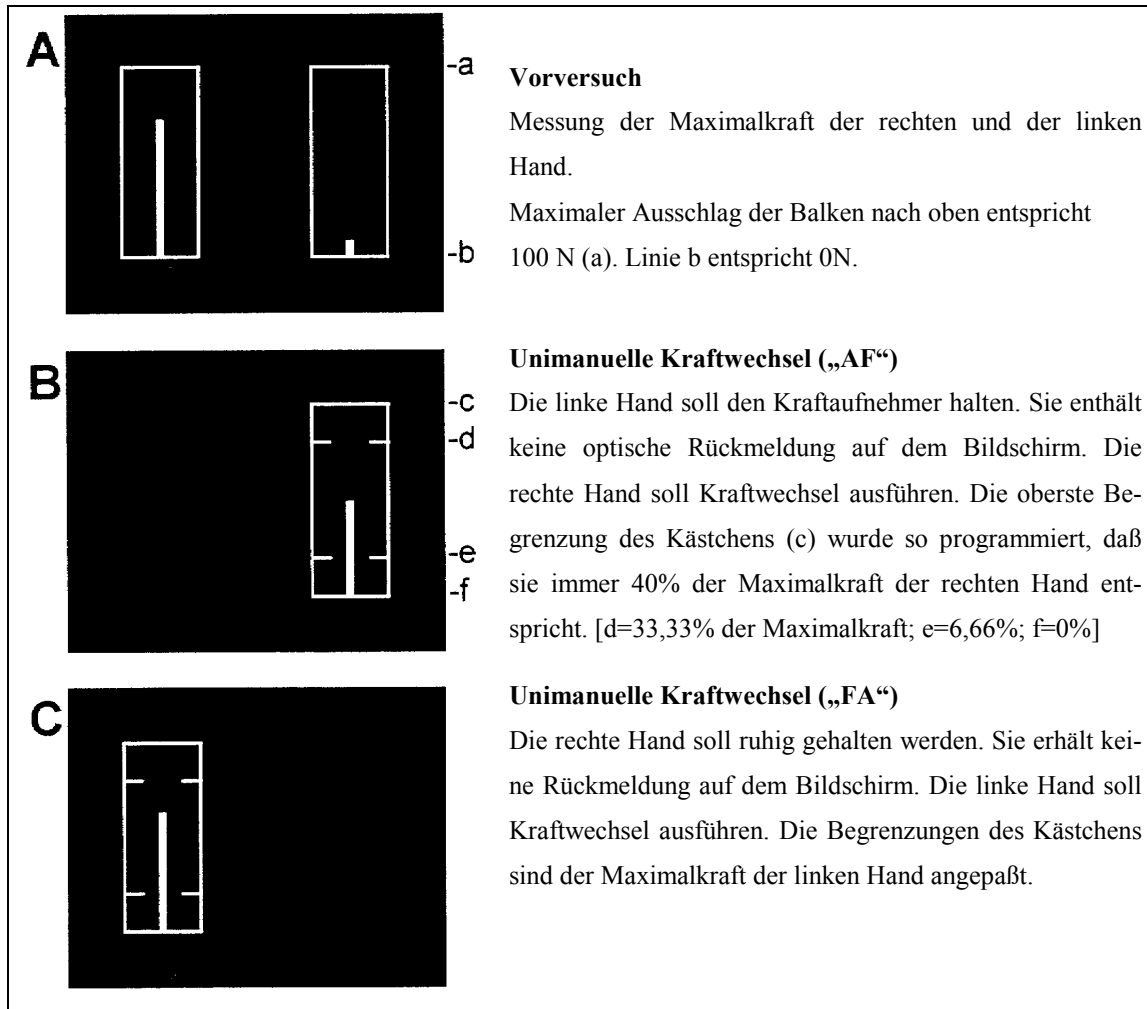


Abbildung 3.3: Optische Rückmeldung der einzelnen Versuche auf dem Bildschirm (modifiziert nach Esslinger 2000)

1. Vorversuch:

Der Proband wurde aufgefordert, die Kraftaufnehmer 10 Sekunden lang ruhig in der Hand zu halten, ohne Druck auszuüben. Auf dem Monitor war während dieses Versuches kein visuelles Feedback vorhanden. Dieser Versuch diente zur Gewöhnung der Probanden an die Versuchsaapparatur und dem Erkennen unwillkürlicher Bewegungen (z.B. Tremor).

2. Vorversuch:

Der Proband sollte ab Erscheinen des visuellen Feedbacks auf dem Bildschirm erst mit der rechten, dann mit der linken Hand den jeweiligen Kraftaufnehmer je drei mal so

kräftig wie möglich drücken. Auf dem Monitor war dann jeweils ein senkrechter Balken in einem Kästchen zu sehen, der seine Länge entsprechend der ausgeübten Kraft veränderte (s. Abbildung 3.3).

Die maximal erreichbare Kraft betrug 100 Newton. Der Hauptversuch wurde anschließend auf die individuell erzielten Maximalkräfte durch Auswahl der entsprechenden Steuerungsdateien abgestimmt (Kraftbereich 0-100 Newton, abgerundet in 2-N-Schritten im Kraftbereich 0-20N, bzw. 5-N-Schritten im Kraftbereich 21-100N).

Zu Beginn der Untersuchung wurden die Teilnehmer mit dem Gerät, dem Monitor und den Kraftaufnehmern vertraut gemacht. Die Patienten saßen während der gesamten Untersuchung in angenehmer Haltung und mit guter Sicht auf den Monitor (s. Abbildung 3.2, S. 33). Dabei sollten die Kraftaufnehmer zwischen Daumen und Zeigefinger gehalten und die restlichen Finger flektiert gehalten werden. Der Untersucher achtete darauf, daß die Hände während der Untersuchung nicht auf der Unterlage auflagen und in ca. 30 cm Abstand vom Körper gehalten wurden. Die Kabel der Kraftaufnehmer sollten sich dabei nicht berühren. Die Instruktionen beschränkten sich auf die Willkürbewegung. Um einer Unterdrückung der gemessenen unwillkürlichen Mitbewegungen vorzubeugen, wurde das Untersuchungsziel nicht genannt.

Zur Vermeidung systematischer Fehler ließen wir von den nacheinander untersuchten Patienten einen mit der linken, einen mit der rechten Hand beginnen (Patienten mit gerader Kodierungsnummer links, ungerade: rechts).

3. Im Hauptversuch (AF: unimanuelle Kraftwechsel der rechten Hand; FA: der linken Hand) sollten mit einer Hand regelmäßige Kraftwechsel so ausgeführt werden, daß zwei auf dem Monitor präsentierte Markierungen von dem angezeigten Balken nicht unter bzw. überschritten wurden. Der Balken befand sich zwischen der unteren Markierung, die 6,66% der jeweiligen Maximalkraft entsprach, und der oberen Markierung bei 33,3% der Maximalkraft (s. Abbildung 3.4). Währenddessen sollte die andere Hand den Kraftaufnehmer locker im Präzisionsgriff halten. Die Kraftwechsel wurden zunächst mit niedriger (1/sec), dann mit hoher Frequenz durchgeführt und anschließend wiederholt. Danach wurde der Versuch mit der anderen Hand durchgeführt. Die Versuchsdauer betrug je 15 Sekunden.

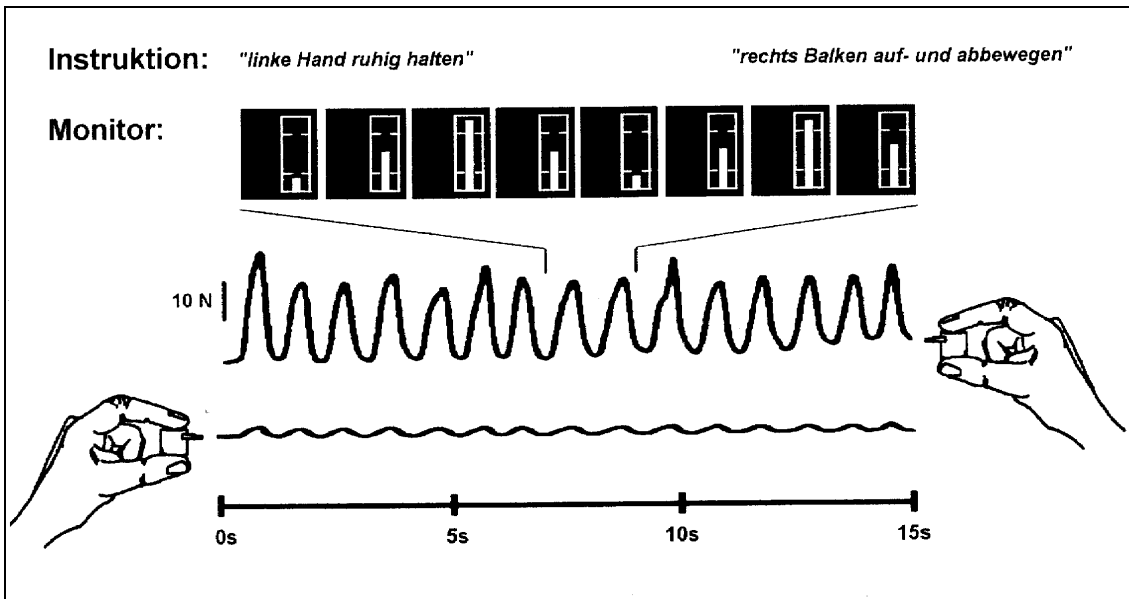


Abbildung 3.4: Beispiel des Versuchsablaufes „Langsame unimanuelle Kraftwechsel“ (Versuch „AF^{cs}“) Die rechte Hand führt langsame Kraftwechsel aus, während die linke Hand ruhig gehalten werden soll. Es zeigen sich an der linken Hand unwillkürliche spiegelbildliche Mitbewegungen (aus Esslinger 2000).

Die gemessenen Daten wurden für beide Hände getrennt aufgezeichnet.

Tabelle 3.3 zeigt die Abfolge der Teilaufgaben beim Hauptversuch.

Willkürliche Kraftwechsel	Langsam	Schnell
links	Versuch 1 (FA01)	Versuch 2 (FA02)
links	Versuch 3 (FA03)	Versuch 4 (FA04)
rechts	Versuch 5 (AF01)	Versuch 6 (AF02)
rechts	Versuch 7 (AF03)	Versuch 8 (AF04)

Tabelle 3.3: Abfolge der Teilaufgaben beim Hauptversuch zur apparativen Messung von Spiegelbewegungen bei einseitigen willkürlichen Kraftwechseln (hier Beginn mit linksseitig ausgeführten Kraftwechseln, in Klammern interner Code).

Die meisten Patienten konnten pro Hand jeweils zwei schnelle und zwei langsame Versuche durchhalten. Die größte Schwierigkeit bestand für einige Patienten darin, die vorgegebene Frequenz 1/sec durchzuhalten. Diese Patienten verfielen wiederholt unwillkürlich in die Maximalfrequenz.

Wenige Patienten waren nicht in der Lage, die langsamen Versuche regelmäßig durchzuführen, konnten jedoch die Versuche mit individueller Maximalfrequenz durchführen. Somit ergaben sich lediglich für die schnellen Versuche vergleichbare Werte, da nur die Instruktion „so schnell wie möglich“ von allen Probanden umgesetzt werden konnte.

Wir beschränkten uns daher auf die Auswertung der schnellen Versuche, die von allen Probanden durchgeführt worden waren und vergleichbare Daten boten. Diese Auswertestrategie erschien auch deshalb günstig, da Spiegelbewegungen bevorzugt bei angestrengter Muskelkontraktion, repetitiven Fingerbewegungen und unter Ermüdung auftreten sollen (Durwen et al. 1997).

3.1.4.1. Berechnung des sogenannten Spiegelquotienten

Abbildung 3.5 zeigt einen exemplarischen Kraftverlauf über eine Versuchsdauer von 15 Sekunden. Die Instruktion lautete, die rechte Hand (untere Spur) ruhig zu halten, während die linke Hand (obere Spur) Kraftwechsel ausführt. In diesem Beispiel einer Normalperson (Esslinger 2000) sind unwillkürliche Mitbewegungen der rechten Hand zu erkennen, die zwar von geringer Amplitude sind, aber symmetrisch zur Willkürhand verlaufen.

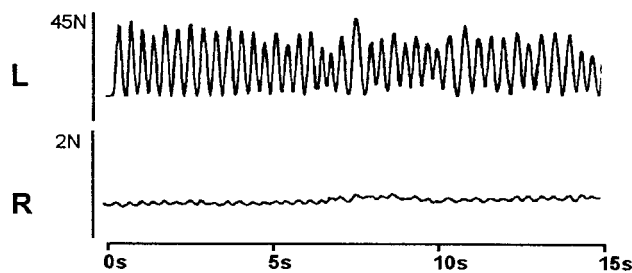


Abbildung 3.5: Fingerkräfte zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand (obere Kurven) und begleitende Aktivität der rechten Hand in einem Versuch mit schnellen willkürlichen Kraftwechseln links.

Um den Einfluß von Zufallsfehlern auf die Ergebnisse möglichst gering zu halten (s. auch Mai & Marquardt 1995), wurden die gespeicherten Rohdaten vor der Weiterbearbeitung gefiltert (Kernschätzer mit einer Bandbreite von 90 msec, vgl. Marquardt & Mai 1994).

Ausgewertet wurden jeweils die letzten 12 Sekunden eines Versuchs, um anfängliche Unsicherheiten in der Ausführung der Aufgaben auszuschließen.

Für die Daten der Normalpersonen, die in einer parallel zu dieser Arbeit durchgeführten Studie untersucht wurden, und die Patienten mit Zerebralparese wurde eine spezielle Auswerte-Prozedur entwickelt (Esslinger 2000). Dabei wurden Frequenz und Amplitude sowie die lokalen Minima und Maxima der Kraftkurven beider Hände bestimmt und nach zeitlichen Übereinstimmungen gesucht. Das Prinzip des Auswerteprogramms ist in Abbildung 3.6, S. 39 graphisch dargestellt.

Die Stärke der Korrespondenzen wurde anhand eines "Spiegelquotienten" (SQ) beurteilt, errechnet aus dem Verhältnis der Kraftamplitudendifferenzen zwischen Minimum und folgendem Maximum der "Spiegelhand" und den Amplituden der Willkürhand. Um linke und rechte Hand trotz unterschiedlicher Kraft miteinander vergleichen zu können, erfolgte eine Skalierung auf die Maximalkraft der entsprechenden Hand (vgl. Abbildung 3.4, S. 36).

Als Kennwert der Spiegelaktivität diente der aus den SQ-Werten der entsprechenden Versuche errechnete Median.

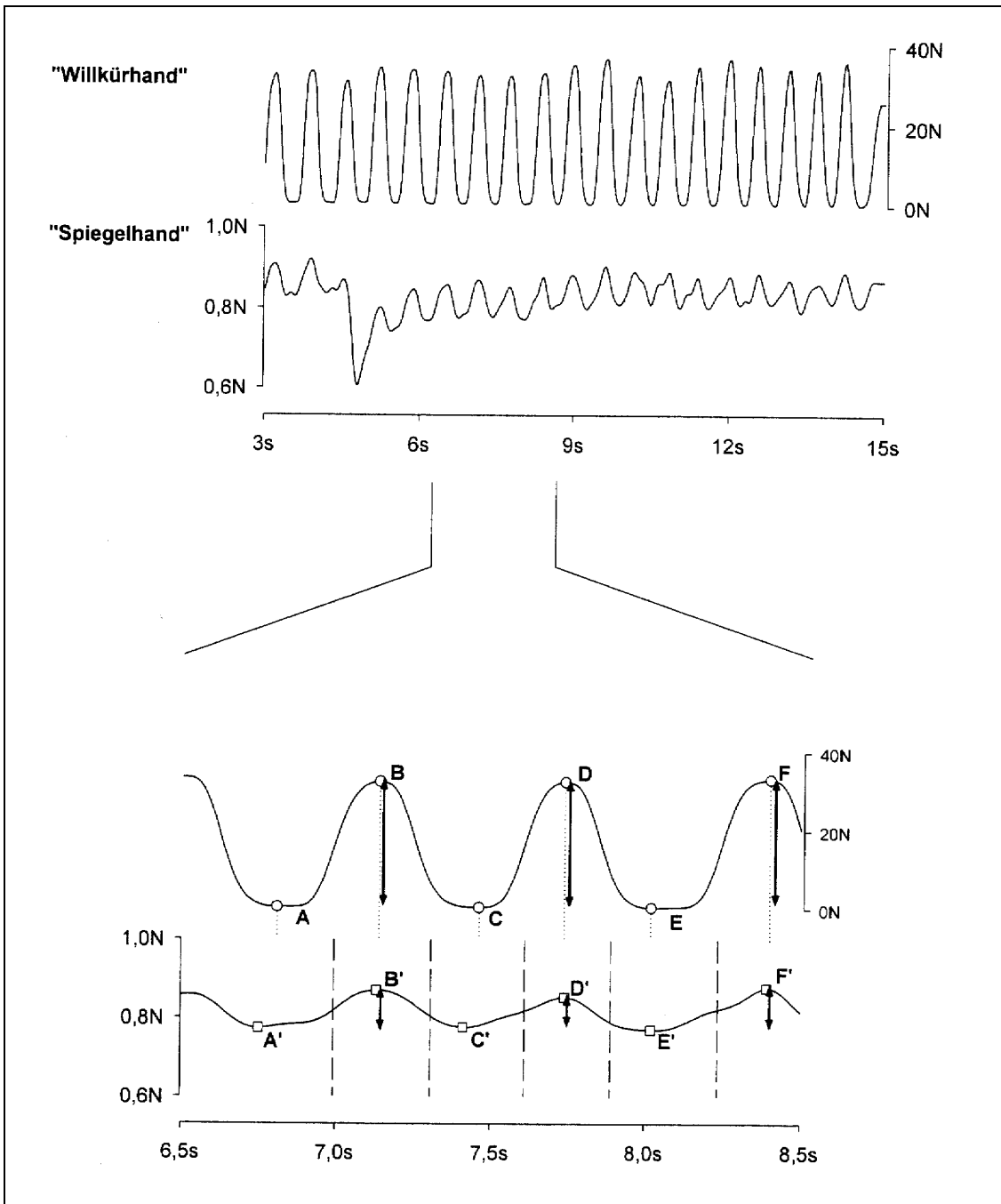


Abbildung 3.6: Darstellung der Methodik zur Ermittlung der Spiegelquotienten: die Auswertung beruht auf der Quotientenbildung zwischen den Amplituden der Extrempunkte beider Hände (Esslinger 2000).

In dieser Abbildung entsprechen die oberen Kurven dem Kraftverlauf der Willkürhand, die unteren dem der Spiegelhand. Im vergrößerten Ausschnitt (unteres Schaubild) sind die Minima (A,C,E) und die Maxima (B,D,F) der Willkürhand dargestellt. Die von der Willkürhand erzeugte Kraftkurve wurde in einzelne Zeitfenster aufgeteilt, die jeweils einem Extremwert zugeordnet waren. Vordere und hintere Begrenzung der Fenster wa-

ren so definiert, daß sie exakt der Hälfte des Intervalls zwischen einem Minimum und einem Maximum entsprechen. Konnte in solch einem Abschnitt ein korrespondierender Extremwert der inaktiven Hand identifiziert werden, so wurde dies als spiegelbildliche Mitbewegung gewertet.

In Abbildung 3.6 wurde z.B. Beispiel das Maximum B' der Spiegelhand im Bereich zwischen Mitte A-B bis Mitte B-C der Willkürhand gesucht. Waren zwei Extrempunkte mit gleicher Kraftamplitude im vorgegebenen Zeitfenster vorhanden, so wurde der Extrempunkt mit dem geringsten zeitlichen Abstand zum Extrempunkt der Willkürhand gewählt. Wenn in diesem Zeitfenster kein Extrempunkt detektiert wurde, bzw. selbiger genau auf der Grenze des Zeitfensters lag, wurde für dieses Zeitfenster keine Spiegelbewegung gewertet. Bei Berücksichtigung dieser Einschränkungen für die Berechnung der spiegelbildlichen Mitbewegungen ist das Auftreten von Artefakten nicht auszuschließen. Falls diese systematisch gegeneinander verschobenen Kraftkurven eine größere zeitliche Verschiebung zueinander aufweisen, als das vorgegebene Zeitfenster erlaubt, werden die entsprechenden Extrempunkte von dem Programm nicht mehr erkannt und somit nicht gewertet. Die Stärke der spiegelbildlichen Mitbewegung wurde als Spiegelquotient angegeben, der sich aus dem Verhältnis der entsprechenden Kraftamplituden (Minimum bis Maximum) von Spiegelhand (vertikale Pfeile unten) zu Willkürhand (vertikale Pfeile oben) errechnet. Zur Berechnung des Spiegelquotienten (SQ) der ersten Aufwärtsbewegung siehe Gleichung 3.

$$SQ = \frac{B-A}{B-A} \times \frac{Max.Kraft(Willkürhand)}{Max.Kraft(Spiegelhand)}$$

Gleichung 3: Ermittlung des Spiegelquotienten: der Spiegelquotient (SQ) errechnet sich aus dem Verhältnis der Kraftamplituden von Spiegelhand zu Willkürhand. Dabei wird die Stärke der Mitbewegung der Spiegelhand während einer aktiven Aufwärtsbewegung von einem Tief- zu einem Hochpunkt errechnet.

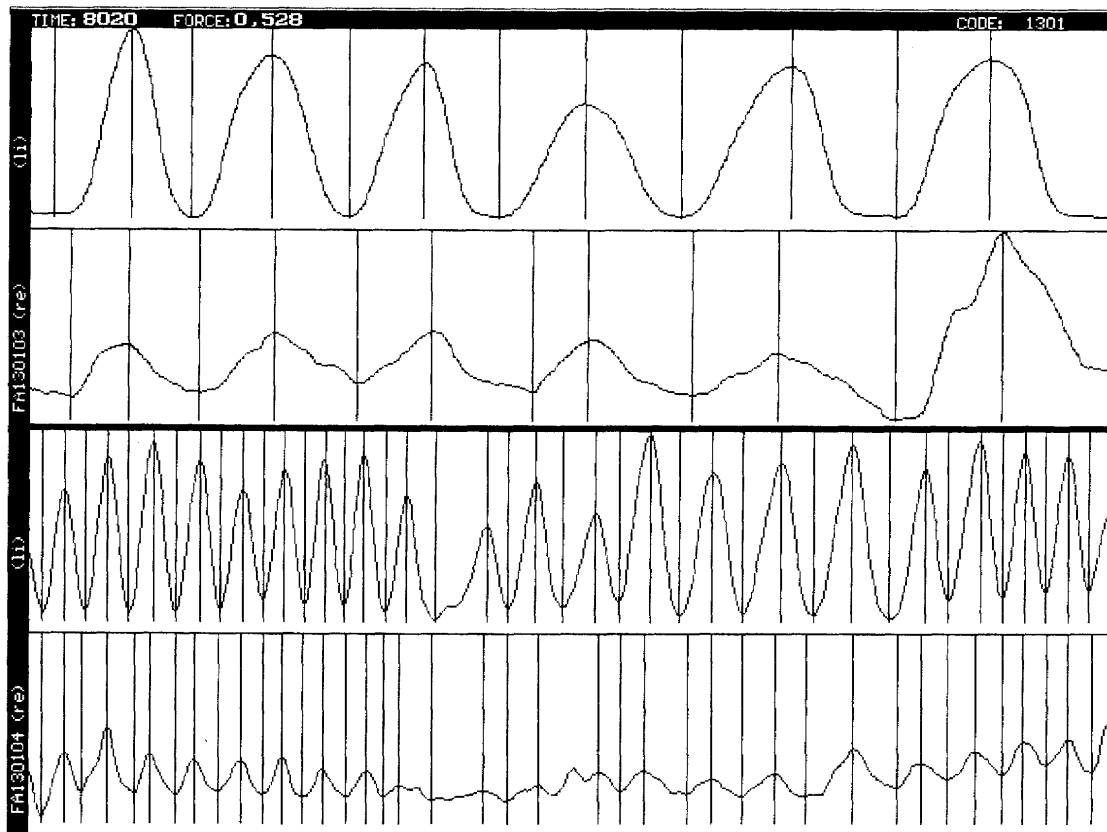


Abbildung 3.7: Graphische Darstellung des Auswerteprogramms

Die oberen Kurven stellen grafisch die Kraftverläufe während des langsamen Versuchs („FA03“) dar, die unteren Kurven zeigen die Kraftverläufe während des schnellen Versuchs („FA04“) bei Willkürbewegung der linken Hand. Das Auswerteprogramm detektiert die Hoch- und Tiefpunkte der Willkürhand (hier „li“) automatisch und berechnet dann die Entsprechungen in der Spiegelhand (hier „re“), s. Gleichung 3. Die senkrechten Balken markieren die berechneten Hoch- und Tiefpunkte (aus Esslinger 2000).

Als Kennwert der Spiegelaktivität diente der aus den SQ-Werten der entsprechenden Versuche errechnete Median. Abbildung 3.8 gibt einen Überblick über die errechneten Spiegelquotienten des Versuches „langsame unimanuelle Kraftwechsel“ (AF01, s. Abbildung 3.6, S. 39) und deren Streuung während des Versuches.

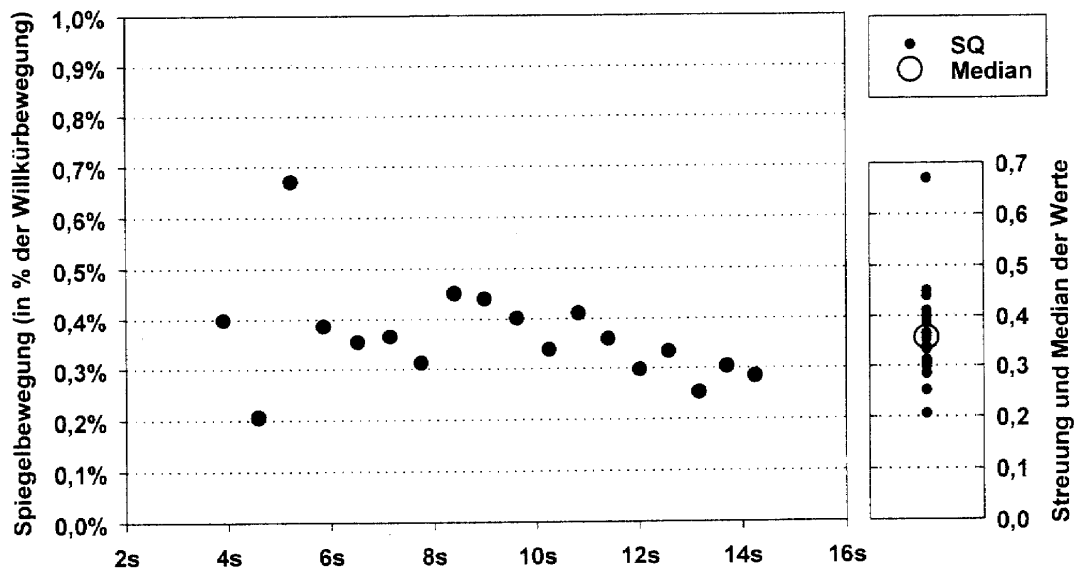


Abbildung 3.8: Exemplarische Übersicht über die Verteilung der Spiegelquotienten
 Dargestellt sind die berechneten Spiegelquotienten des Versuches „langsamer unimanueller Kraftwechsel“ (AF01) im Zeitraum von 3,01s bis 15,00s (s. Abbildung 3.6, S. 39). Im kleineren Diagramm rechts sind Median und Streuung der Spiegelquotienten angegeben.

Um den Einfluß von eventuellen Ausreißern gering zu halten, wurden die Daten der Ergebnisse der schnellen Versuche (AF02 und AF04, bzw. FA02 und FA04) zusammengefaßt. Es handelte sich hierbei um Wiederholungsversuche mit identischen Versuchsinstruktionen. Aus der Gesamtzahl der so ermittelten Spiegelquotienten wurde in der Folge der Median berechnet.

3.1.4.2. Berechnung allgemeiner Parameter

Das Auswerteprogramm ermittelte sowohl die entsprechenden Extrempunkte zwischen Willkürhand und Spiegelhand, als auch die zeitlichen Differenzen zwischen den Extremwerten der beiden Hände. Zeitverschiebungen zwischen beiden Händen konnten mit einer Auflösung von 10 ms berechnet werden. Zusätzlich wurde die durchschnittliche Frequenz der Kraftwechsel während eines Versuchs wie folgt berechnet:

$$\text{Frequenz} = (\text{Anzahl} - 1) \times \frac{1000}{t_2 - t_1}$$

Gleichung 4: Berechnung der Frequenz der Kraftwechsel (in Hz)

t1: Position des ersten Hochpunktes (in ms)

t2: Position des letzten Hochpunktes (in ms)

Anzahl: Anzahl der Hochpunkte während eines Versuches

3.2. Patienten und Kontrollpersonen

3.2.1. Kontrollstichprobe

Die Kontrollstichprobe war in einer zur vorliegenden Arbeit parallel durchgeführten Untersuchung charakterisiert worden (Esslinger 2000). Sie bestand aus insgesamt 133 neurologisch unauffälligen rechtshändigen Probanden (Händigkeit: $20 < LQ \leq 100$), 65 weiblichen und 68 männlichen Probanden im Alter von 4 Jahren 9 Monaten bis 40,0 Jahren. Die Probanden waren jeweils einer der Altersklassen „5“, „8“, „10“, „13“, „15“, „18“, „20“, „25“, „35“ und „45 Jahre“ zugeordnet.

Als Grundlage der Bewertung der Handmotorik der Patienten sind im folgenden die Leistungen der Normalpersonen gezeigt.

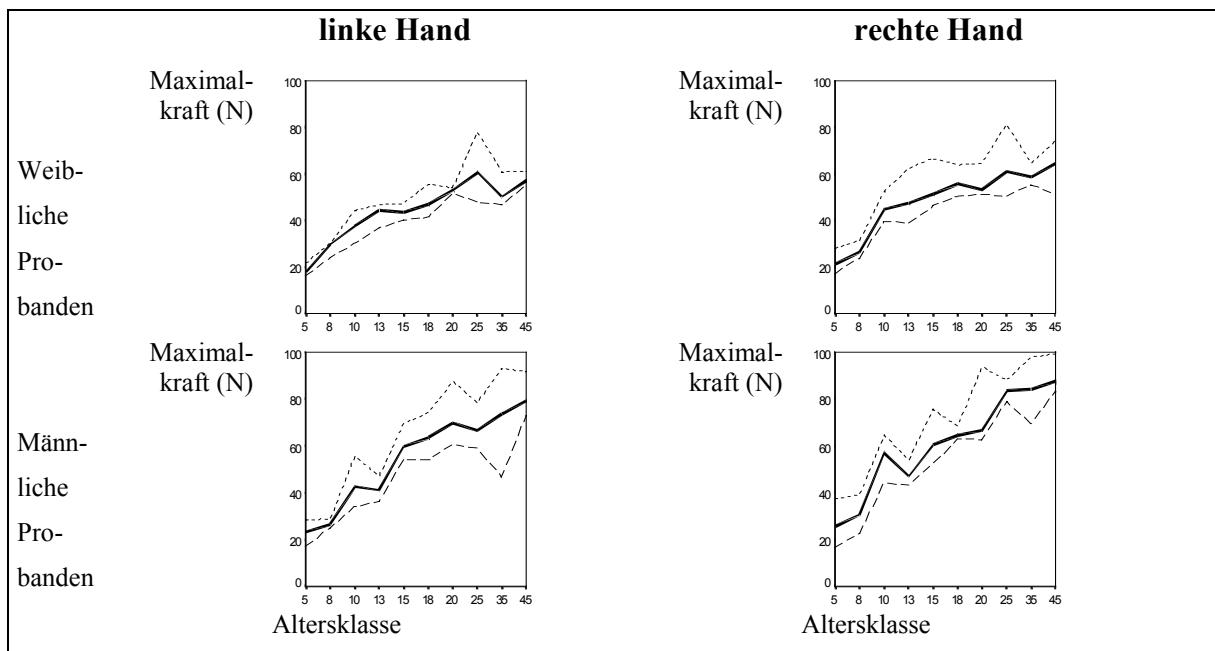


Abbildung 3.9: Maximalkraft der linken und rechten Hand aller Kontrollpersonen im Alter von 4 Jahren 9 Monaten bis zu 40 Jahren, aufgeteilt nach Geschlecht.

gepunktete Linie: 75% Perzentile der Maximalkraft
 dicke durchgezogene Linie: 50% Perzentile (Median)
 gestrichelte Linie: 25% Perzentile

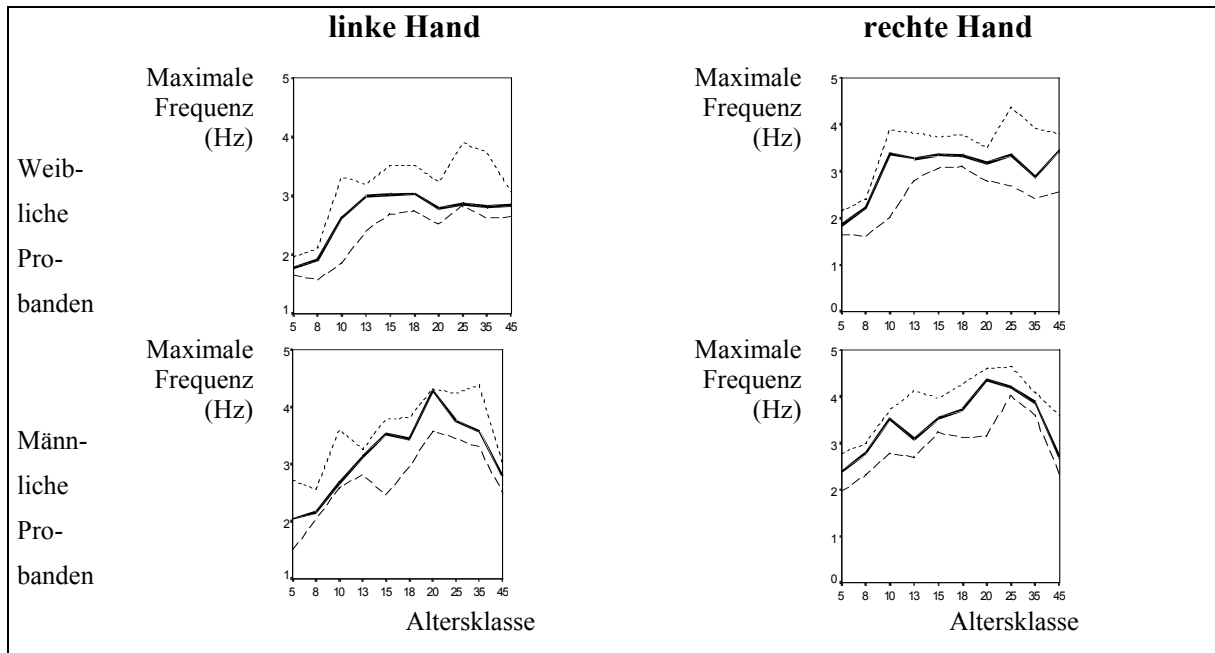


Abbildung 3.10: Maximale Frequenz der Kraftwechsel der rechten und linken Hand aller Kontrollpersonen im Alter von 4 Jahren 9 Monaten bis zu 40 Jahren aufgeteilt nach Geschlecht.

gepunktete Linie: 75% Perzentile der Maximalfrequenz der Kraftwechsel
 dicke durchgezogene Linie: 50% Perzentile (Median)
 gestrichelte Linie: 25% Perzentile

3.2.2. Patientenstichprobe

Insgesamt wurden 52 Patienten im Alter zwischen 6 und 41 Jahren, bei einem mittleren Alter von 16,1 Jahren (Tabelle 1 im Anhang) untersucht. Die Stichprobe setzte sich aus 39 männlichen und 13 weiblichen Patienten zusammen. Entsprechend der Aufteilung der Kontrollgruppe wurden die Kinder und Jugendlichen in Altersklassen aufgeteilt (siehe Tabelle 2 im Anhang).

Bei 3 Patienten war eine linksseitige Hemiparese, bei 4 Patienten eine rechtsseitige Hemiparese diagnostiziert worden. 5 Patienten hatten eine Diparese und 34 eine Tetraparese erlitten. Bei 6 Patienten bestand eine zerebrale Schädigung ohne feinmotorisches Defizit. Das Spektrum der vermuteten Ursachen reichte von perinatalen hypoxisch-ischämischen Hirnläsionen über perinatale Gehirnblutungen bis hin zu postpartalen Infektionen und Schädelhirn-Traumata. In vielen Fällen war die genaue Läsionsursache allerdings unbekannt, bzw. war eine beschriebene Frühgeburtlichkeit der einzige pathogenetische Hinweis (Einzelheiten im Anhang, Tabelle 1).

Aufgrund des Charakters des Spastikerzentrums als Ausbildungszentrum lagen in wenigen Fällen ausführliche und aktuelle neurologische Befunde und Angaben zur Ätiologie vor. Insbesondere fehlten die Ergebnisse von bildgebenden Untersuchungen.

Da der Zusammenhang zwischen Spiegelbewegungen und Lokalisation der zerebralen Schädigung von besonderem Interesse war und da die klinischen Angaben zur Seite der Hirnschädigung nicht ausreichend Auskunft gaben, wurde die Seite der Hirnschädigung aufgrund der Befunde der Untersuchung der Handmotorik festgelegt (s. unten).

3.2.2.1. Händigkeit der Patienten

Bei den Patienten handelte es sich in 18 Fällen um reine Rechtshänder (LQ = 100 %), in 10 Fällen um reine Linkshänder (LQ = -100 %), 15 Patienten bevorzugten überwiegend die rechte, 8 Patienten die linke Hand. Patient 29 war Ambidexter. (Vgl. Abbildung 3.11)

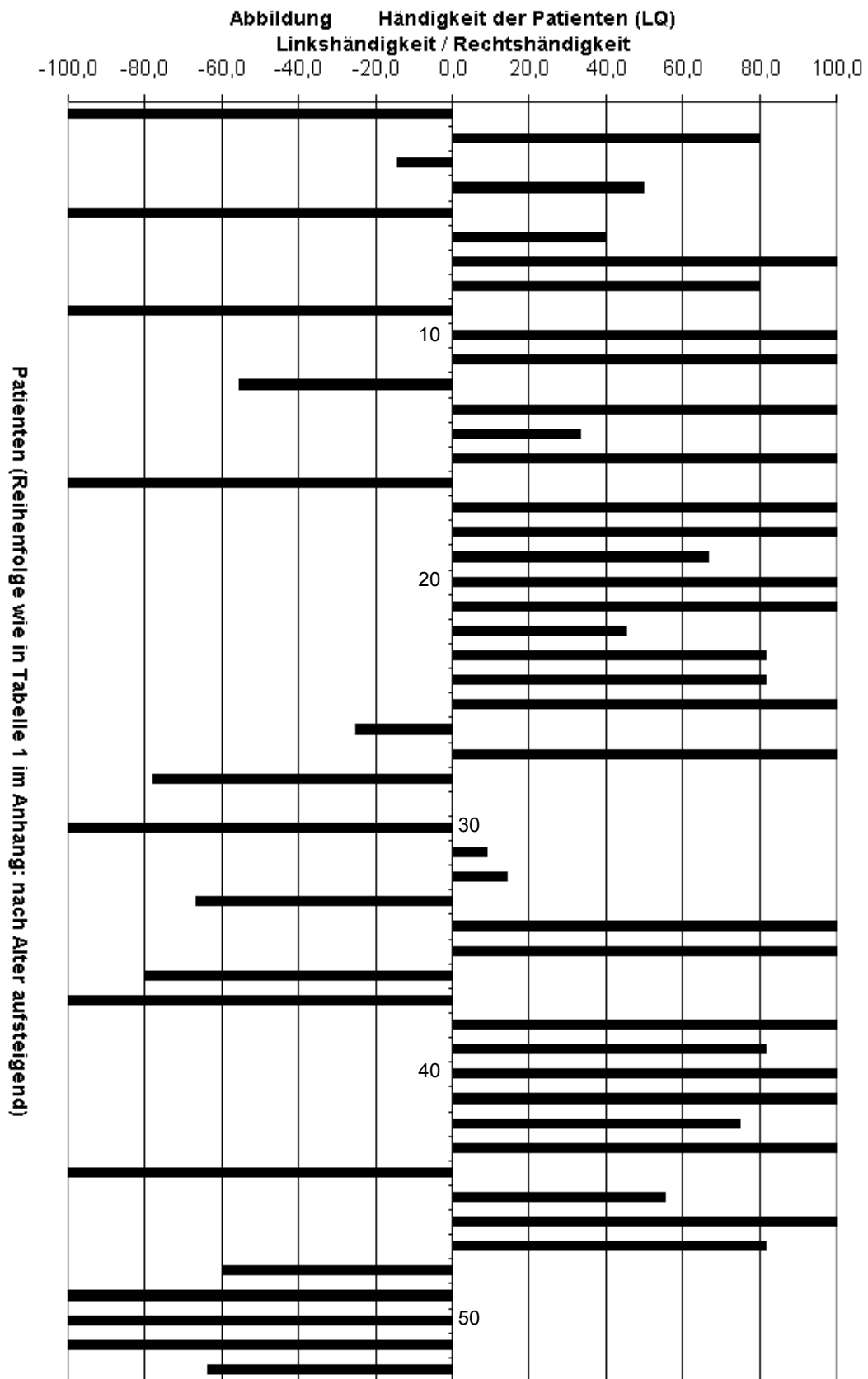


Abbildung 3.11: Händigkeit aller Patienten dargestellt als Lateralitätsquotient LQ im Wertebereich –100,0 (reiner Linkshändigkeit entsprechend) bis +100,0 (reiner Rechtshändigkeit entsprechend). Die Pati-

enten sind nach Alter aufsteigend geordnet (vgl. Tabelle 1 im Anhang). Für den Patienten 29 ergab sich der Wert „0“, daher stellt sich im Diagramm kein Balken dar.

3.2.2.2. Ergebnisse des Handfunktionstests der Patienten

Die Ergebnisse des ergotherapeutischen Handfunktionstests sind in Abbildung 3.12 dem Alter nach aufsteigend und getrennt nach der ausführenden Hand dargestellt. Ein Punktwert von "8" galt als normal. Die männlichen Probanden (n=39) erzielten mit der linken Hand Werte von 8 bis 22 Punkten (Mittelwert MW=10,1; Standardabweichung SD=3,7). Mit der rechten Hand erzielten sie Werte von 8 bis 19 Punkten (MW=9,8; SD=2,8). Bei den weiblichen Probanden (n=13) ergaben sich für die linke Hand Werte von 8 bis 13 Punkten (MW=9,2; SD=1,7). Mit der rechten Hand wurden Werte im Bereich von 8 bis 16 erzielt (MW=9,2; SD=2,4).

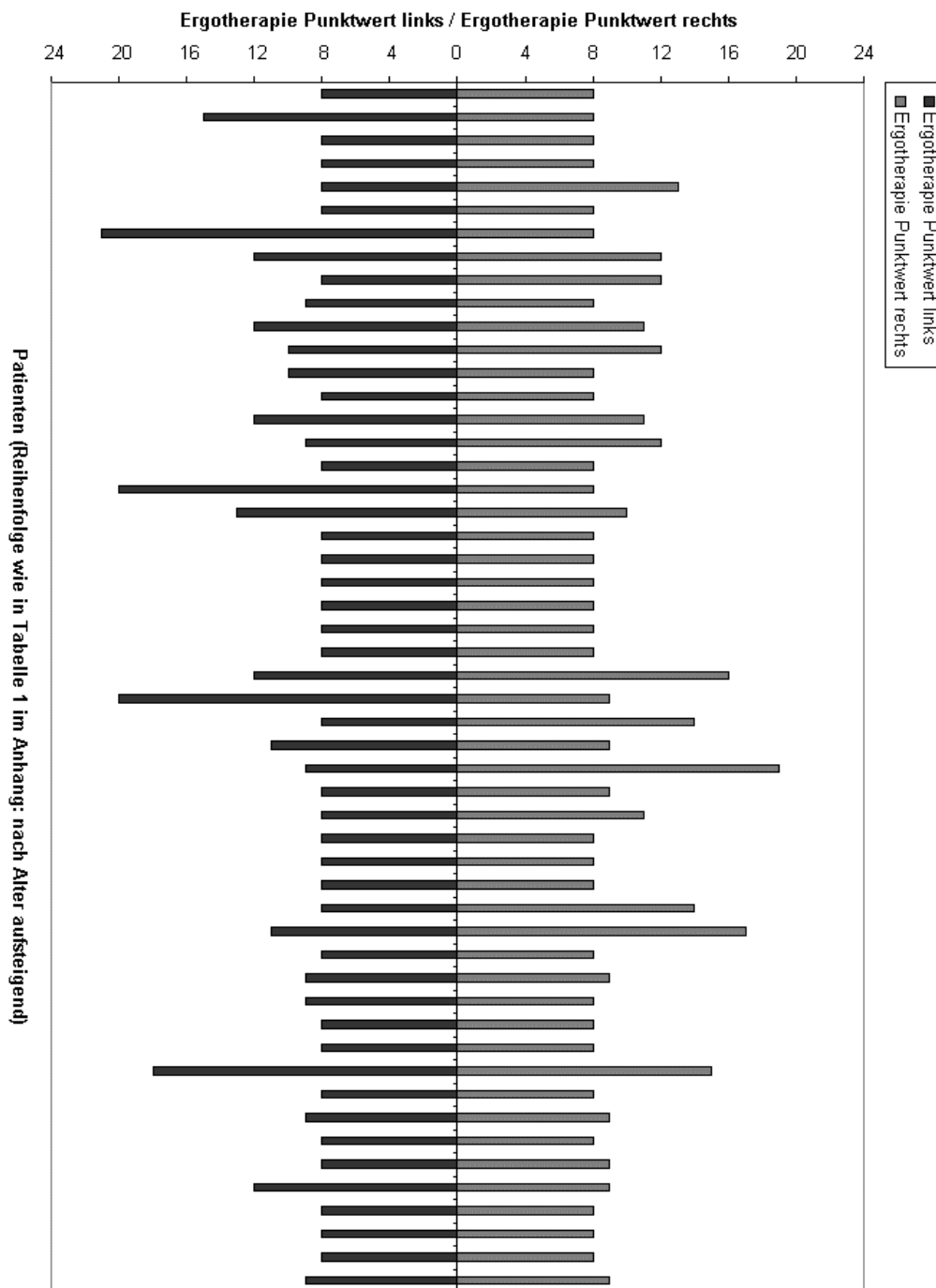


Abbildung 3.12: Ergebnisse des ergotherapeutischen Handfunktionstests der rechten (helle Balken) und der linken Hand (dunkle Balken) aller Patienten. Ein Punktwert von „8“ gilt als normale Handfunktion, Werte >8 werden als pathologisch gewertet. Die Patienten sind nach Alter aufsteigend geordnet (s. Tabelle 1 im Anhang).

3.2.2.3. Maximalkraft und Maximale Frequenz der Kraftwechsel der Patienten

Die erzielten Werte von Maximalkraft und Maximalfrequenz sind getrennt für jede Hand in Abbildung 3.13, S. 51 bzw. Abbildung 3.14, S. 53 dargestellt.

Zur Beurteilung der Leistungen der Patienten wurden die individuellen Werte mit dem Wertebereich der Kontrollen verglichen. Zur Festlegung dieses Normwertbereichs diente der jeweils kleinste und größte erzielte Wert in der jeweiligen Alters- und Geschlechtsgruppe der gesunden Kontrollen. Der dazwischen liegende Bereich wurde als Normwertbereich definiert.

Abbildung 3.13 zeigt, daß mehr als die Hälfte der Patienten unterhalb des Normwertbereichs der Maximalkraft lag. Dies war bei den Werten der linken Hand noch ausgeprägter zu beobachten als bei den Werten der rechten Hand.

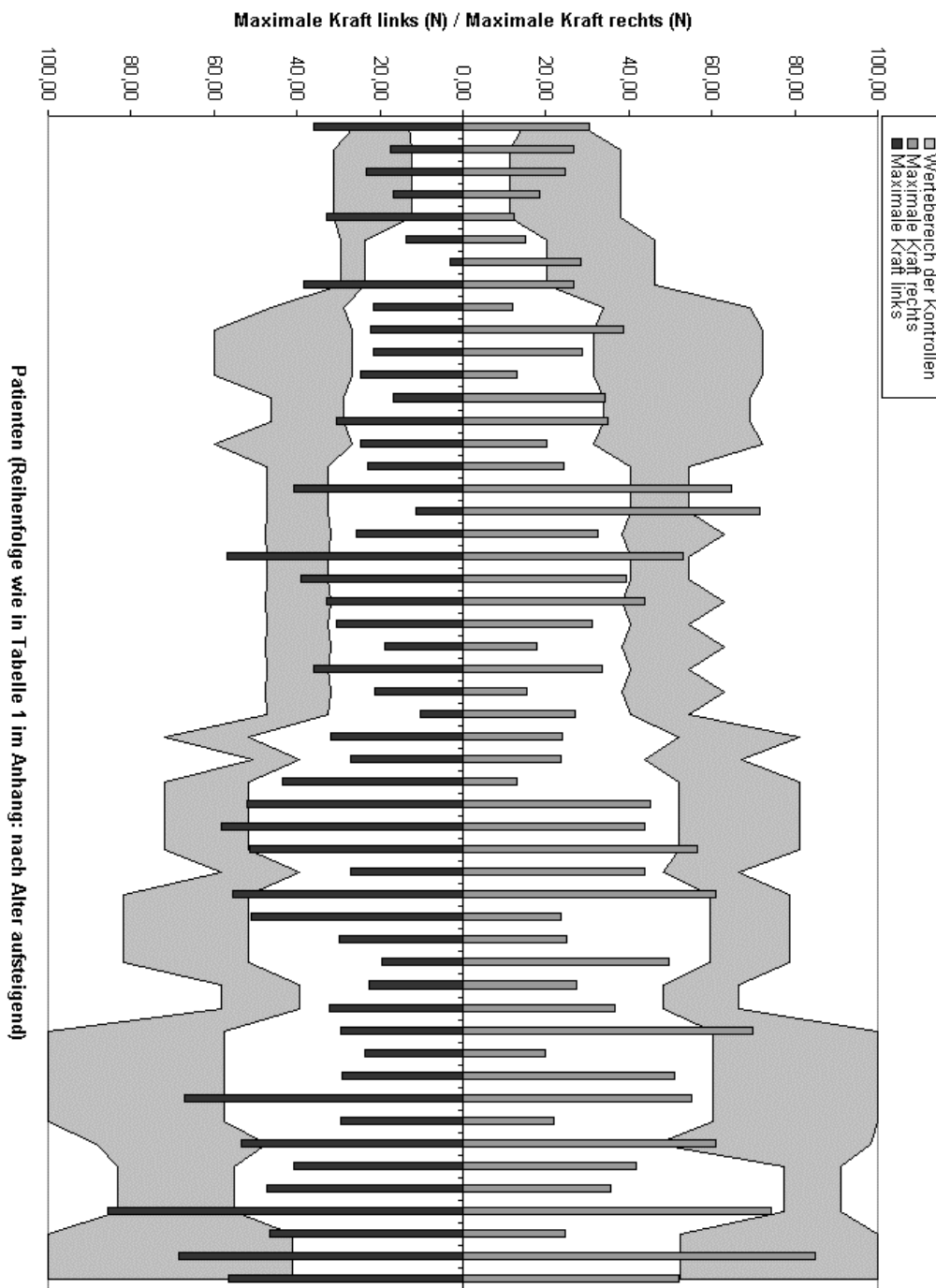


Abbildung 3.13: Maximalkraft der rechten Hand (helle Balken) und der linken Hand (dunkle Balken) aller Patienten im Präzisionsgriff (Vorversuch VO2). Der graue Bereich entspricht der Streuung der maximalen Kraftwerte der gesunden Kontrollpersonen in den entsprechenden Altersgruppen. Da teilweise nur ein Patient pro Altersgruppe vorhanden war und die Referenzwerte der gesunden Kontrollen nicht immer linear mit dem Alter anstiegen, ergeben sich zum Teil starke Schwankungen im Altersverlauf des Referenzbereichs. Werte unterhalb des Referenzbereichs galten als pathologisch. Die Patienten sind nach Alter aufsteigend geordnet (s. Tabelle 1 im Anhang).

Bis auf 4 Patienten waren alle Patienten mindestens an einer Hand beeinträchtigt bezüglich der Maximalfrequenz der Kraftwechsel (s. Abbildung 3.14). Bei der Untersuchung der Maximalkraftwerte lagen hingegen 14 Patienten im Normwertbereich. Es läßt sich vermuten, daß die Maximalfrequenz von Kraftwechseln im Präzisionsgriff eine sensitivere Untersuchungsmethode für eventuelle feinmotorische Defizite ist.

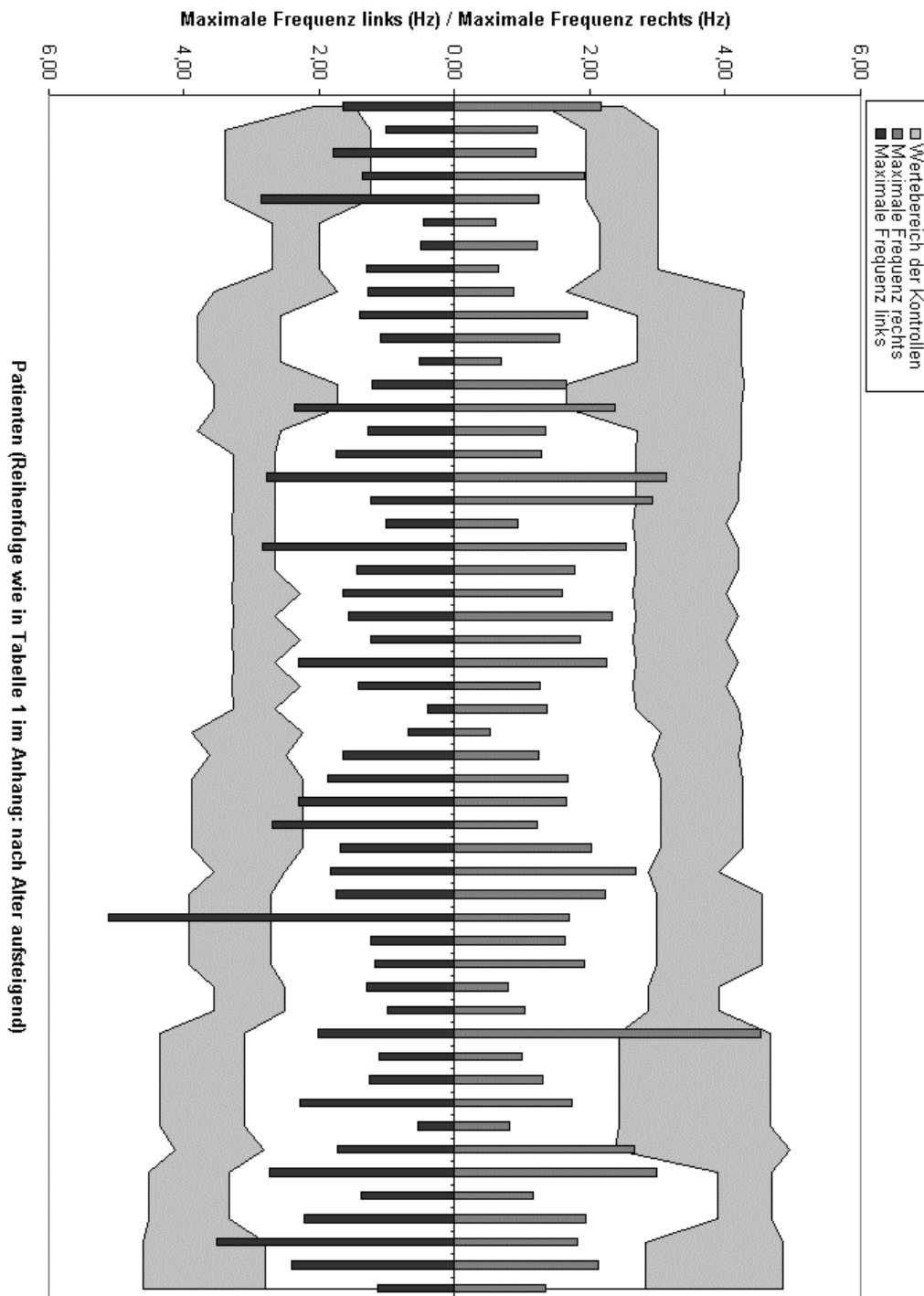


Abbildung 3.14: Maximale Frequenz der Kraftwechsel im Präzisionsgriff der rechten Hand (helle Balken), sowie der linken Hand (dunkle Balken). Der graue Bereich entspricht der Streuung der maximalen Frequenzwerte der Kraftwechsel der Kontrollpersonen in den entsprechenden Altersgruppen. Werte unterhalb dieses Referenzbereichs wurden als pathologisch eingestuft. Die Patienten sind dem Alter nach aufsteigend aufgetragen (siehe Tabelle 1 im Anhang).

3.3. Gruppeneinteilung der Patienten und Datenauswertung

Die Patienten wurden nach der Lokalisation der motorischen Beeinträchtigung in fünf Gruppen eingeteilt. Um die motorische Beeinträchtigung beurteilen zu können, betrachteten wir die Ergebnisse des ergotherapeutischen Handfunktionstests, die im Vorversuch ermittelte Maximalkraft und die in den beiden schnellen Versuchen FA und AF erreichte maximale Frequenz der Kraftwechsel im Präzisionsgriff.

Der ergotherapeutische Handfunktionstest gab einen Überblick über die wichtigsten feinmotorischen Leistungen der Patienten. Je höher der im Test erzielte Wert war, um so stärker war die feinmotorische Beeinträchtigung.

Weiterhin gaben die in den apparativen Versuchen erreichten Maximalwerte in bezug auf Kraft und Frequenz Aufschluß über Ausprägung und Lokalisation der motorischen Beeinträchtigung.

Zu Detektion eines feinmotorischen Defizits stellten sich die Maximalkraft und Frequenz als geeignetere Parameter heraus, da nach diesen Kriterien mehr Patienten eine feinmotorische Beeinträchtigung aufwiesen, als aufgrund des ergotherapeutischen Handfunktionstests anzunehmen war.

Offensichtlich konnten durch die objektiven apparativen Ergebnisse schon geringfügige feinmotorische Defizite, die dem Handfunktionstest entgangen waren, berücksichtigt werden.

Die Maximalfrequenz stellte sich als der sensitivste Parameter heraus; dementsprechend fand sich nur bei 4 der 52 Patienten eine Leistung im Bereich der Normwertgrenzen.

Bei der graphischen Darstellung der Korrelationen dieser Parameter zeigte sich ein Zusammenhang zwischen dem Punktwert des Ergotherapie-Handfunktionstests und der Maximalkraft, zwischen Handfunktionstest und maximaler Frequenz sowie zwischen Maximalkraft und maximaler Frequenz: Bei steigendem Ergotherapie-Punktwert war tendenziell ein Absinken der Maximalkraft und Frequenz zu verzeichnen. Eine ähnliche Tendenz fand sich beim Vergleich der Maximalkraft mit der Maximalfrequenz (s. Abb. 3.15a-c).

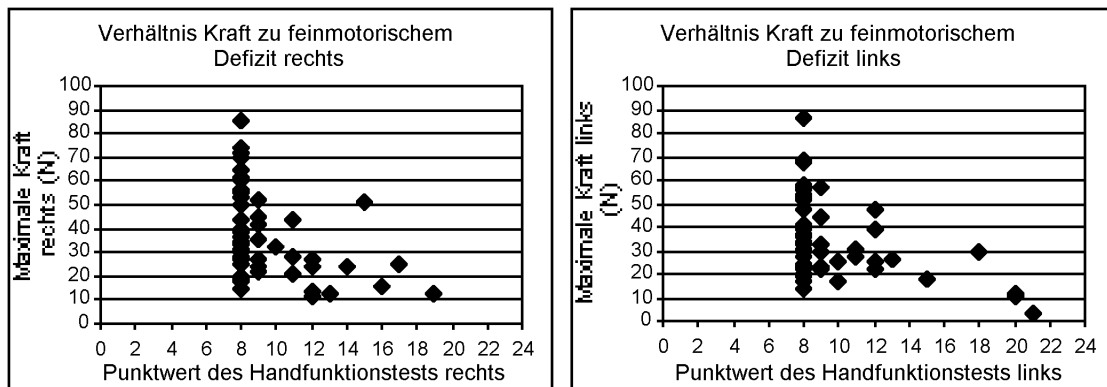


Abbildung 3.15a: Zusammenhang zwischen maximaler Kraft und dem Punktwert des Handfunktionstests der rechten bzw. linken Hand. Je höher der Punktwert des Handfunktionstests war (und somit das Ausmaß der feinmotorischen Beeinträchtigung), um so geringer war tendenziell die maximale Kraft der entsprechenden Hand. Die erreichbare Mindestpunktzahl lag bei normaler Handfunktion bei „8“. Dadurch ist der Bodeneffekt bei Punktwert „8“ zu erklären.

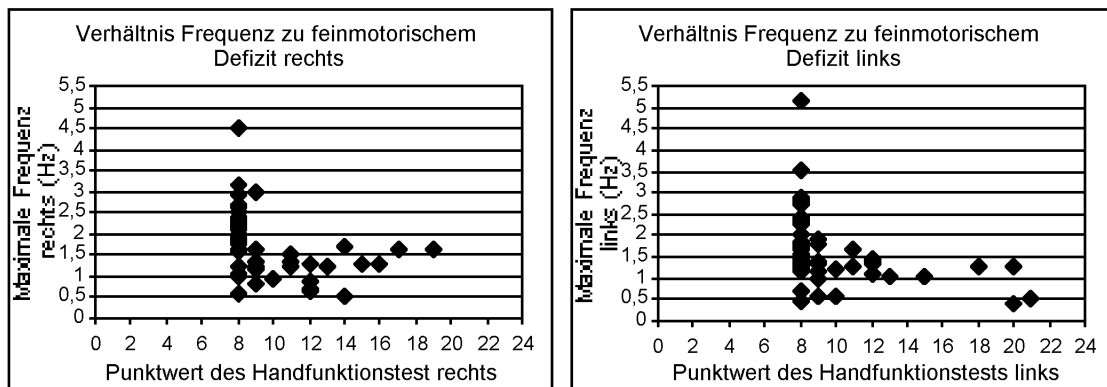


Abbildung 3.15b: Zusammenhang zwischen maximaler Frequenz der Kraftwechsel und dem Punktwert des Handfunktionstests der rechten bzw. linken Hand. Je höher der Punktwert des Handfunktionstests war (und somit das Ausmaß der feinmotorischen Beeinträchtigung), um so geringer war tendenziell die maximale Frequenz der Kraftwechsel der entsprechenden Hand. Die erreichbare Mindestpunktzahl lag bei normaler Handfunktion bei „8“. Dadurch ist der Bodeneffekt bei Punktwert „8“ zu erklären.

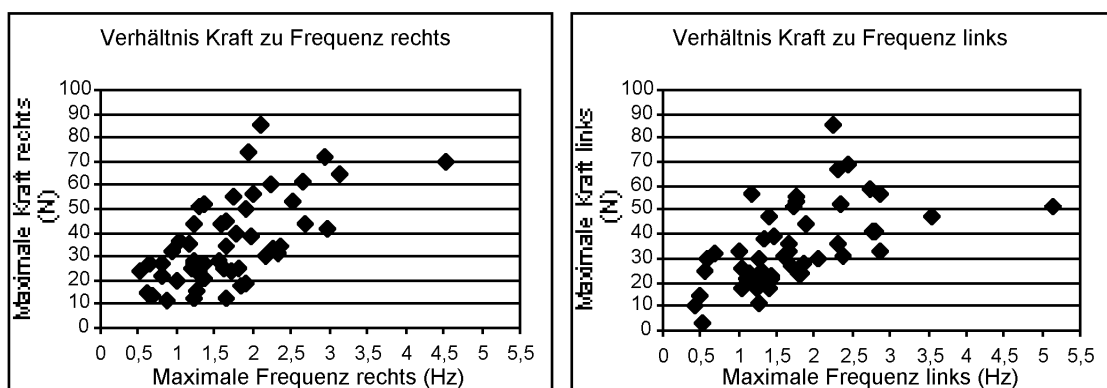


Abbildung 3.15c: Zusammenhang zwischen maximaler Frequenz der Kraftwechsel und Maximalkraft der rechten bzw. linken Hand. Je höher die maximale Kraft war, um so höher war tendenziell die maximale Frequenz der Kraftwechsel der entsprechenden Hand.

Lag mindestens einer der drei Parameter (Ergotherapie-Punktwert, Maximalfrequenz und Maximalkraft) unterhalb des Wertebereichs der alters- und geschlechtsentsprechenden Kontrollen, so wurde die Hand des Patienten als pathologisch eingestuft.

Insgesamt fanden sich lediglich bei 4 der insgesamt 52 Patienten normale Handfunktionswerte. Von den restlichen 48 Patienten waren 7 Patienten in einem der Parameter betroffen, 16 Patienten zeigten in 2 der Parameter pathologische Ergebnisse und 25 Patienten hatten in allen drei Handfunktionsparametern pathologische Ergebnisse (s. Tabelle 3.3; vgl. Tabelle 3 im Anhang).

Anzahl der pathologischen Handfunktionsparameter (Ergotherapeutischer Handfunktionstest / Maximalkraft / Maximale Frequenz der Kraftwechsel)	Anzahl der betroffenen Patienten
0 pathologische Parameter	n=4
1 pathologische Parameter	n=7
2 pathologische Parameter	n=16
3 pathologische Parameter	n=25

Tabelle 3.3: Anzahl der Patienten mit ein- bzw. beidseitiger Handfunktionseinschränkung in den drei Parametern Ergotherapeutischer Handfunktionstest, Maximalkraft im Präzisionsgriff und Maximalfrequenz der Kraftwechsel.

Zur Einteilung der Patienten in Gruppen entsprechend der Lokalisation der motorischen Beeinträchtigung entschieden wir uns für folgende Vorgehensweise:

Da sich die Maximalfrequenz der Kraftwechsel als sensitivster Parameter zur Detektion eines feinmotorischen Defizits herausgestellt hatte, bestimmten die erzielten Maximalfrequenzen beider Hände die Zuordnung zu den einzelnen Patientengruppen.

- Lagen die Leistungen beider Hände eines Patienten im Normwertebereich, so wurde der Patient in die Gruppe „Zerebralparese ohne feinmotorisches Defizit“ (ZoD) eingeteilt. Diese Patienten wiesen auch in den anderen beiden Parametern keine Beeinträchtigung auf.

- Von den restlichen Patienten wurden jene in die Gruppen „Hemiparese rechts“ und „Hemiparese links“ eingeteilt, die nur in der rechten bzw. der linken Hand pathologische Ergebnisse bezüglich der erzielten Maximalfrequenz aufwiesen.
- Die übrigen Patienten, die in beiden Händen in der Maximalfrequenz pathologische Werte aufwiesen, wurden nach folgendem Schema in die Gruppen „beidseitige Schädigung linksbetont“ bzw. „beidseitige Schädigung rechtsbetont“ eingeteilt: um die stärker geschädigte Hand zu detektieren, wurde jeweils der Abstand des Frequenzwertes zum Minimum des Normwertebereichs berechnet. Der jeweils größere Abstand zu letzterem bestimmte die Seitenbetonung des feinmotorischen Defizits. (s. auch Algorithmus im Anhang Kap. 8.2, S. 126). Lagen identische Frequenzabstände vor, d.h. führte der Algorithmus zu keiner eindeutigen Zuordnung, so wurden die Parameter Maximalkraft und die Ergebnisse des Handfunktionstests zur weiteren Einordnung hinzugezogen.

Somit ergaben sich insgesamt fünf Patientengruppen entsprechend der Seite der motorischen Beeinträchtigung:

Gruppe: „L“ (Hemiparese links), Gruppe „R“ (Hemiparese rechts), Gruppe „Lr“ (beidseitige Schädigung linksbetont), „Rl“ (beidseitige Schädigung rechtsbetont) und „ZoD“ (Zerebralparese ohne feinmotorisches Defizit).

Gruppe	Anzahl	Seite der Beeinträchtigung
Gruppe L	n=4	links
Gruppe Lr	n=21	beidseits, linksbetont
Gruppe Rl	n=16	beidseits, rechtsbetont
Gruppe R	n=7	rechts
Gruppe ZoD	n=4	ohne feinmotorisches Defizit

Tabelle 3.4: Einteilung der Patienten in 5 Gruppen entsprechend der Seite der motorischen Beeinträchtigung

Die Auswertung der Spiegelbewegungen fand innerhalb der Gruppen statt.
Wegen der relativ kleinen Stichprobenumfänge ($n=4$ bis $n=21$) beschränkten wir uns auf eine lediglich deskriptive Auswertung.

4 ERGEBNISSE

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der klinischen und der experimentellen Untersuchung dargestellt. Grundlage der Auswertung sind die Befunde einer parallelen Arbeit, die gesunde Kontrollpersonen auf das Auftreten von Spiegelbewegungen untersuchte (Esslinger 2000).

4.1. Physiologische Spiegelbewegungen der Kontrollpersonen

In den unteren Altersklassen (5 bis 13) wurden klinisch die meisten Spiegelbewegungen gemessen, die bei Altersgruppe 15 stark absanken und im weiteren Altersverlauf tendenziell weiter abnahmen (Abbildung 4.1).

Da sich die Mitbewegungen von rechter und linker Hand statistisch nicht voneinander unterschieden, wurden sie zu einem Mittelwert zusammengefaßt.

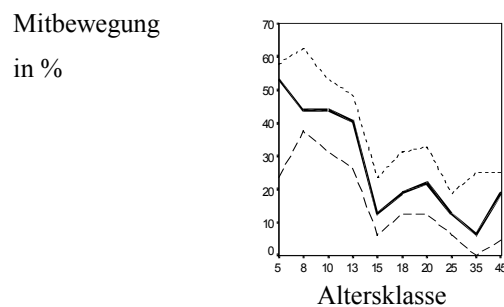


Abbildung 4.1: Klinische Spiegelbewegungen im Altersverlauf der Kontrollpersonen: Dargestellt sind klinische Spiegelbewegungen als prozentualer Anteil vom maximal erreichbaren Wert des Ausprägungsgrades im Verlauf der Altersklassen. Rechte und linke Hand sind zu einem Mittelwert zusammengefaßt.

gepunktete Linie: 75% Perzentile
dicke durchgezogene Linie: 50% Perzentile (Median)
gestrichelte Linie: 25% Perzentile

Bei der apparativen Untersuchung wurde der sogenannte Spiegelquotient in Prozent ermittelt. Dabei wurde der bereits in den klinischen Untersuchungen beobachtete Trend bestätigt. Sowohl in den langsamen als auch in den schnellen Versuchen fanden sich die höchsten Spiegelquotienten in den untersten Altersstufen, die sich ab der Altersgruppe der 15jährigen auf einem niedrigen Niveau hielten und nur noch geringen Schwankungen unterlagen (Abbildung 4.2).

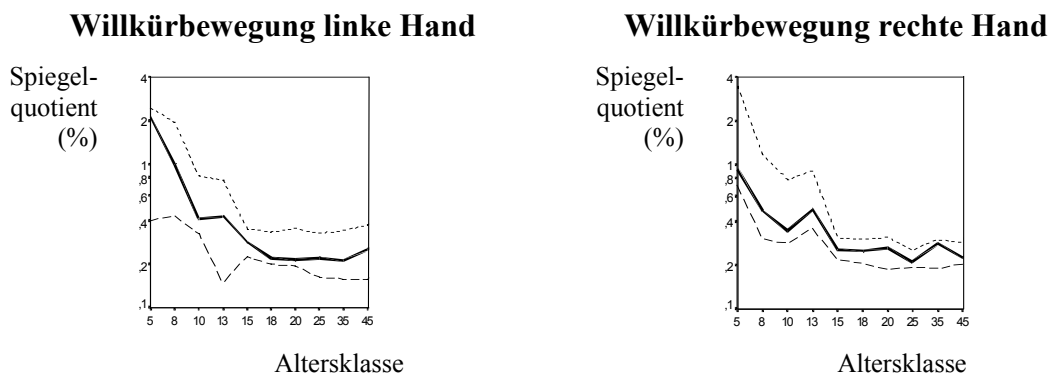


Abbildung 4.2: Ergebnisse der experimentellen Untersuchung der Kontrollpersonen. Dargestellt sind die sog. Spiegelquotienten (Kräfteverhältnis von Spiegelhand zu Willkürhand (%)) der rechten und der linken Hand der Kontrollpersonen im Verlauf der Altersklassen.

gepunktete Linie: 75% Perzentile
 dicke durchgezogene Linie: 50% Perzentile (Median)
 gestrichelte Linie: 25% Perzentile

Der Spiegelquotient ist auf einer logarithmischen Skala dargestellt.

4.2. Spiegelbewegungen der Patienten mit infantiler Zerebralparese

4.2.1. Klinische Untersuchung

Wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben, erhielten die Patienten die Instruktion, verschiedene feinmotorische Aufgaben der Finger bzw. der Hand durchzuführen. Dabei wurde die Stärke der spiegelbildlichen Mitbewegung der jeweils passiven Hand beurteilt (s. Kapitel 3.1.3., S. 27 ff). Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung zeigt Abbildung 4.3, S. 62 (zu den Zahlenwerten vergleiche Tabellen 4 und 6 im Anhang).

Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung geben den Ausprägungsgrad der klinischen Mitbewegungen als prozentualen Wert vom maximal erreichbaren Wert an (s. Kapitel 3.1.3, S. 27ff). Die durchschnittliche Spiegelaktivität jeder Hand wurde berechnet aus dem Mittelwert der in den 4 feinmotorischen Aufgaben erzielten Punktwerte (zur Berechnung s. S. 30ff). Die Spiegelaktivität wurde für die rechte und linke Hand getrennt berechnet. Dabei unterschieden sich die Mittelwerte beider Hände kaum von einander; es ergab sich für die rechte Hand ein durchschnittlicher Wert an Spiegelbewegungen von 38,2% (SD=25,8), für die linke Hand von 38,5% (SD=25,1).

Insgesamt erreichten 10 Patienten den niedrigsten erreichbaren Wert von 0% klinischer Mitbewegung (Pat. L04, Lr03, Lr08, Lr09, Lr15, Lr19, Rl02, Rl08, Rl12, R06). Nur 2 Patienten (Pat. L03 und Rl07) erreichten den Maximalwert von 100% klinischer Mitbewegung.

31 Patienten lagen im Wertebereich der gesunden Kontrollen. Von den übrigen 21 Patienten zeigten 13 Patienten in einer Hand (Pat. L02, L03, L04, Lr01, Lr05, Lr17, Rl07, Rl09, Rl14, Rl16, R01, R06, ZoD01) und 8 Patienten in beiden Händen pathologisch erhöhte Spiegelaktivität (Lr10, Lr13, Lr16, Lr20, Lr21, Rl06, Rl11, R07; siehe dazu auch Abbildung 4.3). Auch bezüglich des Auftretens pathologischer Spiegelbewegungen unterschieden sich rechte und linke Hand kaum voneinander: 15 Patienten zeigten pathologische Spiegelbewegungen in der rechten Hand, 14 Patienten in der linken.

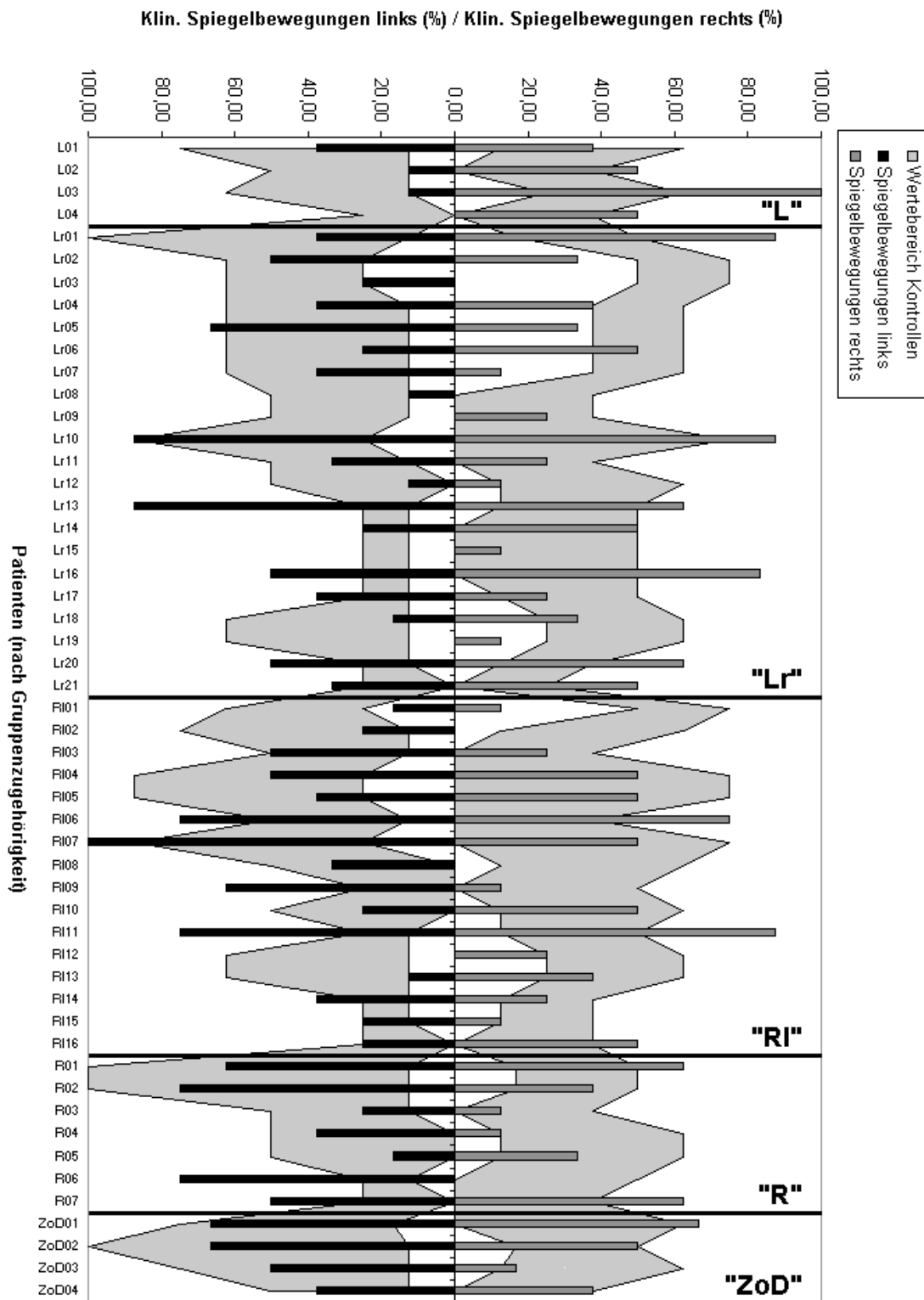


Abbildung 4.3: Ergebnisse der klinischen Untersuchung der Patienten
 Angegeben ist die Stärke der spiegelbildlichen Mitbewegungen der Patienten in der linken Hand (dunkle Balken) bei Willkürbewegung der rechten, bzw. die Stärke der Mitbewegungen der rechten Hand (helle Balken) bei Willkürbewegung der linken Hand. Der graue Bereich umfaßt den Wertebereich der klinischen Spiegelbewegungen der gesunden Kontrollen in den entsprechenden Altersgruppen. Die Patienten sind entsprechend ihrer Gruppeneinteilung dargestellt. (Einzelwerte in Tabelle 4 im Anhang).

Nach Aufteilung der Patienten in Gruppen wurde der Ausprägungsgrad klinischer Spiegelbewegungen anhand der Mittelwerte der einzelnen Gruppen beurteilt. Hier zeigten sich zum Teil starke Seitendifferenzen im Ausprägungsgrad der Spiegelbewegungen für beide Hände.

Die unilateral beeinträchtigten Patienten wiesen größere Differenzen auf als die bilateral beeinträchtigten.

Dabei fand sich die größte Seitendifferenz in der Gruppe „L“ mit den höchsten Mittelwerten in der rechten Hand (59,4% des maximal erreichbaren Ausprägungsgrades) und den niedrigsten Gruppenmittelwerten in der linken Hand (15,6%).

Bei den bilateral geschädigten Patienten fanden sich die geringsten Unterschiede im Seitenvergleich beider Hände in der Gruppe „Lr“ mit 34,5% durchschnittlicher Spiegelaktivität in der linken Hand und 37,9% in der rechten Hand (Standardabweichung links: 25,0; rechts: 27,1).

Gruppe „ZoD“ zeigte in beiden Händen relativ hohe durchschnittliche Werte (55,2% links und 42,7% rechts). Tabelle 4.1 zeigt die Mittelwerte der einzelnen Gruppen, die Standardabweichung sowie die gemessenen Minima und Maxima.

Durchschnittliche Spiegelaktivität in der linken Hand in %			Gruppe	Durchschnittliche Spiegelaktivität in der rechten Hand in %		
MW	±SD	(MIN;MAX)		MW	±SD	(MIN;MAX)
15,6%	±15,7	(0,0–37,5)	L	59,4%	±27,7	(37,5-100,0)
34,5%	±25,0	(0,0-87,5)	Lr	37,9%	±27,1	(0,0-87,5)
40,6%	±26,6	(0,0-100,0)	Rl	35,2%	±25,5	(0,0-87,5)
48,8%	±23,4	(16,7-75,0)	R	31,5%	±24,8	(0,0-62,5)
55,2%	±14,2	(37,5-66,7)	ZoD	42,7%	±21,1	(16,7-66,7)

Tabelle 4.1: Ergebnisse der klinischen Untersuchung auf spiegelbildliche Mitbewegungen für die 5 Patientengruppen „L“ (Hemiparese links), „R“ (Hemiparese rechts), „Lr“ (Tetraparese linksbetont); „Rl“ (Tetraparese rechtsbetont) und „ZoD“ (Zerebralparese ohne feinmotorisches Defizit). Ein Wert von 0% bedeutet keine Spiegelbewegung in den 4 Versuchen sequentielle Fingeropposition, Fingerschnipsen, Faustöffnen und Fingerspreizen gegen Widerstand (siehe auch Abbildung 3.1.1ff S. 29), ein Wert von 100% entspricht einem maximalen Ausprägungsgrad der Spiegelbewegungen in allen 4 Aufgaben. MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; MIN = Minimum; MAX = Maximum

Pathologische Spiegelaktivität trat bei 40% (n=21) der 52 Patienten auf. Hierbei zeigten 13 Patienten in einer Hand und 8 Patienten in beiden Händen pathologisch erhöhte Spiegelaktivität. Die restlichen 31 Patienten lagen im Normwertbereich der gesunden Kontrollen.

Im Vergleich mit den gesunden Kontrollen (Tabelle 4.2) fand sich in der Gruppe „L“ prozentual am häufigsten pathologische Spiegelaktivität; drei der vier Patienten (75%) wiesen in der rechten Hand pathologische Spiegelaktivität auf. In der linken Hand fand sich hingegen bei keinem der Patienten pathologische Spiegelaktivität.

In der Gruppe „R“ fand sich keine Seitendifferenz; sowohl in der rechten als auch in der linken Hand zeigten jeweils 2 der 7 Patienten pathologische Spiegelaktivität.

In der Gruppe „ZoD“ zeigte nur einer der Patienten pathologische Spiegelaktivität (der rechten Hand).

Bei den Patienten mit bilateraler motorischer Beeinträchtigung (Gruppen „Lr“ und „Rl“) zeigten sich sowohl Patienten ohne pathologische Spiegelaktivität (Gruppe Lr: n=13; Gruppe Rl: n=10) als auch Patienten mit einseitiger pathologischer Spiegelaktivi-

tät (Gruppe Lr: n=3; Gruppe Rl: n=4) sowie Patienten mit pathologischer Spiegelaktivität in beiden Händen (Gruppe Lr: n=5; Gruppe Rl: n=2).

In der Gruppe der linksbetonten, bilateral betroffenen Patienten („Lr“) zeigten sich kaum Unterschiede bezüglich des Auftretens pathologischer Spiegelaktivität. Somit fand sich pathologische Spiegelaktivität in der rechten Hand bei 6 von 21 Patienten (29%) sowie bei 7 Patienten (33%) in der linken Hand. In der Gruppe der rechtsbetonten bilateral betroffenen Patienten („Rl“) war der Unterschied etwas ausgeprägter: 5 von 16 (31%) Patienten zeigten links pathologische Spiegelaktivität und 3 von 16 Patienten (19%) rechts. (s. Tabelle 4.2).

Gruppe	Anteil der Patienten mit pathologischer Spiegelaktivität in der linken Hand (%)	Anteil der Patienten mit pathologischer Spiegelaktivität in der rechten Hand (%)	Anteil der Patienten mit pathologischer Spiegelaktivität in beiden Händen (%)
L	0% (0/4)	75% (3/4)	0% (0/4)
Lr	33% (7/21)	29% (6/21)	24% (5/21)
Rl	31% (5/16)	19% (3/16)	13% (2/16)
R	29% (2/7)	29% (2/7)	14% (1/7)
ZoD	0% (0/4)	25% (1/4)	0% (0/4)

Tabelle 4.2: Prozentualer Anteil der Patienten, die in der linken Hand, der rechten Hand bzw. in beiden Händen pathologische Spiegelaktivität aufwiesen innerhalb der einzelnen Gruppen: „L“ (Hemiparese links), „R“ (Hemiparese rechts), „Lr“ (Tetraparese linksbetont), „Rl“ (Tetraparese rechtsbetont) und „ZoD“ (Zerebralparese ohne feinmotorisches Defizit). In Klammern: Absolutwerte der Patienten mit pathologischer Spiegelaktivität pro Gesamtzahl der Gruppenmitglieder (die erste Zahl bezieht sich auf die betroffenen Patienten, die zweite Zahl gibt die Gesamtzahl der Patienten pro Gruppe an).

4.2.1.1. Ergebnisse der Patienten mit unilateraler motorischer Beeinträchtigung (Gruppen „L“ und „R“)

In der Gruppe der Patienten mit Hemiparese links (Gruppe „L“, n=4) fanden sich die größten Seitendifferenzen zwischen linker und rechter Hand, sowohl was den Ausprägungsgrad der Spiegelbewegungen als auch das Auftreten pathologischer Spiegelaktivität betrifft. So zeigte sich in der betroffenen linken Hand der niedrigste durchschnittliche Wert an Spiegelaktivität von 15,6% (SD=15,7) bei einem minimalen Wert von 0% und einem Maximalwert von 37,5%.

Die höchsten Durchschnittswerte klinischer Spiegelaktivität waren bei dieser Patientengruppe auf der rechten Seite zu beobachten. Hier waren im Schnitt 59,4% (SD 27,7) Mitbewegungen zu verzeichnen, bei einem Minimum von 37,5% und einem Maximum von 100%.

Im Vergleich mit den Normalpersonen lagen alle vier Patienten auf der linken Seite im Normwertbereich ihrer altersentsprechenden Kontrollen. Auf der rechten Seite hingegen lagen drei der 4 Patienten oberhalb des Normwertbereichs.

Für die Patienten mit Hemiparese rechts (Gruppe „R“, n= 7) zeigte sich eine geringere Seitendifferenz zwischen beiden Händen, was den Ausprägungsgrad der Spiegelbewegungen betrifft. In der rechten, betroffenen Hand zeigten sich klinisch durchschnittlich 31,5% Mitbewegungen (SD=24,8), bei einem Minimum von 0,0% und einem Maximum von 62,5%.

In der linken, nicht betroffenen Hand fanden sich dagegen durchschnittlich 48,8% Mitbewegungen (SD=23,4), bei einem minimalen Wert von 16,7% und einem maximalen Wert von 75,0%. Auf beiden Seiten lagen jeweils zwei der sieben Patienten oberhalb des Wertebereichs der Normalpersonen.

Beide Gruppen zeigten demnach höhere Durchschnittswerte an Spiegelaktivität in der gesunden Hand als in der betroffenen Hand.

Pathologische Spiegelaktivität zeigte sich in der Gruppe „L“ hauptsächlich auf der Seite der gesunden Hand, bei Willkürbewegung der kranken Hand. In Gruppe „R“ war das Verhältnis ausgeglichen.

Der Mittelwert der Spiegelaktivität beider Hände unterschied sich in diesen Patientengruppen wenig. Für die Patienten der Gruppe „L“ lag der Mittelwert beider Hände bei 37,5% (SD=31,3); in Gruppe „R“ lag er bei 40,2% (SD=40,2). Pathologische Spiegelbewegungen fanden sich in Gruppe „L“ bei durchschnittlich 1,5 Personen pro Hand, in Gruppe „R“ bei durchschnittlich 2 Personen.

4.2.1.2. Ergebnisse der Patienten mit bilateraler motorischer Beeinträchtigung (Gruppen „Lr“ und „Rl“)

Die durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität beider Hände unterschieden sich in den Gruppen mit bilateraler Beeinträchtigung weniger als bei den einseitig betroffenen Patienten.

Die geringsten Unterschiede bezüglich der Durchschnittswerte fanden sich in Gruppe „Lr“. Die 21 Patienten mit beidseitiger, linksbetonter motorischer Beeinträchtigung zeigten in der stärker betroffenen, linken Hand durchschnittlich 34,5% klinische Mitbewegungen (SD=25,0; Minimum=0,0%, Maximum=87,5%), die Werte der weniger betroffenen rechten Hand lagen bei durchschnittlich 37,9% (SD=27,1; Minimum=0%, Maximum=87,5%.) etwas höher als bei der stärker betroffenen Hand.

Was die Auftretenshäufigkeit pathologischer Spiegelaktivität betrifft, so zeigte sich auch hier kaum Seitendifferenz: 7 der 21 Patienten zeigten auf der linken Seite Werte oberhalb des Normwertbereichs, 6 Patienten auf der rechten Seite.

Bei den 16 Patienten mit beidseitiger, rechtsbetonter motorischer Beeinträchtigung (Gruppe „Rl“) fanden sich in der weniger stark geschädigten, linken Hand durchschnittlich 40,6% (SD=26,6) klinische Mitbewegungen (Minimum=0%; Maximum=100%). Im Vergleich mit den gesunden Kontrollen befanden sich 5 der 16 Patienten oberhalb der Norm.

Auch in dieser Patientengruppe fanden sich in der stärker betroffenen rechten Hand durchschnittlich weniger klinische Mitbewegungen als in der weniger betroffenen linken Hand: hier wurde ein Durchschnittswert von 35,2% klinischer Mitbewegung erzielt (SD=25,5; Minimum=0%; Maximum=87,5%). Dabei lagen nur 3 der Patienten oberhalb der Normwertgrenzen.

Bei der Untersuchung der Patienten mit beidseitiger Schädigung ergab sich wie auch bei den Patienten mit einseitiger Schädigung, daß die durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität höher auf der Seite der gesunden / weniger betroffenen Hand waren.

Pathologische Spiegelaktivität trat bei den einseitig betroffenen Patienten häufiger in der nicht bzw. weniger betroffenen Hand auf, wenn die betroffene bzw. stärker geschädigte Hand willkürlich bewegt wurde. Bei den beidseitig betroffenen Patienten traf dies nur für die Patienten mit rechtsbetonter Schädigung zu; bei den Patienten mit linksbe-

tonter Schädigung war pathologische Spiegelaktivität prozentual häufiger auf der linken Seite gefunden worden.

Der Mittelwert der Spiegelaktivität beider Hände unterschied sich in diesen Patientengruppen kaum. Für die Patienten der Gruppe „Lr“ lag der Mittelwert beider Hände bei 36,2% (SD=25,8); in Gruppe „Rl“ lag er bei 37,9%. Pathologische Spiegelbewegungen fanden sich in Gruppe „Lr“ bei durchschnittlich 6,5 Personen pro Hand, in Gruppe „Rl“ bei durchschnittlich 4 Personen.

4.2.1.3. Ergebnisse der Patienten ohne motorische Beeinträchtigung

Die vier Patienten ohne feinmotorisches Defizit lagen in der klinischen Untersuchung auf spiegelbildliche Mitbewegungen zum größten Teil innerhalb der Normgrenzen. Nur einer der Patienten („ZoD01“) zeigte in der rechten Hand leichtgradige pathologische Spiegelaktivität.

Die Patienten zeigten in beiden Händen relativ hohe durchschnittliche Werte. So fand sich in der linken Hand durchschnittlich 55,2% Spiegelaktivität (SD=14,2; Minimum=37,5%; Maximum=66,7%).

Für die rechte Hand ergaben sich durchschnittlich 42,7% klinische Spiegelbewegungen (SD=21,1; Minimum=16,7%, Maximum=66,7%).

Der Mittelwert der Spiegelaktivität beider Hände lag bei 49% (SD=17,9). Pathologische Spiegelbewegungen fanden sich bei durchschnittlich einer Person pro Hand.

4.2.1.4. Klinische Spiegelbewegungen in Abhängigkeit vom feinmotorischen Defizit

Für die Einteilung der Patienten nach dem Schweregrad der motorischen Beeinträchtigung bedienten wir uns der individuellen Ergebnisse in den drei Handfunktionstests (Ergotherapeutischer Handfunktionstest, Maximalkraft und maximale Frequenz der Kraftwechsel im Präzisionsgriff (s. Kapitel 3.3; S. 54ff). Bei pathologischen Ergebnissen in einem der drei Handfunktionsparameter gingen wir von einer leichtgradigen motorischen Beeinträchtigung, bei 2 pathologischen Parametern von einer mittelgradigen, sowie bei pathologischen Ergebnissen in allen Handfunktionstests von einer schweren motorischen Beeinträchtigung aus.

Leicht beeinträchtigt waren dementsprechend 7 Patienten (L04, Lr14, Lr12, Rl05, Rl16, R01, R03), mittelgradig betroffen waren 15 Patienten (L03, Lr01, Lr02, Lr08, Lr09,

Lr10, Lr13, Lr16, Rl01, Rl06, Rl12, Rl13, Rl15, R02, R07) und schwer betroffen waren 26 Patienten (L01, L02, Lr03, Lr04, Lr05, Lr06, Lr07, Lr11, Lr15, Lr17, Lr18, Lr19, Lr20, Lr21, Rl02, Rl03, Rl04, Rl07, Rl08, RL09, RL10, Rl11, Rl14, R04, R05, R06; siehe auch Tabelle 6 im Anhang).

In allen drei Gruppen zeigte sich bei jeweils weniger als der Hälfte der Patienten pathologische Spiegelaktivität. Prozentual zeigten dabei zwischen 38% und 47% der Patienten pathologische Spiegelaktivität (s. Abbildung 4.3.1), wobei sich keine Korrelation mit dem Schweregrad der neurologischen Beeinträchtigung nachweisen ließ.

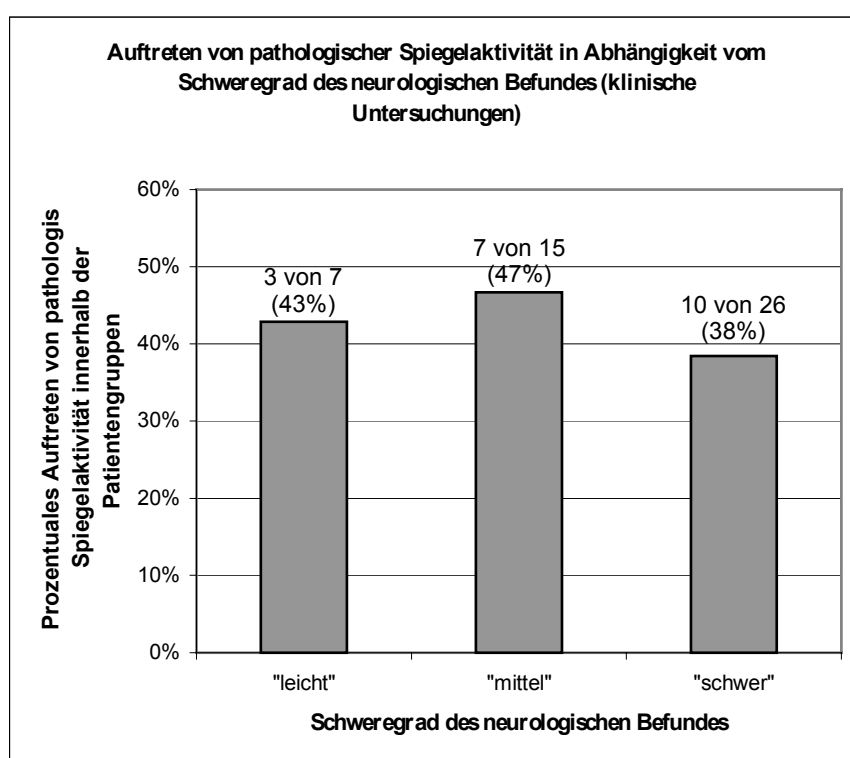


Abbildung 4.3.1: Auftretenshäufigkeit pathologischer Spiegelaktivität in Abhängigkeit vom Schweregrad des neurologischen Befundes. Die Patienten sind entsprechend dem Schweregrad aufgeteilt in drei Gruppen: „leicht“, „mittelgradig“ sowie „schwer“ betroffen.

4.2.1.5. Zusammenfassung der klinischen Ergebnisse

Es lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

- Klinisch zeigten 40% der Patienten pathologische Spiegelaktivität.
- Nur 2 Patienten erreichten einen Prozentwert von 100% der maximal möglichen Ausprägung von Spiegelbewegungen; 10 Patienten erreichten ein Minimum von 0%. Die Verteilung der individuellen Minima und Maxima folgte keiner erkennbaren Systematik.
- Klinische Spiegelaktivität zeigte sich jeweils ausgeprägter auf der Seite der gesunden oder weniger geschädigten Hand. So fanden sich in den Gruppen „L“ und „Lr“ die höheren durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität in der rechten Hand, in den Gruppen „R“ und „Rl“ in der linken Hand.
- In den Patientengruppen mit unilateraler Beeinträchtigung (Gruppen „L“ und „R“) fanden sich die größeren Unterschiede bezüglich der durchschnittlichen klinischen Spiegelaktivität im Seitenvergleich beider Hände als bei den Patienten der Gruppen mit beiderseitiger motorischer Beeinträchtigung (Gruppen „Lr“ und „Rl“). Dabei zeigte sich die stärkste Seitendifferenz bei Gruppe „L“, die in der gesunden Hand die höchsten und in der betroffenen Hand die niedrigsten durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität aufwies.
- Es zeigte sich sowohl in den Gruppen mit unilateraler als auch mit bilateraler Beeinträchtigung ein Trend, dem zufolge pathologische Spiegelaktivität häufiger auf der Seite der gesunden/weniger stark geschädigten Hand auftrat bei Willkürbewegung der kranken Hand als umgekehrt. Die einzige Ausnahme bildete die Patientengruppe mit linksbetonter, beidseitiger Beeinträchtigung („Lr“), wo sich pathologische Spiegelaktivität häufiger auf der linken Seite fand.
- Der Schweregrad des neurologischen Befundes zeigte keine Korrelation mit dem Auftreten klinischer Spiegelaktivität. Pathologische Spiegelaktivität fand sich am häufigsten bei den Patienten mit einer mittelgradigen motorischen Beeinträchtigung. Ein Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der neurologischen Beeinträchtigung und dem Auftreten von pathologischen Spiegelbewegungen läßt sich daher aus den klinischen Daten nicht ableiten.

4.2.2. Experimentelle Untersuchung

Die Patienten erhielten die Anweisung, regelmäßige Kraftwechsel mit einer Hand auszuführen, während die andere Hand nicht bewegt werden sollte. Aus den Versuchen der schnellen unimanuellen Kraftwechsel wurde als Kennwert für die Stärke der spiegelbildlichen Mitbewegung der sogenannte Spiegelquotient für jede Hand ermittelt. Dieser setzt sich aus dem Verhältnis der entsprechenden Amplituden der Kraftkurven (Minimum bis Maximum) von Spiegelhand zu Willkürhand zusammen (s. Abbildung 3.6, S. 39, Kapitel 3.1.4.1.).

Zur Gesamtbeurteilung der spiegelbildlichen Mitbewegungen einer Bewegungsfolge wurde der Median der einzelnen Spiegelquotienten gewählt.

Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchung zeigt Abbildung 4.4, S. 73 (zu den Zahlenwerten vergleiche Tabelle 6 im Anhang)

Wie auch bei den gesunden Kontrollen konnte in den experimentellen Untersuchungen bei allen Patienten Spiegelaktivität nachgewiesen werden. Pathologisch erhöhte Spiegelquotienten fanden sich bei 29 der 52 Patienten.

Die Mittelwerte beider Hände unterschieden sich wie bereits in der klinischen Untersuchung kaum von einander: In der rechten Hand ergab sich ein durchschnittlicher Spiegelquotient von 7,6%, in der linken Hand von 6,7%.

Für die weiblichen Patienten ergab sich in der rechten Hand ein durchschnittlicher Spiegelquotient von 2,8% (SD=3,5; Minimum=0,2%; Maximum=11,0%), bei den männlichen Patienten fand sich rechts ein durchschnittlicher Spiegelquotient von 12,3% (SD=43,9; Minimum=0,2%; Maximum=207,2%).

Die weiblichen Patienten erzielten links einen durchschnittlichen Spiegelquotienten von 9,1% (SD=19,1; Minimum=0,2%; Maximum=52,5%), die männlichen Patienten einen durchschnittlichen Wert von 4,2% (SD=8,2; Maximum=36,0%; Minimum=0,2%).

Der niedrigste Spiegelquotient lag bei 0,15% (Patient RI05, rechts, s. Tabelle 5); der höchste individuelle Wert lag bei einem Spiegelquotienten von 207,2% (Patient Lr11, rechts, s. Tabelle 5). 29 Patienten (56%) lagen oberhalb des Normwertbereichs; davon zeigten 10 Patienten pathologische Spiegelquotienten in einer Hand (Pat. L02, Lr06, Lr07, Lr09, Lr15, Lr17, Lr18, RI01, R04, R05, s. Abb. 4.4;) 19 Patienten zeigten auf beiden Seiten pathologische Spiegelquotienten (Pat. L03, Lr03, Lr05, Lr10, Lr11, Lr13,

Lr14, Lr16, Lr19, Lr20, Rl03, Rl04, Rl07, Rl08, Rl09, Rl10, Rl11, Rl12, R06, s. Abb. 4.4, S. 73). In der linken Hand zeigten 26 Patienten pathologische Spiegelaktivität, in der rechten Hand 22 Patienten.

Bei Betrachtung der individuellen Daten fällt eine große Streuung der Spiegelquotienten auf, sowohl innerhalb der einzelnen Gruppen, als auch im Gruppenvergleich, die unabhängig von der Seite der Willkürhand aufzutreten scheint (s. Abbildung 4.4, S. 73).

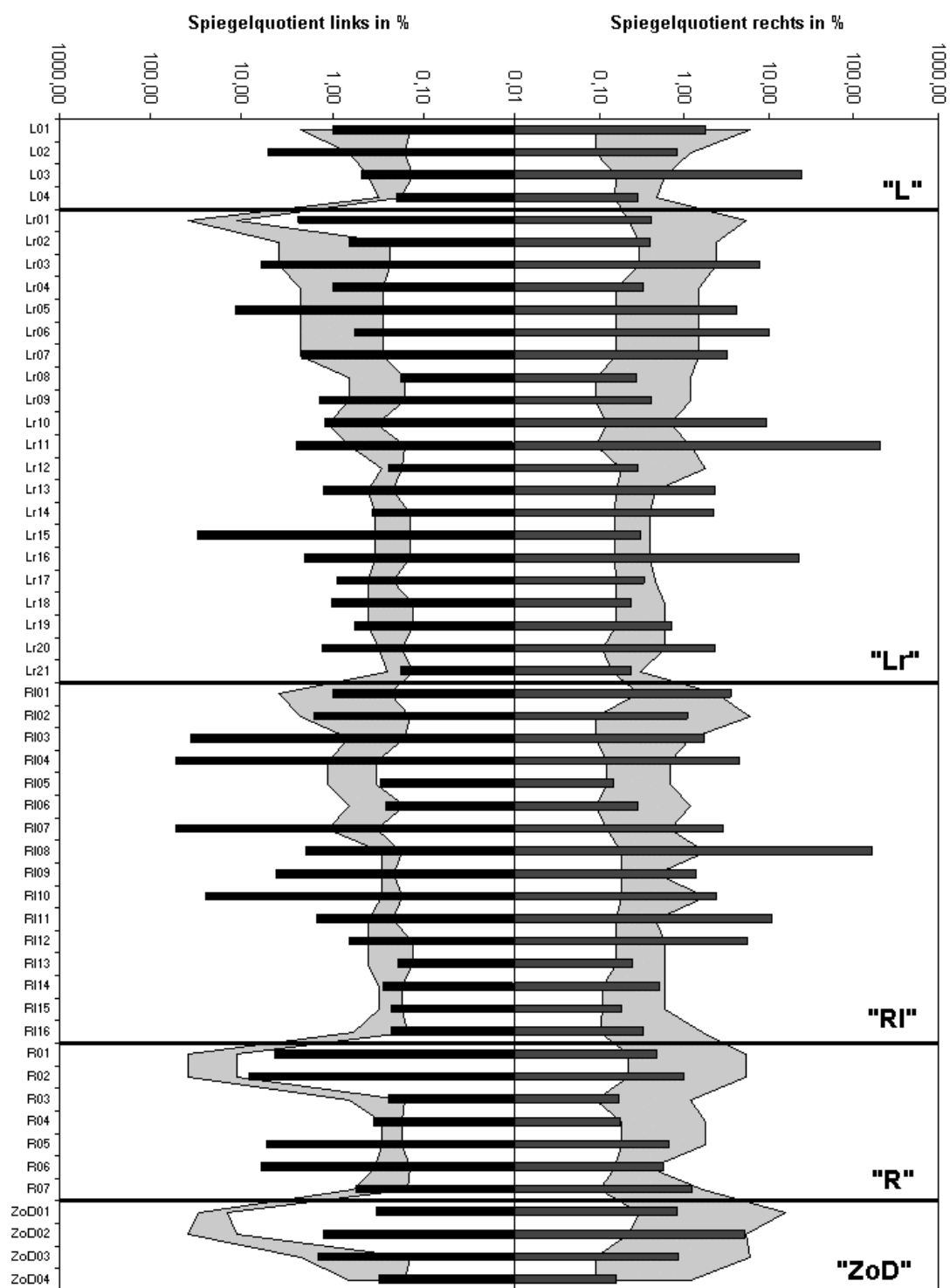


Abbildung 4.4: Spiegelbildliche Mitbewegungen bei der apparativen Untersuchung der Patienten. Dargestellt sind die Spiegelquotienten (%) der rechten und linken Hand der einzelnen Patienten (aufgeteilt in fünf Gruppen; s. S. 54ff) Die grauen Bereiche umfassen den Normwertebereich der gesunden Kontrollen. Werte oberhalb dieses Referenzbereichs galten als pathologische Spiegelaktivität. (Zu den Einzelwerten siehe auch Tabelle 5 im Anhang).

Die Spiegelquotienten (errechnet aus dem Verhältnis von Spiegel- zu Willkürhand) als Maß für den Ausprägungsgrad der Spiegelaktivität zeigten zum Teil deutliche Seitendifferenzen.

Dies galt besonders für die Gruppen „L“, „R“ und „Lr“. Die Spiegelquotienten der Gruppen „Rl“ und „ZoD“ zeigten hingegen wenig Seitendifferenz (Tabelle 4.3).

Der höchste durchschnittliche Spiegelquotient von 13,1% fand sich bei Gruppe „Lr“ in der rechten Hand im Vergleich zu nur 3,2% in der linken Hand. In dieser Gruppe fand sich auch der höchste individuelle Spiegelquotient von 207,2% (Pat. Lr11, rechts).

Der niedrigste durchschnittliche Wert von 0,6% fand sich in Gruppe „R“ in der rechten Hand.

Die durchschnittlichen Spiegelquotienten der Gruppe „ZoD“ waren beidseits auffallend niedrig.

Bei getrennter Betrachtung der Mittelwerte der Spiegelquotienten beider Hände fanden sich die höheren Werte bis auf eine Ausnahme (Gruppe „R“) jeweils in der rechten Hand (Gruppen „L“, „Lr“, „Rl“ und „ZoD“).

Ebenso verhielt es sich mit der Streuung der Werte. Die Standardabweichungen der Spiegelquotienten waren in der rechten Hand höher als in der linken Hand, wiederum mit Ausnahme der Gruppe „R“ (Tabelle 4.3).

Spiegelquotient der linken Hand in %		Gruppe	Spiegelquotient der rechten Hand in %	
MW ± SD	(Min - Max)		MW ± SD	(Min - Max)
1,7 ± 2,3	(0,2-5,1)	L	6,9 ± 11,9	(0,3-24,7)
3,2 ± 6,7	(0,2-30,3)	Lr	13,1 ± 44,8	(0,2-207,2)
11,1 ± 19,0	(0,2-52,5)	RI	12,7 ± 41,5	(0,1-167,8)
3,6 ± 3,2	(0,2-8,1)	R	0,6 ± 0,4	(0,2-1,3)
0,8 ± 0,6	(0,3-1,4)	ZoD	1,7 ± 2,3	(0,2-5,1)

Tabelle 4.3: Spiegelquotienten der schnellen unimanuellen Kraftwechsel als Kennwert der Stärke der spiegelbildlichen Mitbewegungen der Patienten. Die Patienten sind aufgeteilt in Gruppen: „L“ = Hemiparese links, „R“ = Hemiparese rechts, „Lr“ = Tetraparese linksbetont, „RI“ = Tetraparese rechtsbetont, „ZoD“ = Zerebralparese ohne motorisches Defizit).

Der Spiegelquotient (%) ergibt sich aus dem Verhältnis der Amplituden der Kraftkurven von Spiegelhand zu Willkürhand. Angegeben sind die statistischen Mittelwerte und Standardabweichungen für jede Hand, in Klammern die absoluten Minima und Maxima.

MW = Statistischer Mittelwert des Spiegelquotienten; SD = Standardabweichung;

Min = Minimum; Max = Maximum

Bei Wertung der pathologischen Befunde nach Untersuchung beider Hände auf pathologische Spiegelquotienten fiel auf, daß bei den Patienten mit unilateraler Schädigung (Gruppen „L“ und „R“) pathologische Spiegelquotienten prozentual häufiger in der linken Hand auftraten. Bei den beidseitig betroffenen Patienten fand sich Spiegelaktivität in der jeweils stärker betroffenen Hand bei Willkürbewegung der weniger stark beeinträchtigten Hand. Die Patienten der Gruppe ohne feinmotorisches Defizit zeigten keine pathologischen Spiegelquotienten (s. Tabelle 4.4).

Im Vergleich mit den klinischen Untersuchungen wiesen in den apparativen Daten deutlich mehr Patienten pathologische Spiegelaktivität auf. Pathologische Spiegelquotienten zeigten sich bei 56% (n=29) der 52 Patienten; dabei waren 10 Patienten einseitig betroffen und 19 Patienten beidseitig (s. Abb. 4.4, S. 73).

Wie bereits in den klinischen Untersuchungen beobachtet, waren auch in den apparativen Untersuchungen die Unterschiede bezüglich beider Hände bei den Patientengruppen mit bilateraler motorischer Beeinträchtigung (Gruppen „Lr“ und „RI“) weniger ausgeprägt als bei den Patienten mit unilateraler motorischer Beeinträchtigung. Somit zeigten in der Gruppe „Lr“ 62% der Patienten pathologische Spiegelquotienten links, 52% in

der rechten Hand und 43% in beiden Händen. In der Gruppe „Rl“ zeigten 50% der Patienten in der linken Hand pathologische Spiegelquotienten, 56% in der rechten Hand und 50% in beiden Händen (s. Tabelle 4.4).

Gruppe	Anteil der Patienten mit pathologischen Spiegelquotienten in der linken Hand (%)	Anteil der Patienten mit pathologischen Spiegelquotienten in der rechten Hand (%)	Anteil der Patienten mit pathologischen Spiegelquotienten in beiden Händen (%)
L	50% (2/4)	25% (1/4)	25% (1/4)
Lr	62% (13/21)	52% (11/21)	43%(9/21)
Rl	50% (8/16)	56% (9/16)	50%(8/16)
R	43% (3/7)	14% (1/7)	14%(1/7)
ZoD	0% (0/4)	0% (0/4)	0%(0/4)

Tabelle 4.4: Prozentualer Anteil der Patienten, die in der linken Hand, der rechten Hand bzw. in beiden Händen pathologische Spiegelquotienten in den apparativen Untersuchungen aufwiesen innerhalb der einzelnen Gruppen: „L“ (Hemiparese links), „R“ (Hemiparese rechts), „Lr“ (Tetraparese linksbetont), „Rl“ (Tetraparese rechtsbetont) und „ZoD“ (Zerebralparese ohne feinmotorisches Defizit). In Klammern: Absolutwerte der Patienten mit pathologischer Spiegelaktivität pro Gesamtzahl der Gruppenmitglieder (die erste Zahl bezieht sich auf die betroffenen Patienten, die zweite Zahl gibt die Gesamtzahl der Patienten pro Gruppe an).

4.2.2.1. Ergebnisse der Patienten mit unilateraler motorischer Beeinträchtigung (Gruppe „L“ und „R“)

Die apparativen Ergebnisse der Patientengruppen mit unilateraler motorischer Beeinträchtigung ähnelten den Ergebnissen der klinischen Untersuchung. Es fanden sich auch in den apparativen Untersuchungen in den einseitig beeinträchtigten Patientengruppen die größeren Seitendifferenzen, was die durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität betrifft.

In den apparativen Untersuchungen zeigten sich in diesen Patientengruppen zusätzlich die größeren Seitendifferenzen zwischen beiden Händen, was die Auftretenshäufigkeit pathologischer Spiegelaktivität betrifft.

So erzielten die Patienten mit Hemiparese links (n=4) bei Willkürbewegung der gesunden rechten Hand einen durchschnittlichen Spiegelquotienten links von 1,7% (SD=2,3; Minimum=0,2%, Maximum=5,1%), bei Bewegung der kranken linken Hand wurde in

der rechten Hand ein durchschnittlicher Spiegelquotient von 6,9% (SD=11,9) beobachtet (Maximum=24,7% Minimum=0,3%).

Einer der vier Patienten lag links oberhalb der Normgrenzen der gesunden Kontrollen, zwei der vier Patienten lagen rechts oberhalb des Normwertbereichs.

Die Patienten mit Hemiparese rechts (n=7) zeigten bei Willkürbewegung der gesunden linken Hand in der geschädigten rechten Hand durchschnittlich 0,6% Spiegelbewegungen (SD=0,4; Minimum: 0,2%; Maximum: 1,3%).

Bei Willkürbewegung der rechten Hand fand sich in der gesunden linken Hand ein Spiegelquotient von durchschnittlich 3,6% (SD=3,2), bei einem Minimum von 0,2% und einem Maximum von 8,1%. Nur einer der sieben Patienten lag rechts oberhalb des Normwertbereichs der gesunden Kontrollen; drei der sieben Patienten lagen links oberhalb der Normwertgrenzen.

Der Mittelwert der gemessenen Spiegelquotienten beider Hände war in der Patientengruppe „L“ etwas höher. In Gruppe „L“ lag der Mittelwert beider Hände bei 4,3% (SD=8,4); in Gruppe „R“ lag er bei 2,1% (SD=2,1). Pathologische Spiegelbewegungen fanden sich wie in den klinischen Untersuchungen in Gruppe „L“ bei durchschnittlich 1,5 Personen pro Hand, in Gruppe „R“ bei durchschnittlich 2 Personen.

4.2.2.2. Ergebnisse der Patienten mit bilateraler motorischer Beeinträchtigung (Gruppe „Lr“ und „Rl“)

Die 21 Patienten mit beidseitiger, linksbetonter motorischer Beeinträchtigung (Gruppe „Lr“) zeigten in den apparativen Untersuchungen starke Seitendifferenzen bezüglich der durchschnittlichen Spiegelquotienten beider Hände. So zeigten sich in der stärker betroffenen, linken Hand durchschnittlich nur 3,2% Mitbewegungen (SD=6,7; Minimum=0,2%; Maximum=30,3%) im Vergleich zu 13,1% (SD=44,8; Minimum=0,2%; Maximum=207,2%) in der rechten, weniger geschädigten Hand.

Die Auftretenshäufigkeit pathologischer Spiegelaktivität zeigte kaum Unterschiede im Seitenvergleich: 13 der 21 Patienten lagen links oberhalb der Normgrenze, 11 der Patienten lagen rechts oberhalb des Normwertbereichs.

Die 16 Patienten mit beiderseitiger, rechtsbetonter motorischer Beeinträchtigung (Gruppe „Rl“) zeigten wie auch in den klinischen Untersuchungen wenig Seitendifferenz: bei Bewegung der weniger geschädigten linken Hand fand sich in der rechten Hand ein durchschnittlicher Spiegelquotient von 12,7% (SD=41,5; Minimum=0,1%; Maximum=167,8%), bei Bewegung der stärker betroffenen rechten Hand fand sich in der linken Hand ein Spiegelquotient von durchschnittlich 11,1% (SD=19,0; Minimum=0,2%, Maximum=52,5%).

Dabei lagen 8 der 16 Patienten links oberhalb des Normbereichs, 9 Patienten lagen rechts oberhalb des Normwertbereichs (s. auch Abbildung 4.4, S. 73)

Bei Gruppe „Lr“ fanden sich demnach die höheren durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität in der weniger geschädigten Hand, bei Gruppe „Rl“ in der stärker geschädigten Hand.

Pathologische Spiegelaktivität trat jedoch in beiden Patientengruppen häufiger auf der stärker geschädigten Seite auf.

Der Mittelwert der Spiegelquotienten beider Hände unterschied sich in diesen Patientengruppen kaum. Für die Patienten der Gruppe „Lr“ lag der Mittelwert beider Hände bei 8,2% (SD=32,0); in Gruppe „Rl“ lag er bei 11,9% (SD=31,7). Pathologische Spiegelbewegungen fanden sich in Gruppe „Lr“ bei durchschnittlich 12 Personen pro Hand, in Gruppe „Rl“ bei durchschnittlich 8,5 Personen.

4.2.2.3. Ergebnisse der Patienten ohne motorische Beeinträchtigung

Keiner der Patienten zeigte pathologische Spiegelaktivität in der apparativen Untersuchung, weder in der linken, noch in der rechten Hand.

Der Mittelwert der Spiegelaktivität beider Hände lag bei 1,3% (SD=1,6).

4.2.2.4. Spiegelquotienten in Abhängigkeit vom feinmotorischen Defizit

Von den Patienten mit leichtgradiger motorischer Beeinträchtigung (n=7) zeigte nur 1 Patient einen pathologischen Spiegelquotienten.

Von den Patienten mit einer mittelgradigen motorischen Beeinträchtigung (n=15) zeigte fast die Hälfte pathologische Spiegelquotienten in mindestens einer Hand.

Die am schwersten betroffenen Patienten (n=26) zeigten zu 81% (n=21) pathologische Spiegelquotienten in mindestens einer Hand (s. Abbildung 4.4.1).

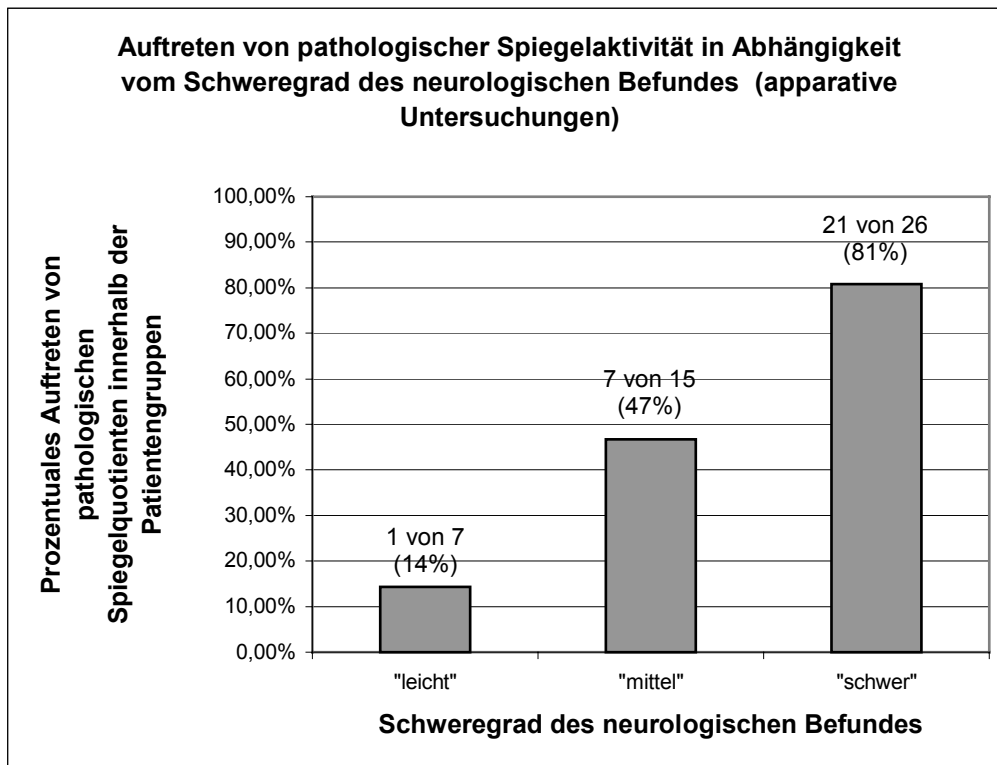


Abbildung 4.4.1: Auftretenshäufigkeit pathologischer Spiegelquotienten in Abhängigkeit vom Schweregrad des neurologischen Befundes. Die Patienten sind entsprechend dem Schweregrad aufgeteilt in drei Gruppen: „leicht“, „mittelgradig“ sowie „schwer“ betroffen.

Die apparativen Ergebnisse legen eine positive Korrelation zwischen dem Schweregrad des neurologischen Befundes und dem Auftreten pathologischer Spiegelaktivität nahe. Obwohl die klinischen Daten keine Korrelation erkennen ließen, sprechen die apparativen Daten dafür, daß pathologische Spiegelbewegungen bei Patienten mit einem ausgeprägten neurologischen Befund am häufigsten auftreten, und um so seltener nachzuweisen sind, je geringgradiger das feinmotorische Defizit ist. Dafür spricht ebenfalls die Tatsache, daß bei den Patienten ohne feinmotorische Einschränkung keine pathologische Spiegelaktivität nachzuweisen war.

4.2.3. Zusammenfassung

Die Absolutwerte der klinischen und der apparativen Untersuchung lassen sich nicht direkt vergleichen, da die Ergebnisse der klinischen Untersuchung das Verhältnis der individuellen spiegelbildlichen Mitbewegungen zum maximal erreichbaren Wert für

Spiegelbewegungen angeben. Die Werte der apparativen Untersuchung stellen hingegen das individuelle Verhältnis der absoluten Kräfte von Willkür- und Spiegelhand dar.

Die Spiegelaktivität zeigte bei der klinischen Untersuchung Gruppenmittelwerte zwischen 16% und 59%.

Bei den apparativen Untersuchungen beliefen sich die Mittelwerte auf Werte zwischen 0,6% und 13,1%.

Es ließ sich sowohl in den klinischen als auch in den apparativen Untersuchungen nachweisen, daß Spiegelbewegungen bei Kindern und Jugendlichen mit Zerebralparese häufiger auftreten als bei gesunden Personen gleichen Alters. Dabei zeigte sich in den klinischen Untersuchungen bei 40% der Patienten pathologische Spiegelaktivität, in den apparativen Untersuchungen fanden sich pathologische Spiegelbewegungen bei 56% der Patienten.

Sowohl in den klinischen als auch in den apparativen Untersuchungen zeigten sich bei den Patienten mit einseitiger motorischer Beeinträchtigung stärkere Unterschiede im Seitenvergleich beider Hände, was die durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität betraf.

Patienten mit beidseitiger motorischer Beeinträchtigung zeigten in den apparativen Untersuchungen geringere Seitendifferenzen, jedoch fanden sich in diesen Gruppen durchschnittlich höhere Gruppenmittelwerte als die Patienten mit unilateraler Schädigung. In den Patientengruppen mit beidseitiger motorischer Beeinträchtigung fanden sich auch die individuellen Höchstwerte an pathologischer Spiegelaktivität.

In den klinischen Untersuchungen folgte die Verteilung von pathologischer Spiegelaktivität keiner erkennbaren Systematik. Im Seitenvergleich beider Hände zeigten sich die größten Seitendifferenzen in der Gruppe „L“ und „Rl“, in denen pathologische Spiegelaktivität in der gesunden weniger/geschädigten Hand häufiger auftrat. Kaum Differenzen fanden sich hingegen in den Gruppen „R“, „ZoD“ und „Lr“.

Tendenziell traten pathologische Spiegelbewegungen eher auf der linken Seite auf (Ausnahmen: Gruppe „L“ und „ZoD“).

Bei Betrachtung der apparativen Ergebnisse zeigte sich in den beidseits betroffenen Patientengruppen pathologische Spiegelaktivität häufiger auf der Seite der stärker betroffenen Hand. In den Patientengruppen mit unilateraler Schädigung fand sich pathologische Spiegelaktivität häufiger auf der linken Seite bei Willkürbewegungen der rechten Hand. In der Gruppe der Patienten ohne feinmotorisches Defizit (ZoD) fanden sich unauffällige Werte verglichen mit den gesunden Kontrollen.

Bis auf eine Ausnahme (Gruppe „RI“) war pathologische Spiegelaktivität häufiger auf der linken Seite zu finden.

Was die Korrelation des Schweregrads der neurologischen Beeinträchtigung mit dem Auftreten von Spiegelaktivität betrifft, so zeigte sich in den klinischen Untersuchungen kein Hinweis auf einen Zusammenhang der beiden Parameter; die apparativen Untersuchungen sprachen jedoch für eine deutliche Korrelation zwischen neurologischem Defizit und der Auftretenshäufigkeit von pathologischer Spiegelaktivität.

Patienten ohne neurologisches Defizit zeigten keine pathologische Spiegelaktivität. Bei den Patienten mit geringgradigem neurologischen Defizit fand sich bei 14% pathologische Spiegelaktivität, bei den mittelgradig beeinträchtigten Patienten fand sich zu 50% pathologische Spiegelaktivität sowie bei 80% der schwer geschädigten Patienten.

Es zeigte sich weder in den klinischen noch in den apparativen Untersuchungen ein Hinweis darauf, daß die Seite der Schädigung einen Einfluß auf das Auftreten von Spiegelbewegungen hat. Die Mittelwerte beider Hände zeigten sowohl in der klinischen als auch in den apparativen Untersuchungen kaum Unterschiede. Dies galt auch für die Patientengruppen. Beim Vergleich der Gruppen mit links- und rechtsseitiger Schädigung (Gruppen „L“ und „R“) bzw. links- und rechtsbetonter beidseitiger Schädigung (Gruppen „Lr“ und „Rl“) fanden sich kaum Unterschiede, was die durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität betrifft. Ebenso waren in beiden Untersuchungen die Unterschiede bezüglich des Auftretens pathologischer Spiegelaktivität gering.

5 DISKUSSION

„Der Patient F.B. mit linksseitiger Hemiplegie..., gibt an, dass er, solange er denken kann, alle Bewegungen, die er mit der linken, paretischen Hand...machen will, in ganz symmetrischer Weise mit der kontralateralen gesunden Hand ausführt und zwar so energisch und fein koordiniert, als er sie mit der paretischen Hand und den Fingern machen möchte, aber nicht kann.“

Diese Kasuistik eines Patienten mit infantiler Hemiplegie von Curschmann (1906) schildert sehr eindrücklich, wie spiegelbildliche Mitbewegungen nach Schädigung des noch unausgereiften Gehirns die normale bimanuelle Koordination beeinflussen können.

Allerdings muß diese Kasuistik als Extrembeispiel für Spiegelbewegungen im Rahmen des Symptomenkomplexes der infantilen Zerebralparese gelten; seit ihrer Erstbeschreibung von Westphal 1874 wurden sie in vielen Ausprägungsgraden beschrieben, die von nicht zu unterdrückenden Formen bis hin zu nur apparativ nachweisbaren Spiegelbewegungen reichten.

Trotz der Vielfalt an vorliegenden Studien und Methoden zur Untersuchung der Spiegelbewegungen an Kindern und Erwachsenen besteht bis heute keine Klarheit über ihre Häufigkeit und ihren Ausprägungsgrad bei Zerebralparese sowie über ihren genauen Pathomechanismus.

Im folgenden sollen die bereits bekannten Untersuchungsmethoden mit der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Methodik verglichen und mögliche methodische Einschränkungen und Vorteile diskutiert werden.

5.1. Methodische Aspekte

Die bislang verwendeten Methoden zur Untersuchung von Spiegelbewegungen bei infantiler Zerebralparese umfassen ein großes Spektrum an sowohl klinischen als auch apparativen Methoden (vgl. Kapitel 1.3. S. 12ff).

Das Hauptproblem früherer Arbeiten, die Spiegelbewegungen bei Kindern und Jugendlichen mit infantiler Zerebralparese auf das Auftreten von Spiegelbewegungen untersuchten, lag in ihrer geringen Vergleichbarkeit.

Dies lag zum einen an der Heterogenität der Patientenstichproben. Unter der Diagnose „infantile Zerebralparese“ wurden Patienten mit den verschiedensten Arten der zerebralen Beeinträchtigung subsumiert (z.B. Fog & Fog 1963, Abercrombie et al. 1964).

Zum anderen war der Zeitpunkt der zerebralen Schädigung in einigen Studien sehr variabel, so daß nicht nur peri- und postnatale Läsionen mit einbezogen wurden, sondern auch bis zum 15. Lebensjahr erworbene Läsionen ohne Angabe des genauen Zeitpunkts (Woods & Teuber 1978, Lazarus 1992), die daher nicht direkt miteinander verglichen werden können.

Es fehlten zudem Angaben über die Handpräferenz der Patienten, genauere Angaben darüber, wie die Seite der motorischen Beeinträchtigung festgestellt wurde, sowie über deren Ausprägungsgrad (Fog & Fog 1963, Lazarus 1992, Nass 1985).

In vielen bisherigen Studien war jeweils nur eine vergleichsweise geringe Zahl an gesunden Kontrollpersonen vorhanden (Lazarus 1992), oder die Altersgruppen waren nicht entsprechend (Abercrombie et al. 1964, Woods & Teuber 1978), so daß allgemeingültige Aussagen über die Häufigkeit der Spiegelbewegungen bei Zerebralparese im Vergleich mit gesunden Personen kaum gemacht werden konnten.

Um diesen Einwänden Rechnung zu tragen, wurde in dieser Studie erstmals ein größeres und gut dokumentiertes Patientengut untersucht, und mit einem optimalen Kontrollkollektiv verglichen. Das Kontrollkollektiv bestand aus 133 gesunden Rechtshändern, aufgeteilt in 10 Altersgruppen mit ausgeglichener Geschlechtsverteilung (s. S. 44ff).

Um Ausmaß und Lokalisation der zerebralen Schädigung objektiv bestimmen zu können, waren die Patienten sowohl klinisch als auch apparativ nach der Lokalisation und dem Schweregrad der Schädigung in Gruppen eingeteilt worden. Damit wurde ausgeschlossen, daß beidseitig betroffene Patienten als unilateral betroffen eingeordnet wurden, was allerdings die Anzahl der isolierten Hemiparesen stark verringerte, da nach dieser Einteilung der Großteil der Patienten als beidseitig geschädigt eingestuft wurde.

Wir vermuten, daß die Zahl der isolierten Hemiparesen seltener ist als angenommen. Dies wird gestützt durch die Befunde von Touwen (1982), der in seinem Leitfaden zur Untersuchung von Kindern mit geringen neurologischen Funktionsstörungen rät, bei Kindern mit infantiler Hemiplegie stets auch eine ausführliche Untersuchung der ge-

sunden Hand durchzuführen, da oftmals in der „gesunden“ Hand ebenfalls Koordinationsstörungen gefunden werden.

Viele der bisher veröffentlichten Studien machen keine genauen Angaben darüber, wie das feinmotorische Defizit und das Ausmaß der Schädigung bestimmt wurden. Dies ist möglicherweise darin begründet, daß sich bei zerebral bedingten Störungen der Handfunktion noch kein Untersuchungsstandard durchgesetzt hat (Mai et al., 1993). In ihren Empfehlungen für klinische Messungen von Handfunktionen nennt die American Society for Surgery of the Hand (1990) lediglich zwei Verfahren: die Messung der Maximalkraft und der passiven Beweglichkeit der Gelenke. Alle anderen vorgeschlagenen Untersuchungen sind klinische Prüfungen einzelner Systeme (z. B. einzelner Muskeln oder Muskelgruppen).

In Ermangelung eines Untersuchungsstandards für zerebral bedingte Handfunktionsstörungen wählten wir ein pragmatisches Vorgehen und betrachteten die Ergebnisse des ergotherapeutischen Handfunktionstests, die Maximalkraft, sowie die maximale Frequenz der Kraftwechsel im Präzisionsgriff (s. Kap. 3.3., S. 54ff).

Da an der Ausführung des Präzisionsgriffs alleine 20 Muskeln beteiligt sind, die verschiedentlich aktiviert werden (Mai et al. 1993), ist eine gute bis mittelmäßige Handfunktion Grundvoraussetzung zur Durchführung des Präzisionsgriffs. Um Defizite der Handfunktion zu detektieren, scheint die maximale Frequenz der Kraftwechsel im Präzisionsgriff sehr geeignet.

Was die Einteilung des Schweregrads des motorischen Defizits betrifft, so muß jedoch festgestellt werden, daß die apparative Methodik an sich schon ein Auswahlkriterium darstellt. Patienten, deren Handfunktion nicht ausreichte, um die apparativen Versuche im Präzisionsgriff durchzuführen, mußten von vornherein ausgeschlossen werden. Die Aussagekraft über Spiegelbewegungen bei Patienten mit schwereren Läsionen, beispielsweise kompletten Paresen der Handmuskeln, bleibt damit eingeschränkt.

Ein Grund, warum in vielen bisherigen Studien Patienten mit Zerebralparese zum Teil ausgeschlossen werden mußten, war der Versuchsaufbau, der oft zu aufwendig war, um große Patientenstichproben zu untersuchen; in anderen war die Methodik nicht für Kleinkinder oder Patienten mit motorischen Einschränkungen geeignet (Fog & Fog 1963; Armatas et al. 1994; Lazarus 1992, Mayston et al. 1999).

Wir beschränkten uns daher auf die feinmotorische Untersuchung der Hände, da Spiegelbewegungen bei feinmotorischen Bewegungen der distalen, oberen Extremitäten besonders gut zu beobachten sind (Touwen 1982, Curschmann 1906, Durwen et al. 1997) und da eine ausschließliche Impulsleitung über pyramidale Bahnen wahrscheinlich ist (Nass 1985).

Die Aufgaben waren so gestellt worden, daß sie von Kindern und Jugendlichen mit infantiler Zerebralparese in allen Altersstufen durchführbar waren. Zusammenstellung und Länge der Aufgaben wurden so gestaltet, daß bei möglichst geringer Belastung eine sichere klinische und apparative Beurteilung von spiegelbildlichen Mitbewegungen gewährleistet wurde. Dadurch war es möglich, ein sehr großes Kollektiv von Patienten unterschiedlichen Alters, Leistungsfähigkeit und motorischen Einschränkungen zu untersuchen.

Bezüglich der klinischen Versuche (siehe Kapitel 3.1.3., S. 27) orientierten wir uns an früheren Studien (Curschmann 1906, Woods & Teuber 1978, Nass 1985). Ziel der klinischen Untersuchung war es, möglichst viele verschiedene Aspekte spiegelbildlicher Mitbewegungen zu evaluieren. Somit wurde mit den Versuchen „Sequentielle Fingeropposition“ und „Finger schnipsen“ der Einfluß der feinmotorischen Koordination auf das Auftreten von Spiegelbewegungen untersucht, wohingegen der Versuch „Finger spreizen gegen Widerstand“ den Einfluß der ausgeübten Willkürkraft auf das Auftreten und den Ausprägungsgrad von Spiegelbewegungen untersuchte.

Die apparativen Untersuchungen basieren auf dem von Fog & Fog (1963) eingeführten „clip-pinching-test“, der von Lazarus und Todor (1987) weiterentwickelt wurde. Das Drücken zweier Klammern, die in ihrem Funktionsprinzip einer Wäscheklammer ähneln, soll in der jeweils passiven Hand Spiegelbewegungen auslösen. Währenddessen zeigt ein Oszillograph die Stärke der aufgewendeten Kraft auf einem Monitor an.

In dieser Arbeit wurde der beschriebene Versuchsaufbau durch ein PC-gestütztes Instrumentarium ergänzt. Anstatt der Klammer, die für feinmotorisch stark eingeschränkte Patienten nicht geeignet ist (Fog & Fog 1963), wurden zylindrische Kraftaufnehmer verwendet, die isometrische Fingerkräfte sehr sensitiv messen. Die Kraftverläufe der aufgewendeten Fingerkräfte wurden als visuelles Feedback auf dem Monitor wiederge-

geben. In diesem PC-gestützten System war es möglich, die Versuche der individuellen Maximalkraft der Patienten anzupassen. Somit konnte verhindert werden, daß die Griffkraft das Ausmaß der spiegelbildlichen Mitbewegungen beeinflusste (Cernacek 1961, Armatas et al. 1994, Mayston et al. 1999).

Die bislang durchgeführten klinischen Untersuchungen boten meistens Schwierigkeiten in der Objektivität der Nachuntersuchung und Auswertung. Zur Beschreibung des Ausprägungsgrades der Spiegelbewegungen wurden oftmals bis zu fünfstufige Bewertungssysteme verwendet (Armatas et al. 1994, Mayston et al. 1999).

Wir entschieden uns für ein dreistufiges Bewertungssystem (siehe Tabelle 3.2, S. 30). Wenngleich eine weitere Unterteilung der Skala eine detailliertere Analyse ermöglichen würde, besteht der Vorteil dieser Skala in der einfacheren Beurteilung der Spiegelbewegungen von Seiten des Untersuchers. Die Gefahr einer stärkeren Abweichung der Ergebnisse bei unterschiedlichen Untersuchern wird durch das dreistufige System verringert.

Da die Auswertung der apparativen Versuche computergesteuert durchgeführt wurde, war eine objektive Bewertung der Spiegelbewegungen gewährleistet.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

5.2.1. Ergebnisse der Kontrollgruppe

Spiegelbildliche Mitbewegungen werden als ontogenetisch früher Greifmodus angesehen, dessen Ausmaß mit zunehmender Ausreifung des Gehirns abnimmt.

In einer parallel zu dieser Arbeit durchgeführten Doktorarbeit (Esslinger 2000) wurde eine große Zahl an gesunden Probanden systematisch auf Spiegelbewegungen im Verlauf der physiologischen Entwicklung untersucht. Dabei konnte nachgewiesen werden, daß diese physiologischen Spiegelbewegungen bis zu einem Alter von ca. 15 Jahren kontinuierlich abnehmen und danach klinisch kaum noch zu beobachten sind. Die experimentellen Daten konnten jedoch bei Probanden aller Altersstufen Spiegelbewegungen nachweisen.

Die Myelinisierung des Balkens ist zu diesem Zeitpunkt nahezu abgeschlossen und dabei sollen inhibitorische, ungekreuzte Bahnen für die Abnahme der Spiegelbewegungen zuständig sein (Nass 1985).

Diese Beobachtungen sowie elektromyographische Studien an Erwachsenen, die in den meisten Fällen Spiegelbewegungen nachweisen konnten (Cernacek 1961), sprechen für eine Disposition zu Spiegelaktivität in allen Altersstufen (Durwen et al. 1997).

Die Ergebnisse der Kontrollpersonen bestätigen diese Hypothese. Danach sollen Spiegelbewegungen vor allem dann auftreten, wenn Willkürbewegungen mit großer Kraftanstrengung oder hoher Geschwindigkeit durchgeführt werden (Rasmussen 1993).

Bei den Kontrollpersonen fanden sich die höchsten durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität bei den Aufgaben mit unimanuellen Kraftwechseln, die mit maximaler Frequenz durchgeführt worden waren (s. Abb. 4.2, S. 60). Dieses Ergebnis läßt sich mit den Beobachtungen zahlreicher klinischer Studien in Einklang bringen, die ein verstärktes Auftreten von Spiegelaktivität bei repetitiven, ermüdenden Willkürbewegungen beschreiben.

Einige Studien beschreiben Spiegelaktivität bei Normalpersonen in der rechten Hand bei Willkürbewegung der linken Hand (Cernacek 1961, Armatas et al. 1994, Durwen et al. 1997). Herzog & Durwen (1992) erklären dies durch die Lage des Wernicke-Sprachareals in der linken Hemisphäre: wird der Proband verbal aufgefordert, Willkür-

bewegungen mit der linken Hand durchzuführen, so verläuft die Impulsleitung vom Wernicke-Areal über den linken prämotorischen Kortex über den Balken zum rechten prämotorischen Kortex und die Aktivität beider Hemisphären soll dabei Spiegelaktivität auslösen. Wird der Proband hingegen aufgefordert, rechtsseitige Willkürbewegungen durchzuführen, so beschränkt sich die Impulsleitung nur auf die linke Hemisphäre, was das Auftreten von kontralateralen Spiegelbewegungen unwahrscheinlicher macht. Diese Hypothese von Herzog et al. konnte durch die Ergebnisse der gesunden Kontrollpersonen nicht belegt werden, da diese keinen signifikanten Seitenunterschied bezüglich der Ausprägung spiegelbildlicher Mitbewegungen aufwiesen (Esslinger 2000).

5.2.2. Spiegelbewegungen bei Patienten mit infantiler Zerebralparese

5.2.2.1. Häufigkeit spiegelbildlicher Mitbewegungen bei Patienten mit Zerebralparese im Vergleich mit Normalpersonen

Daß Spiegelbewegungen ein ubiquitäres Phänomen sind, zeigen die Untersuchungen der Kontrollpersonen (Esslinger 2000), bei denen sich klinisch bei 90,7% und apparativ bei 100% der Probanden Spiegelbewegungen in unterschiedlicher Ausprägung nachweisen ließen.

Bei den Patienten mit infantiler Zerebralparese fand sich *pathologische* Spiegelaktivität im Vergleich mit den gesunden Kontrollen in der klinischen Untersuchung bei 40% der Patienten, in der apparativen Untersuchung bei 56% der Patienten.

Die Gruppenmittelwerte der klinischen Untersuchung lagen zwischen 16% und 59%. Die Mittelwerte der apparativen Untersuchung beliefen sich auf Werte zwischen 0,6% und 13,1%.

Die vergleichsweise niedrigen Werte der apparativen Untersuchungen verdeutlichen, daß Spiegelbewegungen verglichen mit der Willkürbewegung mit relativ geringen Kräften einhergehen. Ähnliche Ergebnisse finden sich bei Danek (1997) und Uttner (1998), die eine ähnliche Methodik verwendeten.

Die Ergebnisse der Studie, die bei Patienten mit Zerebralparese durchschnittlich mehr Spiegelaktivität als bei gesunden Personen gleichen Alters nachweisen, sind nicht überraschend. Entsprechende Ergebnisse finden sich in vielen Fallvorstellungen und einigen Studien, die Spiegelbewegungen charakteristischerweise bei Patienten mit Zerebralparese beschreiben (Curschmann 1906, Abercrombie et al. 1964, Woods & Teuber 1978; Nass 1985).

In einer Kasuistik von Westphal (1874) zeigten die drei vorgestellten Patienten mit infantiler Hemiplegie so starke Mitbewegungen, die nicht zu unterdrücken waren, so daß die Patienten sogar die gesunde Hand bewegten, um die paretische zu bewegen.

Das Ausmaß der Mitbewegungen wuchs hier bei feinerer Koordination und bei stärkerer Anstrengung, was in Übereinstimmung mit unseren Befunden gebracht werden kann, wenn man davon ausgeht, daß das Drücken der Manipulanden im experimentellen Ver-

sich bessere Koordination und größere Anstrengung erfordert, als die vergleichsweise einfachen klinischen Untersuchungsaufgaben.

Die meisten Autoren beschreiben ein sehr gemischtes Bild, was die Auftretenshäufigkeit und den Ausprägungsgrad von Spiegelbewegungen bei Kindern mit Zerebralparese betrifft. Dabei werden stark ausgeprägte, zum Teil nicht zu unterdrückende Formen neben milden Ausprägungsformen sowie nur apparativ nachweisbarer Spiegelaktivität beschrieben (Abercrombie et al. 1964, Woods und Teuber 1978).

Die unterschiedlichen Angaben verschiedener Arbeiten zur Auftretenshäufigkeit von Spiegelbewegungen bei Zerebralparese sind möglicherweise darin begründet, daß der Zeitpunkt der zerebralen Läsion stark differierte (Woods & Teuber 1978, Nass 1985, Lazarus 1992).

Um den Einfluß des Zeitpunkts der Schädigung auf das Auftreten von Spiegelbewegungen zu überprüfen, müßten Patienten mit zerebralen Läsionen, die zu verschiedenen Zeitpunkten im Entwicklungsverlauf auftraten, untersucht werden. Da es sich bei unseren Daten fast ausschließlich um prä- und perinatal erworbene zentralnervöse Läsionen handelt, kann nicht ausgeschlossen werden, daß bei Patienten mit erworbenen zerebralen Läsionen bis zum 15. Lebensjahr andere Zahlen bezüglich der Auftretenshäufigkeit von Spiegelbewegungen zu erwarten sind und andere Mechanismen der Restitution und Kompensation gelten.

Zur Erklärung des verstärkten Auftretens von Spiegelbewegungen bei infantiler Zerebralparese ziehen einige Autoren eine kompensatorische Reorganisation des motorischen Systems nach frühkindlichen zerebralen Läsionen in Betracht (Woods & Teuber 1978, Carr 1996).

Laut Nass (1985) bedeutet dieser Reorganisationsprozess eine verbesserte Erholung der motorischen Funktionen, und Spiegelbewegungen könnten somit als Preis für die zerebrale Restitution betrachtet werden. Sie begründet dies damit, daß Spiegelbewegungen bei ihren Patienten mit kompletter Plegie des Armes abwesend waren.

Andere Autoren sehen Spiegelbewegungen als Zeichen einer beeinträchtigten neurologischen Funktion und betrachten ihr Verschwinden als Zeichen der funktionellen Reifung des Zentralnervensystems (Zazzo 1960, Fog und Fog 1963, Abercrombie et al. 1964, Connolly & Stratton 1968).

Vergleicht man die hier vorliegenden Daten der gesunden Kontrollpersonen mit denen der Patienten mit Zerebralparese, so ist bei Gesunden ein Absinken der physiologischen Spiegelbewegungen mit zunehmendem Alter als Zeichen der funktionellen Reifung anzusehen. In gleichem Maße scheinen Spiegelbewegungen bei den Patienten mit Zerebralparese ein Begleitmechanismus schwergradiger zerebraler Schädigungen zu sein, da in unseren experimentellen Daten eine positive Korrelation zwischen der Auftretenshäufigkeit pathologischer Spiegelbewegungen und der Schwere des motorischen Defizits gefunden wurde.

Auch aufgrund der Patienten ohne feinmotorisches Defizit, die sowohl in den klinischen als auch in den apparativen Untersuchungen kaum bzw. keine pathologische Spiegelaktivität aufwiesen, erscheint es unwahrscheinlich, daß Spiegelbewegungen als Indikator für eine verbesserte zerebrale Reorganisation gelten, wie von Nass (1985) vermutet.

Patienten mit Zerebralparese ohne feinmotorisches Defizit wurden bislang noch nicht systematisch untersucht. Um die Frage zu klären, ob gut rekompensierte perinatale Läsionen ein nur geringes oder physiologisches Maß an Spiegelaktivität nach sich ziehen, müßte ein größeres Patientengut ohne feinmotorische Auffälligkeiten auf das Auftreten von Spiegelbewegungen hin untersucht werden.

Leider fehlen in der vorliegenden Arbeit Daten über schwerstbetroffene Patienten, da Patienten mit kompletter Plegie nicht in die apparativen Untersuchungen eingeschlossen werden konnten.

Zur Klärung dieser Zusammenhänge wäre eine Studie wünschenswert, deren Methodik auch Patienten mit schwerstgradigen Ausprägungen der Zerebralparese berücksichtigt.

5.2.2.2. Auftreten der Spiegelbewegungen in Abhängigkeit von der Seite der zerebralen Schädigung

Von besonderem Interesse war bei der vorliegenden Untersuchung die Frage, ob Spiegelbewegungen nur bei Willkürbewegung der von einer Lähmung betroffenen Hand, also in der gesunden Hand auftreten.

In den bisher veröffentlichten Arbeiten, die die Seitenverteilung von Spiegelbewegungen bei infantiler Zerebralparese untersuchten, wurden fast ausschließlich Patienten mit Hemiparesen dargestellt. Zunächst sollen daher die Ergebnisse der Patienten mit Hemiparese diskutiert werden und mit bereits veröffentlichten Arbeiten verglichen werden.

In den klinischen Versuchen war der Ausprägungsgrad der Spiegelbewegungen (gemessen als durchschnittlicher Wert an Spiegelaktivität in % vom maximal erreichbaren Wert) gekennzeichnet von einer deutlichen Seitendifferenz: in der gesunden Hand waren die durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität jeweils höher als auf der Seite der kranken Hand, die Seitenunterschiede waren dabei zum Teil sehr ausgeprägt (s. Kap. 4.2.1.1. S. 65 ff). Pathologische Spiegelaktivität fand sich tendenziell ebenfalls häufiger auf der Seite der gesunden Hand bei Willkürbewegungen der kranken Hand.

Die apparativen Daten zeigten analoge Ergebnisse: die höheren durchschnittlichen Spiegelquotienten fanden sich in der gesunden Hand bei Willkürbewegung der kranken Hand. Auch hier zeigte sich eine starke Seitendifferenz. Pathologische Spiegelaktivität zeigte sich hier häufiger auf der linken Seite.

Entsprechende Ergebnisse finden sich in der Literatur. Ein verstärktes Auftreten der Spiegelbewegungen bei Patienten mit Hemiparese wurde in der gesunden Hand bei Willkürbewegung der kranken Hand beschrieben (Nass 1985, Woods & Teuber 1978, Lazarus 1992, Durwen et al. 1997, Meyer 1992). Ebenso fanden Nass (1985) und Woods & Teuber (1978) das höchste Maß an pathologischer Spiegelaktivität in der gesunden Hand bei Willkürbewegung der geschädigten Hand.

Nass begründet dies durch die Disinhibitionstheorie: durch die einseitige hemisphärische Läsion würden transcallosal übermittelte inhibitorische Impulse verhindert, die eine Impulsleitung in ungekreuzten kortikospinalen Bahnen auf der Seite der Läsion erlaubt und somit verstärktes Auftreten von Spiegelbewegungen hervorruft.

Auch Kutzt-Buschbeck et al. (2000) beschreiben bei Kindern und Jugendlichen mit infantiler Hemiparese ein verstärktes Auftreten von Spiegelbewegungen in der gesunden Hand bei Willkürbewegung der kranken Hand.

Als Erklärung zieht er sowohl die Theorie von Nass (1985) als auch die Möglichkeit der bilateralen kortikalen Aktivierung in Betracht, die aus einem Mangel an interhemisphärischer Inhibition resultiert, die normalerweise den Motorkortex ipsilateral zur der aktiven Hand hemmen soll.

Curschmann (1906) und Abercrombie und Mitarbeiter (1964) fanden hingegen keine Seitendifferenz bezüglich des Auftretens der Spiegelbewegungen.

Ersteres Ergebnis kann durch einen Mangel an Probanden verursacht sein, da Curschmann nur sporadische Fälle beschrieb. Bei Abercrombie et al. beruht das unklare Resultat möglicherweise auf der ungeeigneten Methodik, da viele ihrer Patienten mit Hemiparese nicht an den klinischen Versuchen teilnehmen konnten.

Vergleicht man unsere Ergebnisse mit den bereits veröffentlichten, so ist anzunehmen, daß bei Patienten mit einer isolierten Hemiparese Spiegelbewegungen häufiger und ausgeprägter auf der gesunden Seite auftreten. Sowohl klinische als auch apparative Untersuchungen an einem größeren, homogenen Patientengut mit isolierten Hemiparesen sind hier wünschenswert.

Die Patienten mit bilateralem feinmotorischen Defizit stellten die größte Patientengruppe der vorliegenden Arbeit dar.

In den klinischen Untersuchungen zeigten sich in diesen Patientengruppen relativ hohe durchschnittliche Werte an Spiegelaktivität (vgl. Kap. 4.2.1.2., S. 67ff), die kaum Seitendifferenz aufwiesen. Die höheren Werte jedoch fanden sich auf der Seite der weniger betroffenen Hand bei Willkürbewegung der stärker betroffenen Hand. Prozentual zeigte sich klinisch in der linken Hand häufiger pathologische Spiegelaktivität als in der rechten Hand.

In den apparativen Versuchen zeigte sich eine ähnliche Tendenz zum verstärkten Auftreten von Spiegelbewegungen in der weniger geschädigten Hand, jedoch zeigte sich Spiegelaktivität prozentual häufiger in der stärker geschädigten Hand.

Unseres Wissens liegen bislang keine vergleichbaren Daten für Patienten mit bilateraler motorischer Beeinträchtigung bei Zerebralparese vor.

Foerster (1903) beschreibt in einem Fallbericht sehr stark ausgeprägte Mitbewegungen nicht nur der homologen Muskeln bei einem Patienten mit bilateraler Schädigung, ebenso fand Curschmann bei Patienten mit Diplegien eine „enorme Ausbreitung“ der kontralateralen Mitbewegungen. Abercrombie et al. (1964) fanden bei Patienten mit bilateraler Schädigung eine große Variabilität der Mitbewegungen.

Auch in unserer Studie zeigten sich höhere durchschnittliche Werte an Spiegelaktivität im Vergleich mit den Patienten mit unilateraler Schädigung.

Dies könnte dadurch bedingt sein, daß eine bilaterale Läsion die inhibitorischen Mechanismen beider Hemisphären enthemmt.

Die Tendenz, derzufolge höhere durchschnittliche Werte an Spiegelaktivität in der weniger geschädigten Hand von beidseitig betroffenen Patienten auftraten, kann erklärbar sein durch dieselben Mechanismen, die Spiegelbewegungen bei Patienten mit Hemiparese bevorzugt auf der gesunden Seite hervorrufen. Daß die apparativen Untersuchungen andere Ergebnisse zur Häufigkeit der Spiegelbewegungen in einer Hand liefern als die klinischen Ergebnisse, kann dadurch begründet sein, daß die apparativen Daten eine kraftabhängige Testung der Spiegelbewegungen durchführte, die in den klinischen Versuchen kaum berücksichtigt wurde.

Wenn man eine unterschiedliche Organisation der Hemisphären berücksichtigt, könnten im Falle der beidseits betroffenen Patienten unterschiedliche Mechanismen zur Auslösung der Spiegelbewegungen zum Tragen kommen.

Ob bei Patienten mit Zerebralparese eine Seitenpräferenz der Spiegelaktivität existiert, die Hinweise auf eine unterschiedliche Organisation der Hemisphären nach konnataler Schädigung geben kann, soll im folgenden diskutiert werden.

5.2.2.3. Spiegelbewegungen in Abhängigkeit vom Schweregrad des neurologischen Befundes

Um den Schweregrad des neurologischen Befundes objektiv festlegen zu können, wählten wir mangels genauer medizinischer Befunde ein Einteilungssystem, das die Patienten nach dem Ausmaß der motorischen Beeinträchtigung in Gruppen einteilte (s. Kap. 3.3., S. 54ff). Patienten, die sehr stark motorisch beeinträchtigt waren, hatten vorwiegend schlechte Ergebnisse im Handfunktionstest bzw. zeigten geringe Maximalkraft sowie maximale Frequenz der Kraftwechsel. Nachdem diese Parameter eine gute Korrelation untereinander zeigten (s. Kap. 3.3., S. 54ff), legten wir uns auf eine Beurteilung des neurologischen Befundes nach diesem System fest.

Nach den vorliegenden klinischen Ergebnissen zeigte sich keine Korrelation zwischen dem Ausmaß des feinmotorischen Defizits und dem Auftreten von pathologischer Spiegelaktivität (s. Kap. 4.2.1.4., S. 68). Am häufigsten fand sich pathologische Spiegelaktivität in der Gruppe der Patienten mit einem mittelgradigen motorischen Defizit.

Entsprechende Befunde zeigten sich bei Woods & Teuber (1978), die in ihren klinischen Untersuchungen fanden, daß Patienten mit der stärksten motorischen Beeinträch-

tigung keine Spiegelbewegungen mehr zeigten und die meisten Spiegelbewegungen bei Patienten mit weniger stark ausgeprägter motorischer Beeinträchtigung fanden.

Ebenso beschreibt Nass (1985), daß Patienten mit kompletter Plegie des Armes keine Spiegelaktivität mehr zeigen - als Erklärung soll hierfür die These gelten, daß Spiegelbewegungen ein Zeichen für verbesserte zentralnervöse Reorganisation seien.

In den hier vorgestellten apparativen Untersuchungen zeigte sich hingegen eine klare Korrelation zwischen dem Ausmaß der feinmotorischen Beeinträchtigung und dem Auftreten pathologischer Spiegelaktivität. Je stärker das feinmotorische Defizit war, um so mehr pathologische Spiegelbewegungen traten in den jeweiligen Patientengruppen auf. Entsprechende Ergebnisse finden sich bei Foerster (1903) und Carr und Mitarbeitern (1993).

Eine neuere Studie, die Patienten mit infantiler Hemiparese auf Spiegelbewegungen hin sowohl klinisch als auch mit einer computergestützten Analyse der Kraftwechsel im Präzisionsgriff untersuchte, zeigte keine Korrelation zwischen dem Schweregrad des neurologischen Befundes und der Ausprägung der Spiegelbewegungen (Kutzt-Buschbeck et. al. 2000). Kutzt-Buschbeck und Mitarbeiter untersuchten das feinmotorische Defizit mittels zweier Handfunktionstests, die zum einen die Geschicklichkeit der Hände maßen (die Patienten wurden angehalten, so schnell wie möglich kleine hölzerne Würfel aus einem Kästchen zu sammeln) sowie die bimanuellen Handfunktionen, indem festgestellt wurde, wie viel Assistenz beim Ausführen bimanueller Tätigkeiten durch die kranke Hand nötig war. Weiterhin testeten sie die Spastik beider Arme mittels passiver Ellbogen-Extension/Flexion, Unterarm-Pronation/Supination und Handgelenks-Flexion/Extension. Diese Parameter sowie die erzielte Griffkraft wurden mit dem Ausmaß der Spiegelbewegungen in ihren klinischen und apparativen Versuchen korreliert, wobei sich keine Korrelation der Parameter fand. Lediglich zwischen bimanueller Koordination und dem Ausmaß an Spiegelbewegungen zeigte sich eine positive Korrelation, was nach Kutzt-Buschbeck auf der Tatsache beruht, daß sich Spiegelbewegungen hemmend auf die intermanuelle Koordination auswirken.

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen könnten darin begründet sein, daß Kutzt-Buschbeck nur Handfunktionen und ihre Auswirkungen auf das Ausmaß der Spiegelbewegungen untersuchte, nicht jedoch auf die Auftretenshäufigkeit pathologischer

Spiegelbewegungen im Vergleich mit gesunden Normalpersonen, möglicherweise weil die Kontrollgruppe zu klein war.

Leider fehlen in den meisten Studien, die bislang das Ausmaß von feinmotorischer Funktionseinschränkung berücksichtigten, genauere Angaben, wie das Ausmaß des feinmotorischen Defizits festgestellt wurde. Um eine Korrelation der beiden Parameter endgültig zu klären, müßten Patienten mit stark unterschiedlichen Schweregraden der Zerebralparese sowohl klinisch als auch apparativ untersucht werden, sowohl auf das Vorkommen von pathologischer Spiegelaktivität als auch auf eine Korrelation vom Ausmaß der Spiegelaktivität und der Schwere des Befundes.

Die Tatsache, daß in der vorliegenden Untersuchung Spiegelbewegungen klinisch am häufigsten bei den Patienten zu beobachten waren, die nur mittelgradig motorisch eingeschränkt waren, und daß in den apparativen Untersuchungen das Auftreten von Spiegelbewegungen mit dem Schweregrad der motorischen Einschränkung positiv korrelierte, ist dadurch zu erklären, daß die klinische Beurteilung bei sehr ausgeprägten neurologischen Befunden eingeschränkt ist. Spiegelbewegungen, die durch eine ausgeprägte Spastik, Kontrakturen oder Kraftminderung klinisch nicht mehr nachzuvollziehen sind, könnten bei der sehr sensitiven apparativen Untersuchung detektiert werden.

Die entspricht den Beobachtungen Curschmanns (1906), der bei fast allen seiner Patienten mit infantiler Hemiplegie Spiegelbewegungen fand, wobei Spiegelbewegungen lediglich bei kompletter Hemiplegie, bzw. Kontrakturen, die eine Willkürbewegung nicht ermöglichten, abwesend waren.

Außerdem muß in Betracht gezogen werden, daß sich Spiegelbewegungen bei klinischer und apparativer Untersuchung in unterschiedlicher Weise manifestieren und daß, wie bereits in der Untersuchung der Kontrollpersonen vermutet, mit den verwendeten Untersuchungsmethoden Manifestationen verschiedener Subsysteme getestet wurden (Esslinger 2000).

Um diese Zusammenhänge genauer zu untersuchen, wäre eine Studie wünschenswert, die die verschiedenen Aspekte der motorischen Beeinträchtigung bei infantiler Zerebralparese (u.a. Spastik, Kraftminderung, Geschicklichkeit) und deren Korrelation mit der Auftretenshäufigkeit und dem Ausprägungsgrad pathologischer Spiegelbewegungen untersucht.

5.2.3. Einfluß der Seite der Hirnschädigung auf das Auftreten von Spiegelbewegungen

Bei Normalpersonen haben zahlreiche Studien Spiegelbewegungen in der rechten Hand nachgewiesen, wenn die linke Hand willkürlich bewegt wurde, jedoch ließ sich bei unseren gesunden Kontrollpersonen kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen rechter und linker Hand bezüglich der Ausprägung von Spiegelbewegungen nachweisen (Esslinger 2000).

Betrachtet man diese Ergebnisse der gesunden Personen, so stellt sich die Frage, ob Patienten nach prä- und perinataler zerebraler Schädigung eine Seitendifferenz aufweisen, was das Auftreten von Spiegelbewegungen betrifft, und ob dabei die Seite der Hirnschädigung einen entscheidenden Einfluß ausübt.

Bei Kindern und Jugendlichen mit Zerebralparese wurden entsprechende Zusammenhänge unseres Wissens bislang noch nicht systematisch untersucht.

In den vorliegenden klinischen und apparativen Daten fanden sich nur sehr geringe Unterschiede, was die durchschnittlichen Werte an Spiegelaktivität auf beiden Seiten betrifft. Die Auftretenshäufigkeit pathologischer Spiegelaktivität zeigte ebenfalls kaum Seitendifferenz im Vergleich beider Hände.

Um die Frage zu beantworten, ob die Seite der Läsion einen Einfluß auf das Auftreten von Spiegelbewegungen hat, wurden zunächst die Patienten mit isolierter Hemiparese betrachtet. Der Ausprägungsgrad der Spiegelaktivität sowie die Auftretenshäufigkeit pathologischer Spiegelaktivität konnte in beiden Gruppen nur sehr geringe Unterschiede aufzeigen, nachdem die Mittelwerte beider Hände innerhalb der Gruppen zusammengefaßt und miteinander verglichen wurden.

Dies galt in gleicher Weise für die klinischen als auch für die apparativen Versuche (vgl. Kap. 4.2.1.1., S. 65 und Kap. 4.2.2.1., S. 76).

Die Daten der Patienten mit bilateraler motorischer Schädigung sind ebenfalls kaum unterschiedlich.

Nachdem wiederum die durchschnittlichen Werte von rechter und linker Hand zu einem Wert zusammengefaßt worden waren, zeigten sowohl die klinischen als auch die apparativen Untersuchungen keine nennenswerten Unterschiede bezüglich der durchschnittlichen Spiegelaktivität oder der Häufigkeit pathologischer Spiegelaktivität.

Unsere Daten sprechen gegen einen Einfluß der Seite der Schädigung auf das Auftreten von pathologischen Spiegelbewegungen – interessanterweise waren weder in den klinischen noch in den experimentellen Untersuchungen ausgeprägte Unterschiede zwischen den einzelnen Patientengruppen zu finden.

Eine allgemeingültige Folgerung kann jedoch aufgrund der geringen Fallzahlen in den einzelnen Patientengruppen sowie mangels bildgebender Verfahren zur Lokalisation der zerebralen Schädigung nicht gemacht werden.

Um die Frage nach dem Einfluß der Seite der Schädigung auf das Auftreten von Spiegelbewegungen zu beantworten, wäre eine Untersuchung an einer größeren Gruppe von Patienten mit infantiler Hemiparese, deren Lokalisation der Schädigung bildgebend dokumentiert ist, wünschenswert.

5.3. Hirnanatomische Grundlagen der Spiegelbewegungen bei Zerebralparese

5.3.1. Die Rolle der Disinhibitionstheorie

Im Zusammenhang mit der Entstehung von Spiegelbewegungen ist wiederholt die Rolle des Balkens als hemmende Struktur diskutiert worden. Dabei wird vermutet, daß das Corpus callosum für die Unterdrückung ipsilateraler motorischer Impulse verantwortlich ist (z.B. Westphal 1874, Nass 1985, Ferbert et al. 1992). Diese These scheint plausibel, wenn man die Tatsache berücksichtigt, daß bei Gesunden Spiegelbewegungen zeitgleich mit zunehmender Myelinisierung des Balkens abnehmen (Nass 1985).

Für die Spiegelbewegungen bei Zerebralparese ist das Konzept der Hemmung relevant, da eine Disinhibition nach Hirnschädigung Spiegelbewegungen provozieren könnte. Spiegelbewegungen wären nach dieser Hypothese vornehmlich in der gesunden Hand zu erwarten (s. Kap. 1.4.1., S. 15f).

Diese Theorie kann allerdings unsere Befunde an Patienten mit Hemiparese nicht ausreichend erklären, da die Spiegelbewegungen sowohl ipsiläsional als auch kontraläsional auftraten.

5.3.2. Die Rolle abnormer ipsilateraler Bahnen für die Entstehung von Spiegelbewegungen

In den letzten Jahren sind vermehrt Hinweise gefunden worden, daß nach Schädigung der Pyramidenbahn abnorme ipsilaterale Bahnen die synergistische Motorik übernehmen. Diese von Zülch (1975) als „parapyramidal“ bezeichneten Bahnen sollen das hirnanatomische Korrelat der Spiegelbewegungen darstellen.

In einem Fallbericht beschreibt er einen Patienten mit infantiler Hemiplegie, dessen Pyramidenbahn aufgrund einer ausgeprägten Porencephalie auf der geschädigten Seite morphologisch nicht mehr zu erkennen war. Dagegen schien die Pyramidenbahn kontralateral verdickt, wobei es sich jedoch nur um eine Verdickung der Myelinscheiden handelte (Zülch 1975). Laut Zülch sind die sogenannten parapyramidalen Systeme verantwortlich für die Ersatzbewegungen der geschädigten Seite, die dann ursächlich die

Spiegelbewegungen der geschädigten Seite hervorrufen könnten, wobei unklar ist, wo diese parapyramidalen Bahnen verlaufen. Zülch zieht ein sogenanntes „archaisches“ motorisches System in Betracht, das normalerweise im Verlauf der zerebralen Entwicklung durch die höheren Funktionen des pyramidalen Systems unterdrückt wird, und nach Schädigung der Pyramidenbahn die Willkürmotorik übernimmt – als „parapyramidales“ Ersatzsystem.

Um solche parapyramidalen Bahnen zu detektieren, sind phänomenologische Ansätze wie in der vorliegenden Arbeit naheliegend; jedoch sind physiologische, bildgebende und tierexperimentelle Studien zur Ergänzung der reinen Phänomenologie notwendig.

Ein physiologischer Ansatz wurde von Carr et al. (1993) unternommen, die nach fokaler Magnetstimulation bei Patienten mit Hemiparese ipsilateral aussprossende Bahnen vom gesunden Motorkortex zur gelähmten Hand in Erwägung zogen.

Die Ergebnisse von Carr stützen sich vor allem auf Untersuchungen, die bei den Patienten mit ausgeprägten Spiegelbewegungen bilaterale EMG-Antworten mit kurzer Latenz nach Stimulation des nicht betroffenen Motorkortex hervorriefen.

Gegen eine transkallosale Vermittlung des motorischen Impulses spricht die Tatsache, daß die bilateralen Antworten ohne entsprechende zeitliche Latenz auftraten.

Die Vermutung liegt nahe, daß kortikospinale Axone von der gesunden zur denervierten Seite hin aussprossen könnten und dort beiderseits Motoneurone innervieren können (s. Kap. 1.4.2., S. 17f.)

Tierexperimentelle Funde unterstützen diese Theorie: Kuang und Kalil (1990) fanden eine Aussprossung der kortikospinalen Axone von der gesunden zur denervierten Seite des Rückenmarks. Zu erwarten wären hier Spiegelbewegungen auf der kranken Seite bei Bewegungen der gesunden Hand.

Weiterhin finden sich Hinweise auf die Entwicklung von neuen, kortikospinalen Bahnen in einigen Studien, die die funktionelle Kernspintomographie verwendeten.

Cao und Mitarbeiter (1994) untersuchten Patienten mit perinatal erworbener Hemiparese, wobei die Patienten sowohl mit der rechten als auch mit der linken Hand mit maximaler Frequenz eine sequentielle Fingeropposition ausführen sollten.

Wenn sich die gesunde Hand willkürlich bewegte, fanden sich nur in der kontralateralen Hemisphäre fMRI-Signale, woraus geschlossen werden kann, daß die gesunde Hand mit der kontralateralen Hemisphäre verbunden ist.

Bei willkürlicher Bewegung der paretischen Hand, fanden sich die Signale in beiden Hemisphären, das heißt, daß die paretische Hand sowohl mit dem ipsilateralen, als auch mit dem kontralateralen Motorkortex verbunden sein muß.

Spiegelbewegungen fanden sich hauptsächlich bei Bewegung der paretischen Hand, aber auch bei Bewegung der gesunden Hand.

Um die Bahnen zu dokumentieren, gewinnen auch anatomische Studien, die die Plastizität des unausgereiften Zentralnervensystems von Nagern darstellen, an Bedeutung.

Außer den Funden von Hicks und D'Amato (1970), die bei Nagern nach Hemisphärektomie neue, ungekreuzte Bahnen zum ipsilateralen Rückenmark darstellen konnten, sind in jüngster Zeit noch weitere tierexperimentelle Belege für die Plastizität des noch unausgereiften Gehirns mit der Möglichkeit zur Ausbildung neuer kortikospinaler Bahnen gefunden worden.

Blöchlinger und Mitarbeiter (2001) konnten im Tierexperiment zeigen, daß im Zentralnervensystem adulter Ratten spezielle Wachstumsinhibitoren ein Aussprossen von zentralen kortikospinalen Bahnen verhindern. Nach Neutralisation dieser Wachstumsfaktoren konnten die Autoren ein kompensatorisches Aussprossen von kortikofugalen Fasern von der Seite der Läsion über den ipsilateralen Nucleus ruber über die Mittellinie zu den kontralateralen pontinen Kerngebieten nachweisen. Sie vermuten, daß eine Regeneration über die sogenannte kortiko-rubro-spinale Schlaufe möglich ist.

Papadopoulos et al. (2002) konnten nachweisen, daß nach Okklusion der A. cerebri media die „Handmotorik“ der Ratten kontraläsional behindert wurde; nach Neutralisation von Nogo-A (einem myelinassozierten Neuriten-Wachstumsinhibitor) durch monoklonale Antikörper verbesserte sich diese wieder.

Es erscheint naheliegend, daß beim Menschen ähnliche Mechanismen nach Schädigung des unausgereiften Gehirns in Kraft treten und daß de novo gebildete Bahnen über diesen kortiko-rubro-spinalen Umweg einerseits die Regeneration der Handmotorik, andererseits pathologische Spiegelbewegungen hervorrufen. Bei Willkürbewegung der kran-

ken Hand könnten diese neuen Bahnen Spiegelbewegungen in der gesunden Hand auslösen.

5.3.3. Die Rolle der bilateralen kortikalen Aktivität

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit für das Auftreten von Spiegelbewegungen bei Patienten mit Zerebralparese bietet die Theorie der bilateralen kortikalen Aktivität, wie auch bei Mayston et al. (1999) beschrieben (s. Kapitel 1.4.4., S.20 f).

Mayston et. al. schlossen aus den Ergebnissen ihrer EMG-Studie an gesunden Kindern und Erwachsenen, daß Spiegelbewegungen aufgrund fehlender Latenzen auf der Seite der Spiegelhand bei Kindern aus einer bilateralen kortikalen Aktivität resultieren, die erst mit zunehmender Reifung des Balkens durch transcallosale Inhibitionsmechanismen reduziert werden. Nach einer einseitigen Hemisphärenläsion könnten diese Mechanismen wegfallen und somit nach Schädigung des nicht ausgereiften Zentralnervensystems pathologische Spiegelaktivität in der kranken Hand verursachen.

Unterstützung erhält diese Theorie durch die Untersuchungen von Weiller et al. (1993), die bei Patienten mit Hemiplegie mittels Positron-Emissions-Tomografie bilaterale kortikale Aktivierung nur dann nachweisen konnten, wenn die kranke Hand bewegt wurde und in der gesunden Hand Spiegelbewegungen auftraten.

Möglicherweise kann das Modell der bilateralen motorischen Aktivität im Zusammenhang mit ein- oder beidseitigen SMA-Läsionen die Spiegelbewegungen bei Patienten mit infantiler Zerebralparese erklären.

Diese Überlegung wird gestützt durch die Befunde von Brinkman (1981), der bei Makaken nach einseitigen SMA-Läsionen ausgeprägte Spiegelbewegungen beobachtete.

In weiteren Experimenten konnte gezeigt werden, daß eine zusätzliche Läsion des Balkens oder der zweiten SMA zum Verschwinden der Mitbewegungen führte (vgl. Wiesendanger et al. 1994).

Diese Befunde können unter Umständen für die Patienten mit bilateraler Schädigung herangezogen werden, denn damit wäre die Tatsache zu erklären, warum sich besonders diese Patientengruppe mit den unterschiedlichsten Ausprägungen von pathologischer Spiegelaktivität präsentierte. Dabei existierten Patienten ohne pathologische Spiegelbewegungen neben solchen, die entweder in der stärker oder weniger betroffenen Hand

Spiegelbewegungen zeigten, und schließlich Patienten, die hohe Spiegelaktivität in beiden Händen aufwiesen.

Allerdings kann auch diese Theorie alleine die Befunde der Patienten mit Hemiparesen nicht erklären.

5.3.4. Evaluation der verschiedenen Theorien

Nach Betrachtung aller Theorien im Vergleich mit unseren Daten ist es unwahrscheinlich, daß sich Spiegelbewegungen bei Zerebralparese durch eine einzige Theorie erklären lassen, da einerseits die klinischen Manifestationen des Symptomenkomplexes der Zerebralparese vielfältig sind, andererseits das Auftreten und die Lokalisation der Spiegelbewegungen sehr variabel und im Einzelfall nicht vorhersagbar sind.

Die Hypothese der de novo gebildeten Bahnen (III) sowie die Disinhibitionstheorie (I) sind nur für die Patienten mit Hemiparese plausibel, da sie Spiegelbewegungen in der gesunden Hand vermuten lassen.

Jedoch zeigten einige unserer Patienten mit Hemiparese auch in der kranken Hand Spiegelbewegungen, so daß auch für die Patienten mit Hemiparese weitere Theorien erwogen werden müssen.

Für die bilateral geschädigten Patienten ist eine Kombination aus mehreren Hypothesen wahrscheinlich, da sich Spiegelbewegungen beidseits, jedoch verstärkt auf der kranken Seite zeigten. Hierbei wären Hypothese II (Aussprossen der ipsilateralen Bahnen auf spinaler Ebene) oder IV (bilaterale kortikale Aktivität) in Betracht zu ziehen, da diese Theorien Spiegelbewegungen in der kranken Hand beschrieben.

Da die meisten Theorien den Balken als zentrale Struktur nennen, kann eine variable Schädigung des Balkens besonders bei bilateral geschädigten Patienten Spiegelaktivität hervorrufen.

Eine weitere Möglichkeit ist die zeitliche „Staffelung“ der verschiedenen Theorien- je nach Zeitpunkt der zerebralen Läsionen können die verschiedenen Theorien zum Tragen kommen.

Dabei ist von verschiedenen „vulnerablen“ Phasen einzelner zerebraler Strukturen auszugehen, die wie bereits im Tiermodell dargestellt, nur für einige Zeit einen kompensatorischen Mechanismus zur zerebralen Restitution und der gleichzeitigen Entwicklung von Spiegelbewegungen auslösen können.

Die Tatsache, daß bei unseren Patienten der Zeitpunkt der zerebralen Läsion zum Teil variabel war, unterstützt diese Annahme.

Für die Zukunft sind weitere Studien notwendig, die die Phänomenologie besonders im Zusammenhang mit eindeutiger Bildgebung an einem größeren und vor allem homogenen Patientenkollektiv bezüglich des Zeitpunkts der zerebralen Läsion untersuchen.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Spiegelbildliche Mitbewegungen sind Mitbewegungen homologer Muskelgruppen der Gegenseite bei einseitigen Willkürbewegungen, die sowohl bei gesunden Individuen, als auch bei Patienten mit zerebralen Läsionen beobachtet werden. Spiegelbewegungen gelten als Ausdruck von Reorganisationsprozessen im Zentralnervensystem; über ihre Häufigkeit, Phänomenologie und ihre Grundlagen ist aber immer noch wenig bekannt.

Bei Patienten mit infantiler Zerebralparese wurden spiegelbildliche Mitbewegungen mehrfach berichtet. Zur Erklärung werden unter anderem eine durch die Hirnläsion bedingte Disinhibition vorbestehender ipsilateral deszendierender Anteile der motorischen Bahnen diskutiert, ferner das Aussprossen neuer Bahnen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das Vorkommen und die Phänomenologie von Spiegelbewegungen bei infantiler Zerebralparese klinisch und apparativ zu untersuchen, sowie mögliche Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich Ausprägung und Lokalisation der Spiegelbewegungen (z.B. in Bezug auf die Seite der Hirnschädigung) zu identifizieren. Es wurden 52 Patienten mit infantiler Zerebralparese (weiblich: 13; männlich: 39) im Alter von 6 bis 41 Jahren untersucht, davon 11 Patienten mit Hemiparese (unilaterale Schädigung), 37 Patienten mit bilateraler, seitenbetonter Schädigung und 4 Patienten mit Zerebralparese ohne feinmotorisches Defizit. Die Befunde wurden mit denen einer Kontrollgruppe, die in einer parallelen Arbeit untersucht wurde, verglichen.

Neben der klinischen Prüfung mit vier Aufgaben (sequenzielle Fingeropposition, Fingerschnipsen, Faust öffnen, Finger spreizen gegen Widerstand) wurde apparativ, computergestützt, simultan in beiden Händen die Kraft aufgezeichnet, die auf je ein im Präzisionsgriff zwischen Daumen und Zeigefinger gehaltenes zylindrisches Objekt ausgeübt wurde. Eine Hand sollte willkürliche Kraftwechsel mit höchstmöglicher Frequenz ausführen, während für die andere Hand keine spezielle Instruktion erteilt wurde.

Spiegelbewegungen in der klinischen Untersuchung waren unterschiedlich stark ausgeprägt: von vollständigem Fehlen bis hin zur maximal möglichen Ausprägung (100%: Höchstwerte in allen vier handmotorischen Aufgaben). Sie waren bei 40% der Patienten pathologisch, d.h. stärker ausgeprägt als das von den altersentsprechenden gesunden Kontrollpersonen erreichte Maximum. Bei 13 Patienten war nur eine Hand betroffen, bei 8 Patienten beide Hände.

In der apparativen Untersuchung variierten die Verhältnisse der Kräfte zwischen „Spiegelhand“ und willkürlich bewegter Hand von Mittelwerten von 0,51% bis hin zu 207% zwischen den einzelnen Patienten (maximal also doppelt so viel Spiegelaktivität wie Willküraktivität). Gemessen an den Höchstwerten der altersentsprechenden Kontrollpersonen war diese Aktivität bei 56% der Patienten pathologisch.

Klinisch traten Spiegelbewegungen eher bei Willkürbewegung der betroffenen Hand auf, insbesondere bei Hemiparese. In den experimentellen Untersuchungen fand sich ebenfalls eine ausgeprägte Seitendifferenz bei den Patienten mit unilateraler Beeinträchtigung. Pathologische Spiegelaktivität fand sich bei den Patienten mit Hemiparese tendenziell häufiger in der gesunden Hand (also bei Willkürbewegung der betroffenen Hand), bei den Patienten mit bilateraler Schädigung eher in der stärker betroffenen Hand.

Eine Korrelation mit dem Schweregrad des neurologischen Befundes zeigte sich in der klinischen Untersuchung nicht. In den apparativen Untersuchungen hingegen zeigte sich eine deutliche Korrelation: pathologische Spiegelaktivität trat umso häufiger auf, je ausgeprägter das feinmotorische Defizit war. Es fand sich kein Hinweis für einen Einfluß der Seite der Läsion auf das Auftreten und den Ausprägungsgrad von Spiegelbewegungen.

Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse, daß pathologische Spiegelbewegungen bei Zerebralparese häufig sind. Eine regelhafte Beziehung hinsichtlich ihres Ausprägungsgrades oder ihrer Lokalisation (ipsi-/kontraläsional) war in dieser Untersuchung aber nicht erkennbar. Zur Erklärung bei Hemiparese kommen insbesondere die „Disinhibitionshypothese“ und die „Hypothese der neuen kortikospinalen Bahnen“ in Frage, da sie das Auftreten von Spiegelbewegungen in der gesunden Hand voraussagen. Eine Entscheidung zwischen den unterschiedlichen Erklärungsmöglichkeiten ist aber aufgrund des hier verfolgten rein phänomenologischen Ansatzes nicht möglich. Zudem sind vermutlich je nach Zeitpunkt der Hirnschädigung unterschiedliche Mechanismen für den ätiologisch heterogenen Befund abnormer Spiegelbewegungen verantwortlich.

7 LITERATURVERZEICHNIS

1. Abercrombie MLJ, Lindon RL & Tyson MC (1964) Associated movements in normal and physically handicapped children. *Dev. Med. Child Neurol.* 6: 573-580
2. American Society for Surgery of the Hand (1990) *Die Hand. Klinische Untersuchung und Diagnostik. Primärtherapie häufiger Erkrankungen und Verletzungen.* Springer-Verlag, Heidelberg
3. Armatas CA, Summers JJ & Bradshaw JL (1994) Mirror movements in normal adult subjects. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 16: 405-413
4. Blöchlinger S, Weinmann O, Schwab ME, Thallmair M (2001) Neuronal plasticity and formation of new synaptic contacts follow pyramidal lesions and neutralization of Nogo-A: A light and electron microscopic study in the pontine nucleus of adult rats. *J. Comp. Neurol.* 433: 426-436
5. Brinkman C (1981) Lesions in supplementary motor area interfere with a monkey's performance of a bimanual coordination task. *Neurosci. Lett.* 27: 267-270
6. Burr CW & Crow CB (1913) Mirror writing and other associated movements occurring without palsy. *J. Nerv. Ment. Dis* 40: 300-302
7. Cao Y, Vikingstad EM, Huttenlocher PR, Towle VL & Levin DN (1994) Functional magnetic resonance studies of the reorganization of the human hand sensorimotor area after unilateral brain injury in the perinatal period. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 9612-9616
8. Carr LJ, Harrison LM, Evans AL & Stephens JA (1993) Patterns of central motor reorganisation in hemiplegic cerebral palsy. *Brain* 116: 1223-1247

9. Carr LJ (1996) Development and reorganization of descending motor pathways in children with hemiplegic cerebral palsy. *Acta Paediatr. Suppl.* 416: 53-7.
10. Cernacek J (1961) Contralateral motor irradiation - cerebral dominance: its changes in hemiparesis. *Arch. Neurol.* 4: 165-172
11. Cohen HJ, Taft LT, Mahadeviah MS, Birch HG (1967) Developmental changes in overflow in normal and aberrantly functioning children. *J. Pediatr.* 71, 39-47
12. Collier JS (1924) The pathogenesis of cerebral diplegia. *Proc. R. Soc. Med* 17: 1-11
13. Connolly K & Stratton P (1968) Developmental changes in associated movements. *Dev. Med. Child Neurol.* 10: 49-56
14. Curschmann H (1906) Beiträge zur Physiologie und Pathologie der kontralateralen Mitbewegungen. *Dtsch. Z. Nervenheilkd.* 31: 1-52
15. Danek A, Heye B & Schroedter R (1992) Cortically evoked motor responses in patients with Xp22.3-linked Kallmann's syndrome and in female gene carriers. *Ann. Neurol.* 31: 299-304
16. Danek A (1995) Bilateral representation in the nervous system: The model of mirror movements. In: Siegenthaler W, Haas R (eds) *Publikationen der Jung-Stiftung für Wissenschaft und Forschung, Band 7.* Thieme-Verlag, Stuttgart, pp 15-19
17. Danek A (1997) Spiegelbildliche Mitbewegungen: Phänomenologie, kortikale Mechanismen und mögliche Bedeutung für die Restitution zentraler Paresen. *Habilitationsschrift, Medizinische Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität, München*
18. Della Sala S, Marchetti C, Spinnler H (1994) The anarchic hand: a fronto mesial sign. In: Grafman J, Boller F (eds) *Handbook of Neuropsychology, Volume 9.* Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam, pp 233-255

19. Denckla MB (1974) Development of motor coordination in normal children. *Dev. Med. Child Neurol.* 16: 729-741
20. Durwen HF, Herzog AG, Falk A, Calabrese P & Gehlen W (1997) Motorische Spiegelphänomene. Spiegelbildliche Mitbewegungen und Mitaktivierungen. *Neurol. Rehabil.* 2: 69-75
21. Erlenmeyer FA (1879) *Die Schrift - Grundzüge ihrer Physiologie und Pathologie.* Bonz, Stuttgart
22. Esslinger O (2000) *Physiologische Spiegelbildliche Mitbewegungen. Eine Untersuchung von 195 gesunden Probanden im Alter von 5 Jahren bis über 80 Jahre.* Promotionsschrift der Ludwig-Maximilians-Universität, München
23. Ferbert A, Priori A, Rothwell JC, Day BL, Colebatch JG & Marsden CD (1992) Interhemispheric inhibition of the human motor cortex. *J. Physiol. (Lond.)* 453: 526-546
24. Foerster O (1903) *Beiträge zur Kenntnis der Mitbewegungen.* Jena: Gustav Fischer Verlag
25. Fog E & Fog M (1963) Cerebral inhibition examined by associated movements. In: Bax M, MacKeith R (eds) *Minimal Cerebral Dysfunction.* Heinemann, London, pp 52- 57
26. Grether JK, Cummins SK & Nelson KB (1992) The California Cerebral Palsy Project. *Paediatr. Perinat. Epidemiol.* 6: 339-351
27. Hermsdörfer J, Mai N & Marquardt C (1992) Evaluation of precision grip using pneumatically controlled loads. *J. Neurosci. Meth.* 45: 117-126

28. Hermsdörfer J, Danek A, Winter T, Marquardt C & Mai N (1995) Persistent mirror movements: force and timing of „mirroring“ are task-dependent. *Exp. Brain Res.* 104: 126-134
29. Herzog AG, Durwen HF (1992) Mirror movements. In Joseph AB, Young RR (eds) *Movement disorders in neurology and neuropsychiatry*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp 704-712
30. Hicks SP, D'Amato CJ (1970) Motor-sensory and visual behavior after hemispherectomy in newborn and mature rats. *Exp. Neurol.* 29, 416-438
31. Jelasic F & Ott B (1969) Kontralaterale Synkinesien. Klinische und elektromyographische Untersuchungen bei idiopathischen und symptomatischen Formen. *Dtsch. Z. Nervenheilkd.* 195: 187-198
32. Krägeloh-Mann I, Hagberg B, Petersen D, Riethmüller J, Gut E & Michalis R (1992) Bilateral spastic cerebral palsy – pathogenetic aspects from MRI. *Neuropediatrics* 23: 46-48
33. Kuang RZ & Kalil K (1990) Specificity of corticospinal axon arbors sprouting into denervated contralateral spinal cord. *J. Comp. Neurol* 302: 461-472
34. Kuban KCK & Levinton A (1994) Cerebral palsy. *NEJM*, Vol. 330, 3: 188-195
35. Kultz-Buschbeck JP, Sundholm LK, Eliasson AC, Forssberg H (2000) Quantitative assessment of mirror movements in children and adolescents with hemiplegic cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* 42: 728-736
36. Lazarus JA & Todor JI (1987) Age differences in the magnitude of associated movement. *Dev. Med Child Neurol.* 29: 726-733

37. Lazarus JA (1992) Associated movement in hemiplegia: The effects of force exerted, limb usage and inhibitory training. *Arch. Phy. Med. Rehabil.* 73: 1044-1049
38. Levy SR, Abrams IF, Marshall PC & Rosquete EE (1985) Seizures and cerebral infarction in the full-term new-born. *Ann. Neurol.* 17: 366-370
39. Linke DB, Durwen HF & Kurthen M (1992) Spiegelbildliche Mitbewegungen und Mitaktivierungen in ihrer Bedeutung für den Sport. In: Deutsche Gesellschaft für Neurologische Rehabilitation 11/90 (Ort und Hrsg. unbekannt). pp 56-65
40. Little WJ (1843) Course of lectures of the deformities of the human frame. *Lancet* 1: 318-322
41. Mai N, Blaut M & Hermsdörfer J (1993) Handfunktionen. In: Cramon von DY, Mai N, Ziegler W (eds) *Neuropsychologische Diagnostik*. VCH-Verlag Weinheim, pp 225-257
42. Mai N, Marquardt C (1995) Analyse und Therapie motorischer Schreibstörungen. *Psychologische Beiträge*, 37, 538-582
43. Marquardt C, Mai N (1994) A computational procedure for movement analysis in handwriting. *J. Neurosci. Meth.* 52, 39-45
44. Mayston JM, Harrison LM & Stephens JA (1999) A neurophysiological study of mirror movements in adults and children. *Ann. Neurol.* 45: 583-594
45. Ment LR, Duncan CC & Ehrenkranz RA (1984) Perinatal cerebral infarction. *Ann. Neurol.* 16: 559-568
46. Meyer BU (1992) *Die Magnetstimulation des Nervensystems. Grundlagen und Ergebnisse der klinischen und experimentellen Anwendung*. Springer-Verlag, Berlin

47. Milner D (1983) Neuropsychological studies of callosal agenesis. *Psychol. Med.* 13: 721-725
48. Müller J, (1840) *Handbuch der Physiologie*. Vol.2. Coblenz (1840)
49. Nass R (1985) Mirror movement asymmetries in congenital hemiparesis: the inhibition hypothesis revisited. *Neurology* 35: 1059-1062
50. Neuhäuser G (1995) Zerebrale Bewegungsstörungen. In: *Pädiatrie*, Sitzmann FC (Hrsg), Hippokrates Verlag, Stuttgart
51. Nirkko AC, Rösler KM, Ozdoba C, Heid O, Schroth G & Hess CW (1997) Human cortical plasticity: functional recovery with mirror movements. *Neurology* 48: 1090-1093
52. Papadopoulos CM, Shih-Yen T, Alsbie T, O'Brien TE, Schwab ME, Kartje GL (2002) Functional recovery and neuroanatomical plasticity following middle cerebral artery occlusion and IN-1 antibody treatment in the adult rat. *Ann. Neurol.* 51: 433-441
53. Rasmussen P (1993) Persistent mirror movements: A clinical study of 17 children, adolescents and younger adults. *Dev. Med. Child Neurol.* 35: 699-707
54. Salmaso D & Longoni AM (1985) Problems in the assessment of hand preference. *Cortex* 21: 533-549
55. Todor JI & Lazarus JA (1986) Exertion level and the intensity of associated movements. *Dev. Med. Child Neurol.* 28: 205-212
56. Touwen BC (1982) *Die Untersuchung von Kindern mit geringen neurologischen Funktionsstörungen*, Thieme-Verlag, Stuttgart

57. Uttner I (1998) Erworbene spiegelbildliche Mitbewegungen: Untersuchungen zur Auswirkung von Hirnläsionen auf die bimanuelle Koordination bei ein- und beidhändiger Kraftsteuerung. Promotionsschrift der Ludwig-Maximilians-Universität, München.
58. Westphal C (1874/1875) Ueber einige Bewegungserscheinungen an gelähmten Gliedern. Arch. Psychiatr. Nervenkr. 4: 747-759; 5: 803-834
59. Weiller C, Ramsay SC, Wise RJ, Friston KJ & Frackowiack RS (1993) Individual patterns of functional reorganization in the human cerebral cortex after capsular infarction. Ann. Neurol. 33: 181-189
60. Wiesendanger M, Wicki U & Rouiller EM (1994) Are there unifying structures in the brain responsible for interlimb coordination? In: Swinnen S, Heuer H, Massion J, Caeser P (eds) Interlimb Coordination: Neural, Dynamical, and Cognitive Constraints. Academic Press, San Diego, pp 179-209
61. Witt TN, Mayer M, Danek A & Fries W (1992) Bilaterale Muskelantworten nach transkranieller Stimulation des Motorkortex bei hereditären und erworbenen Mirror-Movements. In: Mauritz KH, Hömberg V (eds) Neurologische Rehabilitation 2. Huber, Bern, pp 253-260
62. Woods BT & Teuber HL (1978) Mirror movements after childhood hemiparesis. Neurology 28: 1152-1158
63. Zazzo R (1960) Manuel pour l'Examen Psychologique de l'Enfant. Neuchatel: Delachaux & Niestlé.
64. Zülch KJ, Müller N (1969) Associated movements in man. S. 404-426 in: Handbook of Clinical Neurology, Vol.1. Hsg.: PJ Vinken, GW Bruyn. Amsterdam: North Holland Publishing Company

65. Zülch KJ (1975) Pyramidal and parapyramidal motor systems in man. S. 32-47 in:
Cerebral Localization. An Otfrid Foerster Symposium. Hsg.: KJ Zülch, O
Creutzfeld, GC Galbraith. New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag

8 ANHANG

8.1. Tabellen

Tabelle 1: Patientenstichprobe mit klinischen Angaben, geordnet nach Alter

Initialen	Alter	Geschlecht	Diagnosen	Interner Code	Händigkeit
A.D.	06;0	w	Spastische Hemiparese rechts	3403	-100,0
S.C.	06;2	m	Spastische Hemiparese links bei Z.n.perinataler Gehirnbrutung	1003	80,0
R.S.	06;2	m	Spastische Tetraparese	2603	-14,3
M.P.	06;7	m	Spastische Tetraparese	2403	50,0
A.A.	06;11	m	Spastische Hemiparese rechts nach Schädelhirntrauma	5503	-100,0
K.G.	07;5	m	Spastische Tetraparese bei Z.n. perinataler Sepsis	1403	40,0
H.C.	08;8	m	Spastische Hemiparese links nach Verkehrsunfall	3003	100,0
E.Y.	09;3	m	Spastische Tetraparese bei Frühgeburtlichkeit mit Geburtstrauma	1303	80,0
D.K.	10;0	w	Spastische Tetraparese rechtsbetont bei Frühgeburtlichkeit	1203	-100,0
T.S.	10;4	m	Spastische Tetraparese bei Z.n. Frühgeburtlichkeit in der 30. SSW	4903	100,0
N.S.	10;7	m	Spastische Tetraparese	3203	100,0
R.S.	10;8	m	Spastische Tetraparese bei Z.n. perinataler Asphyxie, postnatale Epilepsie	3303	-55,6
A.L.	10;8	w	Spastische Tetraparese bei Hydrozephalus	3903	100,0
M.G.	11;2	w	Schwere spastische Tetraparese bei Frühgeburt mit Ventrikelblutung am 3. Tag pp., Hydrocephalus internus, Z.n. Krampfanfällen, Strabismus	4203	33,3
E.B.	11;4	m	Schwere spastische Tetraparese, statomotorische und Perzeptionsstörung, Sprachstörung	0503	100,0
P.K.	12;7	m	Spastische Tetraparese mit Ataxie nach frühkindlicher ZNS-Schädigung mit zerebralem Anfallsleiden	5003	-100,0
D.D.	12;8	m	Spastische Diparese bei Frühgeburtlichkeit mit postpartaler Asphyxie; Muskelhypotonie, Strabismus	2303	100,0
A.L.	12;8	m	Spastische Hemiparese links bei Z.n. Virusenzephalitis	4303	100,0
S.S.	12;8	w	schwere spastischer Tetraparese mit athetotischer Komponente nach frühkindlicher ZNS-Schädigung	5903	66,7

Initialen	Alter	Geschlecht	Diagnosen	Interner Code	Händigkeit
W.E.	13;0	m	Spastische Diparese, Klonusbereitschaft	0103	100,0
A.F.	13;0	m	Spastische Diparese bei Z.n. Hypoxie perinatal	4703	100,0
M.E.	13;1	w	Minimale Zerebralparese	4503	45,5
S.M.	13;3	m	Minimale Zerebralparese bei Z.n. postpartaler Hypoxie	3803	81,8
J.P.	13;5	w	Spastische Tetraparese, bei Z.n. Sectio in der 24.SSW mit Beatmung	2003	81,8
M.B.	13;5	m	Minimale Zerebralparese bei frühkindlicher ZNS-Schädigung mit leichten Koordinationsstörungen sowie Lernbehinderung	4003	100,0
H.K.	14;1	w	Schwere spastische Tetraparese mit Mikrozephalie sowie Sprach- und Perzeptionsstörung	2903	-25,0
U.Y.	14;9	m	Spastische Tetraparese mit athetotischer Komponente	1103	100,0
M.K.	14;10	m	Spastische Tetraparese bei Frühgeburtlichkeit, BNS-Anfälle, 90% Visusminderung, starke Pezeptionsstörung	0703	-77,8
M.B.	15;5	w	Spastische Tetraparese bei Frühgeburt mit Asphyxie	0403	0,0
F.F.	16;5	m	Schwere spastische Tetraparese linksbetont mit Athetose, bei V. a. intrauterine Infektion; ab 3. Monat klonische Krampfanfälle	4403	-100,0
M.L.	16;7	m	Spastische Tetraparese mit Betonung rechter Arm nach SH-Trauma 1992	1603	9,1
B.B.	16;9	m	Spastische Tetraparese bei frühkindlicher ZNS-Schädigung nach Asphyxie, Perzeptions- und Sehstörung	3503	14,3
F.B.	16;10	m	Spastische Diplegie bei frühkindlicher ZNS-Schädigung nach Sectio im 7.SSM	1703	-66,7
D.H.	18;1	w	Spastische Diplegie, Diabetes mellitus	3603	100,0
M.G.	18;4	m	Minimale Zerebralparese mit Ataxie und Sprachstörung	2503	100,0
G.C.	18;5	m	Spastische Hemiparese rechts bei linkshemisphärischer fokaler Epilepsie bei Z.n. Infekt im 6.Lebensmonat	1503	-80,0
D.U.	19;4	m	Spastische Tetraparese rechtsbetont mit Athetose bei Z.n. Hypoxie perinatal	4803	-100,0
N.A.	19;7	m	Spastische Hemiparese links, bei ausgezogenem rechten Seitenventrikel im cCT	6303	100,0
M.L.	19;9	w	Spastische Tetraparese mit Athetose bei Z.n. perinataler Asphyxie	4103	81,8
S.K.	19;9	w	Spastische Tetraparese mit Anfallsleiden bei Frühge-	4603	100,0

Initialen	Alter	Geschlecht	Diagnosen	Interner Code	Händigkeit
			Frühgeburtlichkeit		
M.K.	20;0	m	Minimale Zerebralparese bei Z.n.subduralem Hämatom 1976 rechts mit subduroperitonealer Ableitung	0803	100,0
P.S.	20;0	m	Spastische Tetraparese bei Z.n. Atemstillstand postpartal, Perzeptionsstörung	6403	75,0
H.P.	20;1	m	Spastische Tetraparese	3703	100,0
G.L.	20;3	m	Spastische Tetraparese, distal betont	6103	-100,0
F.L.	20;8	m	Spastische Tetraparese bei frühkindlichen ZNS-Schädigung, schwere Lernbehinderung	5803	55,6
M.B.	24;10	w	Spastische Tetraparese linksbetont	5103	100,0
G.R.	25;0	m	Spastische Tetraparese bei Frühgeburtlichkeit	5203	81,8
A.T.	26;4	m	Spastische Tetraparese nach Infektionskrankheit im 6. Lebensmonat	0603	-60,0
R.S.	28;9	m	Spastische Tetraparese bei Z.n. ventilversorgtem Hydrocephalus, Zwillingsgeburt 7.SSW-Monat	5403	-100,0
S.A.	33;7	m	Spastische Hemiparese rechts	6503	-100,0
B.C.	34;6	m	Minimale Zerebralparese	6003	-100,0
P.T.	41;0	m	Spastische Tetraparese bei Frühgeburtlichkeit im 7. SSM	5703	-63,6

Anmerkung: Die Altersangabe 4;9 entspricht einem Alter von 4 Jahren und 9 Monaten.

Tabelle 2: Aufteilung der Patienten in Altersklassen

Klasse	Alter	n	weiblich	männlich
„5“	4;9-6;3 Jahre	5	1	4
„8“	7;3-8;9 Jahre	3	0	3
„10“	9;9-11;3 Jahre	7	3	4
„13“	12;3-13;9 Jahre	11	4	7
„15“	14;9-16;3 Jahre	7	1	6
„18“	17;3-18;9 Jahre	5	1	4
„20“	19;9-21;3 Jahre	7	2	5
„25“	24;9-26;3 Jahre	4	1	3
„35“	30;1-40;0 Jahre	3	0	3

Anmerkung: Die Altersangabe 4;9 entspricht einem Alter von 4 Jahren und 9 Monaten.
Der Patient P.T. wurde in die Altersgruppe „35“ eingeteilt.

Tabelle 3: Gruppierung der Patienten in die Gruppen L,Lr,Rl,R und ZoD entsprechend den feinmotorischen Leistungen

Gruppe	Alter	Ge- schlecht	ET links	ET rechts	Fmax links	Fmax rechts	Freq max links	Freq max rechts	Interner Code	Händigkeit
L01	10;8	2	10	8	17,18	34,40	1,24	1,66	3903	100,0
L02	12;8	1	20	8	11,67	71,60	1,26	2,93	4303	100,0
L03	20;0	1	8	8	29,80	69,90	2,05	4,52	0803	100,0
L04	24;10	2	8	8	53,80	61,10	1,76	2,66	5103	100,0
Lr01	06;2	1	15	8	17,65	26,65	1,04	1,22	1003	80,0
Lr02	07;5	1	8	8	14,08	14,90	0,48	0,61	1403	40,0
Lr03	08;8	1	21	8	3,46	28,41	0,52	1,22	3003	100,0
Lr04	10;4	1	9	8	22,47	38,83	1,42	1,97	4903	100,0
Lr05	10;7	1	12	11	21,81	28,63	1,11	1,55	3203	100,0
Lr06	10;8	1	10	12	25,06	13,06	0,55	0,69	3303	-55,6
Lr07	11;4	1	12	11	24,94	20,36	1,31	1,35	0503	100,0
Lr08	13;0	1	8	8	39,30	39,30	1,47	1,77	4703	100,0
Lr09	13;3	1	8	8	30,85	31,24	1,58	2,32	3803	81,8
Lr10	13;5	2	8	8	19,19	17,89	1,26	1,86	2003	100,0
Lr11	14;9	1	22	10	10,54	27,19	0,42	1,37	1103	100,0
Lr12	16;10	1	8	8	51,60	56,40	1,72	2,02	1703	-66,7
Lr13	18;1	2	8	8	27,34	43,75	1,84	2,69	3603	100,0
Lr14	18;4	1	8	8	55,80	60,90	1,77	2,22	2503	100,0
Lr15	19;4	1	11	17	30,20	24,90	1,26	1,62	4803	-100,0
Lr16	19;7	1	8	8	19,82	49,58	1,20	1,91	6303	100,0
Lr17	19;9	2	9	8	32,58	36,61	1,01	1,03	4603	100,0
Lr18	20;1	1	18	15	29,56	51,00	1,27	1,30	3703	100,0
Lr19	20;8	1	9	9	29,75	21,90	0,57	0,82	5803	55,6
Lr20	25;0	1	8	9	41,17	41,68	2,77	2,99	5203	81,8
Lr21	41;0	1	9	9	57,00	52,10	1,17	1,35	5703	-63,6
RI01	9;3	1	12	12	38,54	26,68	1,33	0,64	1303	80,0
RI02	10;0	2	8	12	21,75	11,96	1,31	0,87	1203	-100,0
RI03	12;7	1	9	12	23,36	24,18	1,78	1,28	5003	-100,0
RI04	12;8	2	13	10	26,04	32,38	1,03	0,93	5903	66,7
RI05	13;1	2	8	8	33,39	43,77	1,67	1,59	4503	45,5
RI06	13;5	1	8	8	36,28	33,57	2,33	2,26	4003	81,8
RI07	14;1	2	12	16	21,59	15,35	1,44	1,27	2903	-25,0
RI08	14;10	1	8	14	32,12	23,94	0,70	0,52	0703	-77,8
RI09	15;5	2	11	9	27,24	23,77	1,68	1,25	0403	0,0

Gruppe	Alter	Geschlecht	ET links	ET rechts	Fmax links	Fmax rechts	Freq max links	Freq max rechts	Interner Code	Händigkeit
Rl09	16;5	1	9	19	43,94	12,93	1,90	1,66	4403	-100,0
Rl11	19;9	2	9	9	22,95	27,51	1,31	0,79	4103	81,8
Rl12	20;0	1	8	8	24,00	19,83	1,14	0,99	6403	75,0
Rl13	20;3	1	8	8	67,50	55,30	2,32	1,74	6103	-100,0
Rl14	26;4	1	12	9	47,69	35,62	1,41	1,16	0603	-60,0
Rl15	28;9	1	8	8	85,80	74,30	2,25	1,95	5403	-100,0
Rl16	34;6	1	8	8	68,90	84,90	2,43	2,12	6003	-100,0
R01	06;2	1	8	8	23,63	24,77	1,82	1,20	2603	-14,3
R02	06;11	1	8	13	33,25	12,28	2,87	1,24	5503	-100,0
R03	13;0	1	8	8	57,20	53,20	2,86	2,53	0103	100,0
R04	16;7	1	8	9	50,40	45,21	2,34	1,65	1603	9,1
R05	16;9	1	8	11	58,40	43,67	2,73	1,21	3503	14,3
R06	18;5	1	8	14	51,20	23,74	5,13	1,70	1503	-80,0
R07	33;7	1	8	8	46,96	24,51	3,54	1,82	6503	-100,0
ZoD01	06;0	2	8	8	36,32	30,63	1,67	2,16	3403	-100,0
ZoD02	06;7	1	8	8	17,28	18,38	1,39	1,91	2403	50,0
ZoD03	11;2	2	8	8	30,92	34,86	2,39	2,37	4203	33,3
ZoD04	12;8	1	8	8	40,93	64,80	2,80	3,13	2303	100,0

Gruppe L: Patienten mit Hemiparese links

Gruppe Lr: Patienten mit Tetra-/Diparese linksbetont

Gruppe Rl: Patienten mit Tetra-/Diparese rechtsbetont

Gruppe R: Patienten mit Hemiparese rechts

Gruppe ZoD: Patienten mit Zerebralparese ohne feinmotorisches Defizit

ET: Ergebnis des Ergotherapeutischen Handfunktionstests

F max: Maximale Kraft

Freq max: Maximale Frequenz

Geschlecht: 1= männlich; 2= weiblich

Grau unterlegte Felder: pathologische Werte im Vergleich mit den Kontrollen

Tabelle 4: Punktwerte der Patienten für Spiegelbewegungen bei klinischer Untersuchung

Gruppenzuordnung	Code	Initialen	1. li	2. li	3. li	4. li	1. re	2. re	3. re	4. re
L01	3903	A.L.	1	0	1	1	1	X	1	1
L02	4303	A.L.	0	0	1	0	X	X	1	X
L03	803	M.Ko.	0	0	0	1	2	2	2	X
L04	5103	M.B.	0	0	0	0	1	1	1	1
Lr01	1003	S.C.	1	0	1	1	2	2	2	1
Lr02	1403	K.G.	1	1	1	X	1	1	0	X
Lr03	3003	H.C.	1	X	1	X	X	X	X	X
Lr04	4903	T.S.	1	0	0	2	1	0	0	2
Lr05	3203	N.S.	2	1	1	X	X	X	2	X
Lr06	3303	R.Si.	1	X	0	X	X	1	2	X
Lr07	503	E.B.	1	X	1	1	0	1	0	0
Lr08	4703	A.F.	1	0	0	0	0	0	0	0
Lr09	3803	S.M.	0	0	0	0	0	0	1	1
Lr10	2003	J.P.	2	2	1	2	2	2	2	1
Lr11	1103	U.Y.	X	0	2	X	X	X	1	X
Lr12	1703	F.B.	0	0	0	1	1	X	0	0
Lr13	3603	D.H.	2	1	2	2	1	2	1	1
Lr14	2503	M.G.	0	0	1	1	1	1	1	1
Lr15	4803	D.U.	0	0	0	0	0	0	1	0
Lr16	6303	N.A.	1	2	0	1	1	X	2	2
Lr17	4603	S.K.	0	0	1	2	0	1	0	1
Lr18	3703	H.P.	X	1	0	0	X	2	0	0
Lr19	5803	F.L.	0	0	0	0	1	0	0	0
Lr20	5203	G.R.	1	1	1	1	1	1	1	2
Lr21	5703	P.T.	0	X	1	1	1	X	1	1
R101	1303	E.Y.	X	X	1	X	X	X	1	X
R102	1203	D.K.	X	X	0	1	X	X	0	0
R103	5003	P.K.	1	X	2	1	X	1	0	1
R104	5903	S.S.	1	1	1	1	1	1	X	1
R105	4503	M.E.	0	1	1	1	1	1	1	1
R106	4003	M.B.	1	2	1	2	1	2	1	2
R107	2903	H.K.	X	X	2	X	X	X	1	1
R108	703	M.K.	X	1	1	X	X	X	X	X
R109	403	M.B.	X	1	2	2	X	X	1	0

Gruppenzuordnung	Code	Initialen	1. li	2. li	3. li	4. li	1. re	2. re	3. re	4. re
R110	4403	F.F.	X	X	1	1	X	1	2	1
R111	4103	M.L.	1	2	2	1	2	2	2	1
R112	6403	P.S.	0	0	X	0	1	0	X	X
R113	6103	G.L.	0	0	0	1	1	1	0	1
R114	603	A.T.	1	1	1	0	1	1	0	0
R115	5403	R.S.	2	0	0	0	1	0	0	0
R116	6003	B.C.	0	0	1	1	2	0	1	1
R01	2603	R.S.	1	X	2	2	1	X	2	2
R02	5503	A.A.	1	1	2	2	1	1	1	0
R03	103	W.E.	0	0	0	2	0	0	0	1
R04	1603	M.L.	1	1	1	0	0	0	0	1
R05	3503	B.B.	1	X	0	0	1	X	1	0
R06	1503	G.C.	2	1	2	1	0	0	0	0
R07	6503	S.A.	1	1	1	1	1	1	2	1
ZoD1	3403	A.D.	1	X	1	2	2	X	1	1
ZoD2	2403	M.P.	1	X	1	2	1	X	1	1
ZoD3	4203	M.Gr.	1	1	1	X	0	1	0	X
ZoD4	2303	D.D.	1	0	0	2	1	0	0	2

1.li= sequentielle Fingeropposition, Mitbewegung links spiegelbildlich

2.li= Fingerschnipsen, Mitbewegung links spiegelbildlich

3.li= Faust öffnen, Mitbewegung links spiegelbildlich

4.li= Finger spreizen gegen Kraft, Mitbewegung links spiegelbildlich

1.re= sequentielle Fingeropposition, Mitbewegung rechts spiegelbildlich

2.re= Fingerschnipsen, Mitbewegung rechts spiegelbildlich

3.re= Faust öffnen, Mitbewegung rechts spiegelbildlich

4.re= Finger spreizen gegen Kraft, Mitbewegung rechts spiegelbildlich

X= Mitbewegung nicht beurteilbar

Tabelle 5: Spiegelquotienten der Probanden in den schnellen Versuchen AF02 (Willkürhand rechts) und FA08 (Willkürhand links)

Gruppenzuordnung	Code	Initialen	Spiegelquotient links in %	Spiegelquotient rechts in %
L01	3903	A.L.	0,98	1,77
L02	4303	A.L.	5,12	0,81
L03	803	M.Ko.	0,49	24,65
L04	5103	M.B.	0,19	0,29
Lr01	1003	S.C.	2,43	0,40
Lr02	1403	K.G.	0,65	0,39
Lr03	3003	H.C.	6,02	7,80
Lr04	4903	T.S.	1,00	0,33
Lr05	3203	N.S.	11,53	4,17
Lr06	3303	R.Si.	0,58	10,05
Lr07	503	E.B.	2,20	3,24
Lr08	4703	A.F.	0,18	0,28
Lr09	3803	S.M.	1,39	0,41
Lr10	2003	J.P.	1,22	9,36
Lr11	1103	U.Y.	2,50	207,18
Lr12	1703	F.B.	0,24	0,28
Lr13	3603	D.H.	1,27	2,33
Lr14	2503	M.G.	0,37	2,22
Lr15	4803	D.U.	30,30	0,30
Lr16	6303	N.A.	2,03	22,26
Lr17	4603	S.K.	0,88	0,34
Lr18	3703	H.P.	1,04	0,24
Lr19	5803	F.L.	0,58	0,71
Lr20	5203	G.R.	1,28	2,33
Lr21	5703	P.T.	0,18	0,24
RI01	1303	E.Y.	0,99	3,56
RI02	1203	D.K.	1,61	1,09
RI03	5003	P.K.	36,02	1,73
RI04	5903	S.S.	52,51	4,49
RI05	4503	M.E.	0,29	0,15
RI06	4003	M.B.	0,26	0,29
RI07	2903	H.K.	51,82	2,86
RI08	703	M.K.	1,95	167,84

Gruppenzuordnung	Code	Initialen	Spiegelquotient links in %	Spiegelquotient rechts in %
R109	403	M.B.	4,23	1,40
R110	4403	F.F.	24,79	2,44
R111	4103	M.L.	1,50	10,97
R112	6403	P.S.	0,66	5,55
R113	6103	G.L.	0,19	0,25
R114	603	A.T.	0,27	0,50
R115	5403	R.S.	0,23	0,18
R116	6003	B.C.	0,22	0,32
R01	2603	R.S.	4,25	0,48
R02	5503	A.A.	8,14	0,98
R03	103	W.E.	0,24	0,17
R04	1603	M.L.	0,35	0,18
R05	3503	B.B.	5,25	0,66
R06	1503	G.C.	6,12	0,57
R07	6503	S.A.	0,55	1,25
ZoD1	3403	A.D.	0,33	0,83
ZoD2	2403	M.P.	1,26	5,13
ZoD3	4203	M.Gr.	1,44	0,85
ZoD4	2303	D.D.	0,31	0,16

Tabelle 6: Pathologische Spiegelaktivität in den klinischen und in den apparativen

Versuchen in Abhängigkeit vomer Schwere der Beeinträchtigung

Gruppe	ET links	ET rechts	Fmax links	Fmax rechts	Freq max links	Freq max rechts	Klin. Spiegelaktivität links in %	Klin. Spiegelaktivität rechts in %	Spiegelquotient links in %	Spiegelquotient rechts in %
L01	10	8	17,18	34,40	1,24	1,66	37,5	37,5	0,98	1,77
L02	20	8	11,67	71,60	1,26	2,93	12,5	50,0	5,12	0,81
L03	8	8	29,80	69,90	2,05	4,52	12,5	100	0,49	24,65
L04	8	8	53,80	61,10	1,76	2,66	0,0	50,0	0,19	0,29
Lr01	15	8	17,65	26,65	1,04	1,22	37,5	87,5	2,43	0,40
Lr02	8	8	14,08	14,90	0,48	0,61	50,0	33,3	0,65	0,39
Lr03	21	8	3,46	28,41	0,52	1,22	25,0	0,0	6,02	7,80
Lr04	9	8	22,47	38,83	1,42	1,97	37,5	37,5	1,00	0,33
Lr05	12	11	21,81	28,63	1,11	1,55	66,7	33,3	11,53	4,17
Lr06	10	12	25,06	13,06	0,55	0,69	25,0	50,0	0,58	10,05
Lr07	12	11	24,94	20,36	1,31	1,35	37,5	12,5	2,20	3,24
Lr08	8	8	39,30	39,30	1,47	1,77	12,5	0,0	0,18	0,28
Lr09	8	8	30,85	31,24	1,58	2,32	0,0	25,0	1,39	0,41
Lr10	8	8	19,19	17,89	1,26	1,86	87,5	87,5	1,22	9,36
Lr11	20	9	10,54	27,19	0,42	1,37	33,3	25,0	2,50	207,18
Lr12	8	8	51,60	56,40	1,72	2,02	12,5	12,5	0,24	0,28
Lr13	8	8	27,34	43,75	1,84	2,69	87,5	62,5	1,27	2,33
Lr14	8	8	55,80	60,90	1,77	2,22	25,0	50,0	0,37	2,22
Lr15	11	17	30,20	24,90	1,26	1,62	0,0	12,5	30,30	0,30
Lr16	8	8	19,82	49,58	1,20	1,91	50,0	83,3	2,03	22,26
Lr17	9	8	32,58	36,61	1,01	1,03	37,5	25,0	0,88	0,34
Lr18	18	15	29,56	51,00	1,27	1,30	16,7	33,3	1,04	0,24
Lr19	9	9	29,75	21,90	0,57	0,82	0,0	12,5	0,58	0,71
Lr20	8	9	41,17	41,68	2,77	2,99	50,0	62,5	1,28	2,33
Lr21	9	9	57,00	52,10	1,17	1,35	33,3	50,0	0,18	0,24
RI01	12	12	38,54	26,68	1,33	0,64	16,7	12,5	0,99	3,56
RI02	8	12	21,75	11,96	1,31	0,87	25,0	0,0	1,61	1,09
RI03	9	12	23,36	24,18	1,78	1,28	50,0	25,0	36,02	1,73
RI04	13	10	26,04	32,38	1,03	0,93	50,0	50,0	52,51	4,49
RI05	8	8	33,39	43,77	1,67	1,59	37,5	50,0	0,29	0,15
RI06	8	8	36,28	33,57	2,33	2,26	75,0	75,0	0,26	0,29
RI07	12	16	21,59	15,35	1,44	1,27	100	50,0	51,82	2,86
RI08	8	14	32,12	23,94	0,70	0,52	33,3	0,0	1,95	167,84

Gruppe	ET links	ET rechts	Fmax links	Fmax rechts	Freq max links	Freq max rechts	Klin. Spiegelaktivität links in %	Klin. Spiegelaktivität rechts in %	Spiegelquotient links in %	Spiegelquotient rechts in %
R109	11	9	27,24	23,77	1,68	1,25	62,5	12,5	4,23	1,40
R110	9	19	43,94	12,93	1,90	1,66	25,0	50,0	24,79	2,44
R111	9	9	22,95	27,51	1,31	0,79	75,0	87,5	1,50	10,97
R112	8	8	24,00	19,83	1,14	0,99	0,0	25,0	0,66	5,55
R113	8	8	67,50	55,30	2,32	1,74	12,5	37,5	0,19	0,25
R114	12	9	47,69	35,62	1,41	1,16	37,5	25,0	0,27	0,50
R115	8	8	85,80	74,30	2,25	1,95	25,0	12,5	0,23	0,18
R116	8	8	68,90	84,90	2,43	2,12	25,0	50,0	0,22	0,32
R01	8	8	23,63	24,77	1,82	1,20	62,5	62,5	4,25	0,48
R02	8	13	33,25	12,28	2,87	1,24	75,0	37,5	8,14	0,98
R03	8	8	57,20	53,20	2,86	2,53	25,0	12,5	0,24	0,17
R04	8	9	50,40	45,21	2,34	1,65	37,5	12,5	0,35	0,18
R05	8	11	58,40	43,67	2,73	1,21	16,7	33,3	5,25	0,66
R06	8	14	51,20	23,74	5,13	1,70	75,0	0,0	6,12	0,57
R07	8	8	46,96	24,51	3,54	1,82	50,0	62,5	0,55	1,25
ZoD01	8	8	36,32	30,63	1,67	2,16	66,7	66,7	0,33	0,83
ZoD02	8	8	17,28	18,38	1,39	1,91	66,7	50,0	1,26	5,13
ZoD03	8	8	30,92	34,86	2,39	2,37	50,0	16,7	1,44	0,85
ZoD04	8	8	40,93	64,80	2,80	3,13	37,5	37,5	0,31	0,16

Gruppe L: Patienten mit Hemiparese links

Gruppe Lr: Patienten mit Tetra-/Diparese linksbetont

Gruppe Rl: Patienten mit Tetra-/Diparese rechtsbetont

Gruppe R: Patienten mit Hemiparese rechts

Gruppe ZoD: Patienten mit Zerebralparese ohne feinmotorisches Defizit

ET: Ergebnis des Ergotherapeutischen Handfunktionstests

F max: Maximale Kraft

Freq max: Maximale Frequenz

Klinische Spiegelaktivität: gemessene Spiegelaktivität in den klinischen Versuchen

Spiegelquotient: gemessene Spiegelaktivität in den apparativen Versuchen, ausgedrückt als sog. Spiegelquotient (%)

Grau unterlegte Felder: pathologische Werte im Vergleich mit den Kontrollen

8.2. Algorithmus zur Gruppeneinteilung der Patienten

Die Einteilung erfolgte entsprechend den Ergebnissen der maximalen Frequenz (FQ) der Kraftwechsel in den schnellen Versuchen AF und FA.

FQR = Frequenz der Kraftwechsel der rechten Hand

FQL = Frequenz der Kraftwechsel der linken Hand

FQLRGMN = Minimum des Range (Normwertebereich) der Kontrollpersonen in der linken Hand

FQRRGMN = Minimum des Range der Kontrollpersonen in der rechten Hand

Für jeden Patienten:

Wenn $((FQL < FQLRGMN) \text{ und } (FQR < FQRRGMN))$ dann:

 Wenn $((FQLRGMN - FQL) > (FQRRGMN - FQR))$ dann

 Einteilung in Gruppe „Lr“

 Sonst

 Einteilung in Gruppe „Rl“

Sonst

 Wenn $(FQL < FQLRGMN)$ dann

 Einteilung in Gruppe „L“

 Sonst

 Wenn $(FQR < FQRRGMN)$ dann

 Einteilung in Gruppe „R“

 Sonst

 Einteilung in Gruppe „ZoD“

8.3. Lebenslauf

Angaben zur Person

Name: Sylvia Maria Maaß, geb. Wucher
Geburtsdatum: 21. August 1971
Geburtsort: München
Eltern: Edwin Wucher und Adelheid Wucher

Schulbildung

1978 – 1982 Grundsule an der Dieselstraße, München
1982 – 1991 Maria-Ward-Gymnasium der Englischen Fräulein,
München – Nymphenburg
Juli 1991 Allgemeine Hochschulreife

Studium der Medizin

Mai 1992 - Aug. 1994 Vorklinisches Studium an der LMU München
Aug. 1994 Ärztliche Vorprüfung
Nov. 1994 - März 1998 Klinisches Studium an der LMU München
Aug. 1995 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
März 1998 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
April 1999 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Praktisches Jahr:

April 1998 Chirurgie: Krankenhaus des III. Ordens, München
Aug. 1998 Innere Medizin: VI. Medizinische Abteilung,
Krankenhaus München Schwabing
Nov. 1998 Neurologie: National Hospital for Neurology and Neuro-
surgery, Queen Square, London

Ärztin im Praktikum:

Aug. 2000 – Jan. 2002 Abteilung für Neurologie und klinische Neurophysiologie des
Städt. Krankenhauses München-Harlaching

Assistenzärztin:

seit März 2002 Neurologische Klinik und Poliklinik der Universität München
Klinikum Großhadern

8.4. Danksagung

Zunächst möchte ich Herrn Prof. Dr. Dr. N. Mai danken für die Annahme als Doktorandin.

Nach seinem bedauerlichen Tod übernahm mich Herr Prof. Dr. A. Danek als Doktorandin. Ihm gilt mein besonderer Dank für die freundliche Unterstützung bei der Konzeption dieser Arbeit und seine kompetente und engagierte Betreuung, ohne die sich diese Arbeit nicht hätte realisieren lassen.

Ich danke Herrn Prof. Dr. S. Stotz und den Mitarbeitern der Ergotherapeutischen Abteilung des Spastikerzentrums München für die ausgezeichnete Zusammenarbeit während der Untersuchungsteils dieser Arbeit.

Danken möchte ich auch Herrn Dr. O. Esslinger, der mit mir die Untersuchungen durchführte und mich in allen technischen Fragen fachkundig beraten hat.

Mein herzlicher Dank geht an meinen Mann Olaf Maaß für die Durchsicht des Manuskripts und die Unterstützung bei Grafik und Programmierung.

Danken möchte ich auch meiner Familie, besonders meinen Eltern.

Nicht zuletzt möchte ich den Kindern und Jugendlichen des Spastikerzentrums danken, die mit großer Motivation an den Untersuchungen teilnahmen und somit die Grundlage für diese Arbeit schufen.