

**Neuromuskuläre Arthro-ossäre Plastizität als Grundlage
für das Erlernen von motorischen Strategien im Alltag
nach totaler traumatischer Armamputation anhand einer
Fallstudie**

Masterthese im Rahmen des Lehrgangs Neurorehabilitation, MSc II (2005-2007)
eingereicht am Zentrum für Klinische Neurowissenschaften
der
Donau-Universität Krems

Verfasst von: Renata Horst

Betreut von: Prof. Dr. Wolf Muellbacher

Ingelheim, 2007

Abstract

Titel: Neuromuskuläre Arthro-ossäre Plastizität als Grundlage für das Erlernen von motorischen Strategien im Alltag nach totaler traumatischer Armamputation anhand einer Fallstudie.

Ziel: Ziel dieser Arbeit ist es, eine patienten-orientierte Vorgehensweise zu erläutern, die zur Funktionsverbesserung, sowohl auf Körperstrukturebene, als auch auf Aktivitäts- und Partizipationsebene, nach vollständiger traumatischer peripherer Nervendurchtrennung führen kann. Insbesondere wird darauf eingegangen, dass plastische Veränderungen abhängig vom Input sind und auf allen Ebenen der internationalen Klassifikation von Funktion (ICF) möglich sind, unabhängig vom Zeitpunkt der Läsion.

Methoden: Aktuelle wissenschaftliche Literatur dient als Basis für die praktischen Vorgehensweisen. Gelenkmessungen, Muskelfunktionstests und elektrophysiologische Untersuchungen wurden zur Dokumentation der strukturellen Beeinträchtigungen und Fortschritte verwendet. Alltagsaktivitäten wurden anhand von Fotos dokumentiert. Der Patient hat seine eigenen Therapiefortschritte anhand des SF-36 Fragebogens und des Motor Activity Logs der oberen Extremität eingeschätzt.

Ergebnisse: Im Verlauf von 4 Jahren nach dem Unfall kann gezeigt werden, dass es sowohl zu relevanten Veränderungen auf der Körperstruktur- als auch auf der Aktivitäts- und Partizipationsebene gekommen ist. Der Patient bewältigt seinen Alltag vollkommen selbständig. Grobmotorische bimanuelle Tätigkeiten sowie beginnende feinmotorische Tätigkeiten sind möglich, was möglicherweise auf die zunehmende Verbesserung der Fingersensibilität zurückzuführen ist. Es ist anzunehmen, dass weitere Verbesserungen im Alltag zu erwarten sind. Diese werden fortlaufend dokumentiert. Eine vollständige Wiedereingliederung in seinem alten Beruf ist zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht erfolgt. Hier wird eine berufliche Re-orientierung angestrebt.

Abstract

Titel: Neuromuscular Skeletal Plasticity as a basis for learning motor strategies in daily life activities after total traumatic arm amputation: a case study.

Goal: The goal of this paper is to describe a client-orientated approach, which enables functional recovery at the impairment level, as well as at the activity and participation level, after a complete traumatic resection of peripheral nerves. A special focus is placed on the fact that adaption is possible at all levels of the International Classification of Function (ICF), disregardless of the time span after the lesion, depending on input.

Methods: Current scientific literature serves as the basis for the practical applications. Range of motion measurements, muscle tests and electrophysiological measurements were performed to asses the structural impairments and recovery. Foto documentation was used to evaluate the activities of daily living. The patient evaluated his own therapy progression with the Sf-36 questionnaire and Upper Extremity Motor Activity Log (UEMAL) .

Results: During the course of 4 years, relevant changes at the structural, activity and participation level have occured. The patient is able to manage daily life activities independently. Gross motor bimanual tasks, as well as beginning manipulative hand functions are possible. This may be due to the continuing increase of sensation in the fingers. It may be assumed that his progress with activities of daily living will continue, as this has been documented continuously. At this point, however, he has not been able to take up his previous occupation. A professional re-orientation is necessary.

Kurzfassung

In dieser Arbeit werden anhand einer Einzelfallstudie eines Patienten, dessen Oberarm beim Sturz auf den Eisenbahngleisen komplett abgetrennt und chirurgisch rekonstruiert wurde, mögliche Behandlungsmethoden vorgestellt und diskutiert. Die grundlegende Hypothese, die die Grundlage der methodischen Vorgehensweisen bildet, ist, dass neben passiven Mobilisationsmassnahmen zur Verhinderung von Narbenbildung und Gelenkkontrakturen und Fazilitationstechniken zur Verhinderung der Muskelatrophien eine aufgabenspezifische Vorgehensweise für die Wiederherstellung der Funktion auf Aktivitäts- und Partizipationsebene entscheidend ist. Das hier vorgestellte neuro-orthopädische Behandlungskonzept hat zum Ziel, motorische Strategien im Alltag des Patienten zu fördern.

Die strukturelle Behandlung zur Vermeidung oder Behandlung von Mobilitätseinschränkungen ist in vielen manualtherapeutischen Konzepten (z.B. Kaltenborn-Evjenth, Maitland) verankert. Die Untersuchungs- und Behandlungstechniken werden primär passiv angewendet. Mobilisationsmaßnahmen werden vom Therapeuten durch Traktions- und Gleittechniken, Oszillationen und/oder passive Dehnungen ausgeführt. Fazilitationskonzepte (z.B. PNF, Bobath, Vojta) haben zum Ziel, die neuromuskuläre Koordination des Patienten mittels spezifischer Stimuli zu fördern. Die Applikation von externen Reizen durch den Therapeuten spielt sowohl bei den orthopädischen manualtherapeutischen Konzepten als auch bei den neurophysiologischen Konzepten eine übergeordnete Rolle.

Solange Eigenaktivität nicht möglich ist, sind diese Vorgehensweisen essentiell zur Vermeidung von Kontrakturen und Atrophien in der Peripherie. In dieser Arbeit wird auf die Beeinflussung von peripheren Stimulationen auf zentrale Veränderungsprozesse, die wiederum den peripheren Output beeinflussen, eingegangen. Zudem wird die zentrale Frage gestellt, ob diese strukturellen Vorgehensweisen nicht effektiver zur Wiederherstellung der Funktion auf allen Ebenen des ICFs (Internationale Klassifikation von Funktion) sind, wenn sie in

realistischen Alltagssituationen unter der mentalen Willküraktivität des Klienten erfolgen.

Diese Frage stellt sich, weil klinische Beobachtungen zeigen, dass Veränderungen, die während der Therapie auf Körperstrukturebene erzielt werden, nicht zwangsläufig zu langfristigen Veränderungen auf der Aktivitäts- und Partizipationsebene des Klienten führen. Diese klinische Beobachtung zwingt dazu methodische Vorgehensweisen zu konzipieren, die eine lang-anhaltende, alltagsrelevante Veränderung bewirken können.

In der heutigen Zeit wird viel Kritik an den oben genannten Fazilitationskonzepten, die den Reiz-Antwort Theorien zugrunde liegen, ausgeübt. Diese Theorien beinhalten die Idee, dass ein externer Stimulus notwendig ist, um Bewegung organisieren und ausführen zu können. Studien sollen belegt haben, dass Bewegungen ohne jeglichen sensorischen Input sowohl initiiert als auch ziel-orientiert zu Ende geführt werden können, (s.unten im Text). Diese angebliche Evidenz dient als Stütze der heutigen Sichtweise, dass Fazilitation durch die Hände des Therapeuten den motorischen Lernprozess nicht fördern.

In dieser Arbeit werden anhand dieser Fallstudie Vorgehensweisen aufgezeigt, die weder eine Reiz-Antwort-Konzeption noch eine Hands-Off-Konzeption verfolgen. Diese schwarz-weiss-Zonen werden von grauen Nuancen abgelöst, die sowohl einen aufgaben- oder klienten-orientierten Ansatz als auch die Förderung dieser Aufgaben durch Therapeutenhände zulassen, um langanhaltende Veränderungen, im Sinne der neuromuskulären arthroossären Plastizität, zu erzielen.

Ferner wird dokumentiert, dass selbst einige Jahre nach kompletter peripherer Nervendurchtrennung lang-anhaltende Veränderungen, sowohl auf der Körperstrukturebene als auch auf der Aktivitäts- und Partizipationsebene, erzielt werden konnten.

Bewältigungsstrategien, die in den ersten 1 ½ Jahren der Rehabilitation benutzt wurden, um die Selbständigkeit zu ermöglichen, konnten bei zunehmender Funktionsverbesserung automatisch abgelöst werden. Dies bedeutet, dass diese Strategien nicht zwangsläufig beibehalten werden, wenn Potenziale gewonnen werden.

Inwiefern dieser Einzelfall sich verallgemeinern lässt, bedarf künftiger Kontrollen, da letztendlich und wahrscheinlich am entscheidendsten für den Erfolg dieses Menschen seine aussergewöhnliche Eigenmotivation und grundlegend positive Lebenseinstellung ist.

Gliederung

1.	Einleitung.....	1
2.	Theoretische Hintergründe.....	9
2.1.	Organisation von Greifbewegungen.....	9
2.1.1.	Motivation.....	9
2.1.2.	Neuromuskuläre Voraussetzungen.....	10
2.1.3.	Posturale Kontrolle.....	18
2.1.4.	Muskuloskelettale Voraussetzungen.....	20
2.2.	Schutzmechanismen.....	20
2.3.	Inhibition und Habituation.....	22
2.4.	Die Rolle der Sensorik für die Bewegung.....	23
2.5.	Plastizität.....	26
2.5.1.	Neurale Plastizität.....	26
2.5.2.	Spiegelneurone.....	27
2.5.3.	Repräsentationsveränderungen.....	29
2.5.4.	Funktionsverknüpfungen.....	32
2.5.5.	Muskuläre Plastizität.....	33
2.5.6.	Arthro-ossäre Plastizität.....	34
2.6.	Pathophysiologie von Nervenverletzungen.....	34
2.7.	Nervenregeneration.....	36
2.8.	Periphere Veränderungen.....	37
3.	Fallbeschreibung.....	38
4.	Rehabilitationsmaßnahmen.....	41
4.1.	Hypothesen.....	41
4.2.	Behandlungsziele.....	42
4.3.	Behandlungsprinzipien und methodische Verfahren.....	44
4.3.1.	Kognitives Schmerz- und Angstmanagement.....	45
4.3.1.1.	Habituationstraining.....	46
4.3.1.2.	Aerobes Training.....	48
4.3.2.	Nutzen der positiven Ressourcen.....	49
4.3.3.	Exzentrische Aktivierung der steifen Muskulatur.....	53
4.3.4.	Spezifische Anwendung der Inputsysteme.....	57
4.3.5.	Gezielte Gestaltung der Therapiesituation.....	61

4.4. Verlaufsdocumentation.....	66
4.4.1. Passive Gelenkbeweglichkeitstests.....	66
4.4.2. Muskelfunktionstest.....	68
4.4.3. Sensibilitätstests.....	69
4.4.4. Elektrophysiologische Untersuchung.....	69
4.4.5. SF-36.....	70
4.4.6. Upper Extremity Motor Activity Log (UEMAL).....	74
5. Ergebnisse.....	78
5.1. SF-36.....	78
5.2. Upper Extremity Motor Activity Log (UEMAL).....	91
5.3. Vergleich: objektive Messungen, subjektive Messungen und Fotodokumentation.....	91
6. Diskussion	101
7. Schlussfolgerungen.....	102
8. Literatur.....	105

1. Einleitung

Die Hand des Menschen ist das wichtigste Instrument, um seine Umgebung gestalten zu können. Sie kann als Werkzeug des Geistes betrachtet werden. Der hochempfindliche Tastsinn ermöglicht es dem Menschen, seine Hände als taktile Werkzeuge zu nutzen. Eine Hand zu verlieren, bedeutet mehr, als mit ihr nicht mehr greifen zu können. Durch den Verlust der Hand verändert sich der Bezug des Individuums zur Umwelt. Die Hand und die Finger sind im Vergleich zu anderen Körperteilen, aber auch im Vergleich zu anderen Tieren überdimensional in den sensorischen Handarealen des Kortex repräsentiert. Nur das Gesicht: Augen, Mund und Zunge, hat eine ähnlich große Repräsentation. Dies ist auch nicht verwunderlich, wenn man die lebenswichtige Funktion der Nahrungsaufnahme betrachtet. Die Nahrung wird zunächst mit den Augen „aufgespürt.“ Die Manipulation der Umwelt mit den Händen macht es möglich, sie in den Mund zu bringen, um sie anschließend zu zerkleinern und mit der Zunge in Richtung Rachen zu befördern, ehe sie endlich heruntergeschluckt werden kann. Hier besteht eine enge funktionelle Verbindung zwischen Augen-, Mund- und Handkoordination.

Es gibt zahlreiche Hinweise von Evolutionstheoretikern und Paläontologen über die nahezu zeitgleiche Entwicklung der Sprache und der Manipulationsfähigkeit der Hand. Leroi-Gourhan (1995) zeigt in seinem Buch: *Hand und Wort*, wie die Form des Schädels sich im Verlaufe der Evolution an die funktionellen Ansprüche angepasst hat (Abb. 1). Unsere vierbeinigen Vorfahren haben ihre Extremitäten für die Fortbewegung benötigt und waren somit auf ein großes Gebiss für das Greifen von Nahrung angewiesen. Als unsere Vorfahren sich allmählich aufrichteten und die Hände frei zur Manipulation der Umwelt wurden, wurde sozusagen eine Funktion für den Mund frei. So konnte die Sprache entstehen. Das Gebiss bildete sich zurück, und der Teil des Schädels, der im wesentlichen für Sprachverständnis und das Sprechen zuständig ist, forderte einen größeren Raum ein.

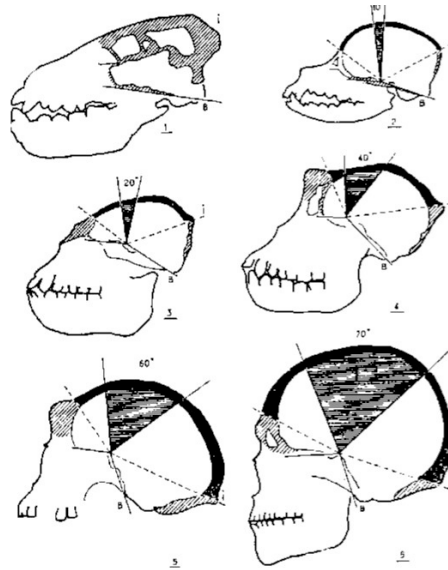


Abb. 1: Im Verlaufe der Evolution öffnete sich die Schädeldecke. Erst beim homo sapiens wird der Präfrontalriegel gesprengt; Leroi-Gourhan, 1995

Es ist ein evolutionsgeschichtlich junges Phänomen, dass sich eine so hohe Dichte an Tastkörperchen an den Händen und an den Fingerkuppen befinden. Deshalb ist es gar nicht verwunderlich, dass trotz modernster technischer Entwicklung es bis heute nicht gelungen ist, das vielfältige Bewegungsgeschick unserer Hände technisch nachzubauen.

In dieser Arbeit wird ein 36 jähriger Patient, Herr S.U., vorgestellt, dessen Oberarm bei einem Zugunglück komplett abgetrennt und anschließend wieder chirurgisch fixiert wurde. Es ist wahrscheinlich seine außergewöhnliche Eigenmotivation zu verdanken, dass er im Verlauf seines 4-jährigen Rehabilitationsprozesses so gute Fortschritte machen konnte. (Oder ist diese Motivation gar nicht so außergewöhnlich, wenn man die Zeitspanne der Evolutionsgeschichte betrachtet, die notwendig war, um mit der Entwicklung der Geschicklichkeit der Hand so weit zu kommen?)

Sein Rehabilitationsprozess wird hier auf der Grundlage theoretischer Kenntnisse der Plastizität und der Kenntnisse darüber, wie Notwendigkeit Veränderung verschafft, mit den daraus folgenden Behandlungsprinzipien und Behandlungsmethoden geschildert.

Nach traumatischer Armresektion mit kompletter Nervendurchtrennung kommt es zu plastischen Veränderungen sowohl peripher als auch zentral. Diese Veränderungen werden erläutert und bilden die Grundlage der therapeutischen Vorgehensweisen, die zum Ziel haben, die durch die Verletzung bedingte

plastische Veränderung wiederum plastisch zu verändern, um Alltagsaktivitäten und Teilnahme am Berufsleben wieder zu ermöglichen. **Plastizität** bedeutet Veränderung bzw. Adaptationsfähigkeit aufgrund von funktionellen Anforderungen. Es muss abgewogen werden, ob plastische Veränderungen für den Patienten von Vorteil sind oder nicht. Für den Therapeuten stellt sich immer die Frage, ob nach Verletzungen „alte“ Funktionen wiedererlangt werden sollen oder „neue“ Funktionen, im Sinne von Kompensationen oder, positiv ausgedrückt, Bewältigungsstrategien toleriert werden können oder sogar geübt werden müssen. Vorrangig sollte immer die Selbständigkeit des Patienten sein, d.h. Lebensqualität wird Bewegungsqualität übergeordnet. Es ist jedoch wichtig, Potenziale des Patienten nicht zu übersehen. Der Befund des Patienten und seine Motivation sind die entscheidenden Faktoren ebenso wie Kenntnisse der Biomechanik und neurophysiologische Prinzipien, wie das ZNS Bewegungen organisiert. Diese Kenntnisse werden verknüpft, um langfristige Veränderungen (Plastizität) sowohl auf struktureller als auch auf Aktivitäts- und Partizipationsebene zu erzielen.

Der Lernvorgang stellt einen kontinuierlichen Prozess dar. Kurzfristige Veränderungen führen zu langfristigen Veränderungen.

Die zentrale These ist, dass Gelenkmobilisationen und Muskelaktivierungen während einer sinnvollen Aufgabe in einer für den Patienten relevanten Umweltsituation stattfinden sollen, um langfristige Lerneffekte zu erzielen, und dass diese erfolgen können unabhängig vom Zeitpunkt der Läsion.

- Veränderung findet nur statt, wenn die Notwendigkeit hierfür besteht;
- therapeutische Intervention beinhaltet die Gestaltung der Situation, in der ein Patient lernen will;
- Erfolg zu erleben während des Lernens erhöht die Bereitschaft zum Wiederholen.

Die strukturelle Behandlung dient nicht der Vorbereitung der funktionellen Aktivität, sondern sie wird primär während einer funktionellen, zielorientierten Aktivität durchgeführt.

Fazilitationskonzepte haben in der Vergangenheit einen sehr stark strukturbezogenen Ansatz verfolgt, auch wenn zudem Alltagsfunktionen berücksichtigt wurden. Die strukturelle Behandlung wurde jedoch eher vorbereitend durchgeführt

unter der Annahme, dass hierdurch die Ausführung von Alltagsfunktionen automatisch folgt. Heute ist weitestgehend bekannt, dass es keinen automatischen Transfer von der Körperstrukturebene auf die Aktivitäts- und Partizipationsebene gibt. Strukturelle Voraussetzungen sowie ausreichende Gelenkmobilität und Muskelinnervation können vorhanden sein, und Alltagsaktivitäten können möglicherweise trotzdem nicht durchgeführt werden. Umgekehrt können Patienten Alltagsfunktionen ausführen trotz limitierter Gelenkbeweglichkeit oder Muskelinnervation. Hier besteht keine zwangsläufige Kausalität.

Im PNF-Konzept wurden die ersten Übungen primär in Bewegungsdiagonalen in Rückenlage auf der Behandlungsliege durchgeführt, obwohl M. Knott und D. Voss in ihrem 1956 veröffentlichten Buch bereits geschrieben haben, dass:

„sinnvolle Bewegungen grundlegend für ein erfolgreiches Leben und auf ein ultimatives Ziel ausgerichtet sind.“ Ferner schrieben sie, dass *„Fähigkeiten, Kraft und Ausdauer sich durch aktive Teilnahme am Leben entwickeln.“*

Vertreter des Bobath-Konzepts verfolgten einen strukturell betonten Behandlungsansatz, auch wenn in diesem Konzept ebenfalls die Fazilitation von Alltagsaktivitäten verfolgt wurde und wird. Bei zentral verletzten Patienten spielten die Senkung des Muskeltonus und die Vermeidung von Kompensationsstrategien eine große Rolle. Pat Davies (1986) schrieb hierzu:

„Er (der Patient) sollte von Anfang an eine ausreichende Hilfestellung bekommen, um Spastizität soweit wie möglich zu verhindern und abnormale Bewegungsmuster gar nicht erst zur Gewohnheit werden zu lassen. Während der Behandlung sollte nach dem Grundsatz der Bewegungsförderung vorgegangen werden, nachdem der Tonus soweit wie möglich normalisiert worden ist. Die Behandlung besteht nicht aus einer Reihe von isolierten Übungen, sie ist vielmehr eine Folge von Bewegungsabläufen zur Erreichung eines bestimmten Zieles. Ist bei einer dieser Aktivitäten ein normaler Tonus erreicht worden, wird eine selektive Bewegung eingeübt und sodann funktionsgerecht eingesetzt.“

Zum gleichen Zeitpunkt dieser Veröffentlichung hat O'Dwyer (1986) nachgewiesen, dass Tonuserhöhung jedoch nur in ca. 32% der Fälle nach Schlaganfall vorkommt. Mit dem Zugewinn an wissenschaftlicher Evidenz haben diese Behandlungskonzepte in den letzten Jahren ihre Vorgehensweisen weiterentwickelt und dem aktuellen Wissensstand angepasst.

Einige manualtherapeutische Konzepte verfolgen heute noch einen strukturbezogenen Behandlungsansatz. Maitland (1990) schreibt,

„...daß die Behandlung durch passive Bewegung eine besondere Wirkung auf heilende Strukturen hat, die durch keine andere Maßnahme erreicht wird.“

Neuere Literatur beschreibt die manuelle Therapie folgendermaßen:

„Die manuelle Therapie wird im allgemeinen passiv ausgeführt, da jegliche Form von Aktivität ein Gelenk schließt. Somit ist für die manuelle Therapie die physiologische Funktionalität unwichtig.“ (Streek et al., 2006)

Über die strukturelle Behandlung hinaus findet man in der manualtherapeutischen Literatur auch alltagsorientierte Untersuchungs- und Behandlungsansätze (Schomacher, 2001).

Funktion kann definiert werden als eine komplexe Aktivität des gesamten Organismus mit dem Ziel, eine bestimmte Aufgabe zu lösen. Optimale Funktion beinhaltet Verhaltensstrategien, welche es ermöglichen, ein aufgabenspezifisches Ziel in einer relevanten Umweltsituation zu erreichen (Horst, 2005). Dies ist für den Klienten, der sich im Rehabilitationsprozess befindet, entscheidend.

Die Frage stellt sich, ob nach heutigen wissenschaftlichen Kenntnissen einen Paradigmenwechsel der bestehenden therapeutischen Konzepte nicht herbeiführen müssen. Die WHO hat mit der ICF (internationale Klassifikation von Funktionen) über die Körperstrukturebene hinaus die Inhalte der Aktivitätsebene und Partizipationsebene mit weitaus mehr als 1000 Items beschrieben.

Die theoretische Grundlage der Behandlungskonzepte wird von dem Wissensstand der Zeit gebildet. In den ersten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts wurde Bewegung als Folge einer Aneinanderreihung von Reflexaktivitäten betrachtet (Sherrington, 1947). Auch einige Wissenschaftler vor Sherrington vertraten die Meinung, dass spinale Reflexmechanismen koordinierte Bewegungen erzeugen (Duschenne, 1872, Pflüger, 1853). Für Sherrington besaß das Nervensystem die entscheidende Eigenschaft, Stimuli weiterzuleiten. Er sprach in diesem Zusammenhang von der „*conduction*“ oder *Weiterleitung*. Diese Sichtweise berücksichtigt nicht, dass Menschen Korrekturen während der Bewegungsausführung vornehmen können, und vor allem kann sie die Flexibilität von Bewegungsausführungen beziehungsweise die Vielzahl an Bewegungsmöglichkeiten zur Lösung ein und derselben motorischen Aufgabe nicht erklären. Gerade in der Betrachtung der Bewegungsvielfalt der Hand ist es nicht verwunderlich, dass spinale Reflexmechanismen alleine die Voraussetzungen hierfür nicht erfüllen können. Alpha-Motoneurone der Handmuskulatur können von übergeordneten Nervenzellen aus dem Rückenmark oder dem Gehirn direkt erregt werden und sind nicht auf einen peripheren sensorischen Stimulus angewiesen (Weinmann, 1999).

Hinzu kommt, dass Reflexe adaptiv und von der Situation abhängig sind. Sie können nicht als rein motorische Reaktion auf einen Stimulus gesehen werden, sondern sind auch die Folge von sensomotorischen Integrationsprozessen.

In einem Experiment, bei dem die klassische Konditionierung über assoziatives Lernen demonstriert wurde, hat sich diese Aussage bestätigt. Probanden legten ihre Hand mit der Volarfläche auf einen Metallrost, auf den Strom appliziert wurde (unkonditionierter Stimulus), bis ein Fluchtreflex ausgelöst wurde. Ca. 0,5 s vorher wurde ein Licht (konditionierter Stimulus) eingeschaltet. Nach häufigem Wiederholen zogen die Probanden ihre Hand weg, wenn nur das Licht eingeschaltet wurde und der Strom nicht appliziert wurde. Als die Probanden die Dorsalfläche ihrer Hand auf das Metallrost legten und das Licht eingeschaltet wurde, zogen sie ebenfalls ihre Hand weg (Kandel et al., 2000).

Ergebnis dieses Experiments: Die Probanden haben die Volarflexoren aktiviert anstatt der Dorsalextensoren, die zuvor trainiert worden sind. Somit sind es nicht

Reflexantworten auf struktureller Ebene, die trainiert werden, sondern adäquates Bewegungsverhalten bzw. motorische Strategien, die zum Erfolg führen.

Daher sind Übungen, die ausschließlich auf der strukturellen Ebene erfolgen, oft nicht ausreichend, um das Bewegungsverhalten situationsangepasst zu verändern. Für das Lernen von komplexeren Bewegungen soll häufiges Wiederholen oder „repetitives Training“ den Patienten in die Lage versetzen, motorische Strategien möglichst selbstständig zu suchen und auszuführen.

Für komplexere Aufgaben sind relevante, d.h. sinnvolle, variable Kontexte notwendig, das Individuum muss motiviert sein, und sich mit der motorischen Aufgabe auseinander zu setzen.

Keine zwei Bewegungen werden total gleich ausgeführt. Hinzukommt, dass unterschiedliche Muskeln zum selben Resultat führen können. Zum Beispiel kann man seinen Namen mit der dominanten Hand schreiben und ein ähnliches unverkennbares Resultat erzeugen wenn man ihn mit einem Stift im Mund schreibt. Dies wird „motorische Äquivalenz“ genannt (Ghez, Krakauer, 2000).

Beim gesunden Menschen sind Bewegungen sehr variabel. Diese Variabilität ermöglicht es dem Organismus, sich mit der Umwelt, die nie starr ist, auseinanderzusetzen.

Bernstein (1967) beschäftigte sich mit den Freiheitsgraden der Gelenke und wie diese vom ZNS organisiert werden. Turvey (1977) beschrieb Muskelsynergien als *koordinative Strukturen*, die es ermöglichen, die Anzahl der Freiheitsgrade zu reduzieren. Zum Beispiel fällt es leichter, die Hand in Dorsalextension zu bewegen, wenn der Ellenbogen ebenfalls extendiert. Hingegen fällt es deutlich schwerer, die Hand zu extendieren, wenn man den Ellenbogen gleichzeitig flektiert, oder die Hand in Volarflexion zu bewegen, wenn sich der Ellenbogen gleichzeitig streckt (Kots, Syroegin, 1966). Koordinative Strukturen ermöglichen nicht nur die Abstimmung verschiedener Gelenke einer Extremität, sondern auch die Abstimmung beider Extremitäten bei bimanuellen Tätigkeiten (von Holst, 1973, Kelso, 1988).

Ein Muskel, der in einer Synergie für die Bewältigung einer motorischen Aufgabe aktiviert wird, kann auch in einer anderen Synergie mitwirken, welche der Bewältigung einer völlig anderen motorischen Aufgabe dient.

Man benutzt unterschiedliche Bewegungsstrategien, um einmal ein auf dem Tisch stehendes Glas zu greifen, welches mit der offenen Seite nach oben steht, und das andere Mal umgedreht, mit der Öffnung nach unten. Wenn jemand ein mit der Öffnung nach oben stehendes Glas so greifen würde, als stünde es anders herum, so würde man diese Bewegung als abnormal bezeichnen. Für diese Person kann diese Bewegungsstrategie jedoch sinnvoll und zum momentanen Zeitpunkt völlig normal sein, wenn Schwäche oder Schmerz sie dazu veranlassen, die motorische Aufgabe auf diese Art durchzuführen. Auch hier geschieht die Anpassung aufgrund der Notwendigkeit zur Veränderung. In diesem Beispiel sehen wir, wie stark Wahrnehmung und Handlung miteinander verflochten sind. Erst das Zusammenspiel von motorischen und sensorischen Informationen macht die Hand zum handelnden Organ.

Als „normal“ kann bezeichnet werden, wenn ein Gleichgewicht zwischen Input und Output im Organismus herrscht, um in bestimmten Umweltsituationen bestimmte motorische Aufgaben lösen zu können. Das oben aufgeführte Beispiel zeigt, dass man variable Strategien benötigt, um unterschiedliche Aufgaben in verschiedenen Umweltsituationen bewältigen zu können. Bevor eine Bewegung überhaupt beginnt, wird sie durch die Notwendigkeit zu bewegen bestimmt.

Durch häufige Wiederholung gleichartiger Bewegungen entsteht die „Idee“ einer Bewegung, die als „Erwartungshorizont“ bezeichnet werden kann. Bei einer Störung in der Peripherie, wie in dem Fall von S.U., wird dieses Gleichgewicht gestört, so dass das System gezwungen wird, die Relation zwischen Input und Output (Afferenz-Efferenz-Relation) neu zu erlernen. Peripherie und Zentrum bilden eine Einheit, die bestrebt sind, als problemlösendes System zu funktionieren. Jede Manipulation in der Peripherie zwingt das System dazu, sich zu reorganisieren mit dem Ziel, das Efferenz-Afferenz-Gleichgewicht wiederherzustellen (Mulder, 2006). Genauso können kognitive Strategien genutzt werden, um Veränderungen in der Peripherie zu bewirken.

Ob der primäre Ort der Verletzung zentral oder peripher ist, sollte nicht maßgebend für die Behandlungsmethode sein. Denn unabhängig vom primären Ort der Verletzung kommt es zu Veränderungen sowohl zentral als auch peripher. Wichtig sind eine ausführliche Differentialdiagnostik und eine multidisziplinäre Befunderhebung, um Verletzungsorte und die darausfolgenden Defizite definieren zu können und mögliche Potenziale, die als Ressourcen für die Therapie genutzt werden können, zu erkennen. Zum Beispiel kommt es nach einem Schlaganfall zu gravierenden peripheren Veränderungen, wie z.B. Muskelschwäche und Elastizitätsverlust oder Steifigkeit sowie zum Verlust der Anzahl der Sarkomeren. Adaptive Phänomene verursachen einen Umbau von phasischen in tonische Muskelfasern (Hufschmidt, Mauritz, 1985). Dieselben biomechanischen Veränderungen finden nach einer peripheren Verletzung statt. Zudem kommt es sowohl nach einer zentralen als auch nach einer peripheren Nervenverletzung zu kortikalen Repräsentationsverschiebungen, die nicht nur negativ anzusehen sind, denn sie ermöglichen dem Individuum Strategien zur Bewältigung seines Lebens.

2. Theoretische Hintergründe

2.1 Organisation von Greifbewegungen

2.1.1. Motivation

Bevor eine Bewegung überhaupt beginnt, muss ein Grund hierfür vorhanden sein. Moore (1987) bezeichnet das limbische System als das System, das uns bewegt, und prägte in diesem Zusammenhang den Ausdruck „MOVE.“ Sei es, dass Bewegung Teil eines Schutzmechanismus ist oder sei es, dass man sich mit einer bestimmten Aufgabe in der Umwelt befasst. Informationen aus der Umwelt sind wichtig, um Bewegungen planen und organisieren zu können. „M“ steht hier für Motivation, „O“ für das olfaktorische System, das mit dem Mandelkern des limbischen Systems direkt verknüpft ist. Der Mandelkern „wertet“ biologisch wichtige Information aus und speichert Informationen, die für das Überleben wichtig sind, über seine Verbindung zum Temporallappen ins Langzeitgedächtnis (Le Doux, 1996). „V“ steht für das vegetative Nervensystem. Der Nervus Sympathikus hat ebenfalls direkte Verbindungen zum Mandelkern, so dass biologisch notwendige Schutzmechanismen automatisch organisiert werden können, wenn dem Organismus eine Gefahr droht. „E“ steht für Emotionen, die Voraussetzung für Gefühlswahrnehmungen sind (Damasio, 1999). Es ist

unabdingbar für das Lernen, dass emotionale Verknüpfungen hergestellt werden, seien diese positiv oder negativ. Taten, für die man belohnt wird, wiederholt man gerne, was zum Lerneffekt führt. Taten, die mit negativen Erfahrungen verknüpft sind, vermeidet man lieber in Zukunft. Auch dies führt zu einem Lerneffekt.

Zu den Hauptfunktionen unserer Arme gehören die Greiffunktionen und damit die Fähigkeit, Objekte zu manipulieren, um Alltagsaktivitäten zu bewältigen (Zähne bürsten, sich kleiden, essen, mit Werkzeugen hantieren). Wie wir später sehen werden, ist es wichtig zur Einübung von Greiffunktionen, die unterschiedlichsten Gegenstände in der Therapiesituation tatsächlich zu benutzen.

2.1.2. Neuromuskuläre Voraussetzungen

Es gibt zur Ausführung der oben genannten Handlungen 2 verschiedene Bahnen: eine für den Armtransport und eine für die Formation der Hand und der Finger beim Greifvorgang. Jeannerod (1990) hat beobachtet, dass Kinder mit cortikospinalen Läsionen beim Greifen nach Objekten Schwierigkeiten mit der Formation der Hand haben, wobei die Transportphase des Armes ungestört ist. Dies spricht für die eben beschriebene anatomische Trennung.

Das Zentrale Nervensystem organisiert Bewegungen sowohl willkürlich als auch unwillkürlich. Durch das Rückenmark verlaufen mediale Bahnen, die proximale Muskeln primär kortikal steuern. Lateral verlaufen Bahnen (Pyramidenbahn), die distale Muskeln primär willkürlich steuern (Abb. 2).

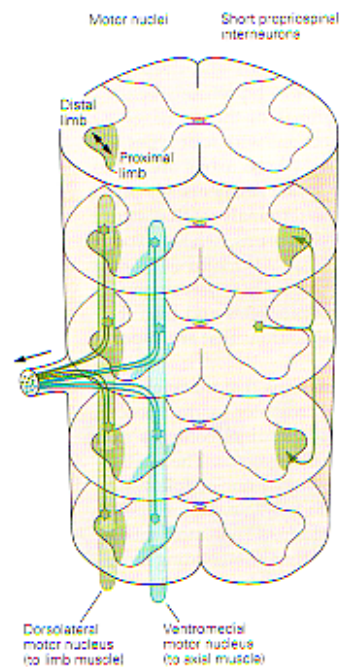


Abb. 2: Funktionelle Anordnung der medialen und lateralen cortikospinalen Bahnen des Rückenmarks; Ghez, Krakauer, 2000.

Die Pyramidenbahnen haben ihren Ausgangspunkt im Motorischen Kortex (M1). Ist M1 isoliert aktiviert, entsteht lediglich eine Karikatur einer Bewegung. M1 kann als Interneuron betrachtet werden, der Eingänge aus dem Prämotorischen Kortex, Supplementär Motorisches Areal, parietal Kortex und Assoziationareale empfängt. Hier wird sensorischer Input integriert und interpretiert, um die motorischen Strategien zu entwickeln, die zur Lösung verschiedener Aufgaben in unterschiedlichen Umweltkontexten führen. Erst die Synthese dieser verschiedenen Areale ermöglicht koordinierte, angepasste Bewegungsstrategien. Es gibt auch direkte Eingänge von M1 auf spinaler Ebene. Die Anzahl dieser Verbindungen variiert von Spezies zu Spezies und hängt von der motorischen Entwicklung ab.

Der Motor Cortex erhält auch Eingänge von den Muskeln und der darüberliegenden Haut, die er versorgt. So erfüllt der Motorcortex auch die Aufgabe, Bewegungsgeschwindigkeit, Kraft und die Bewegungsrichtung der Aufgabe anzupassen. Neuronenpopulationen werden aufgabenspezifisch aktiviert. Dieselben Bewegungen ausgeführt, unter unterschiedlichen Bedingungen, aktivieren unterschiedliche Populationen. Deswegen muss die tatsächlich gewünschte Aufgabe trainiert werden, da von einem automatischen Transfer

einer geübte Aufgabe auf eine nicht geübten Aufgabe, nicht ausgegangen werden kann.

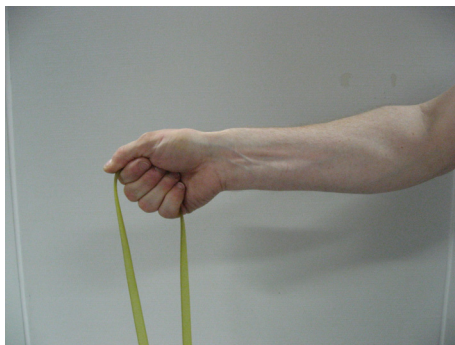
Beim Greifen eines Objektes wird die Position des Objektes zunächst visuell definiert und in Bezug zum distalen Körperteil, die Hand, gebracht. Sie bewegt sich während der Greifaktion auf einer geraden Linie zum Ziel, während die anderen Gelenke sich dabei je nach Lokalisation des Zieles anpassen (Morasso, 1981). Die Formation der Hand, z.B. die Griffart, geschieht, während der Arm sich zum Objekt ausstreckt. Die Hand öffnet sich kurz vor dem Erreichen des Ziels, und zwar etwas mehr, als die Größe des Objektes dies erfordert.

Hierfür muss das Individuum zunächst das Objekt selbst und dessen Eigenschaften erkennen können. Bahnen zwischen dem visuellen Kortex und dem Temporallappen ermöglichen die bewusste Objekterkennung bzw. „wohin“ die Hand gelangen muss.

„Wie“ die Hand sich formt und „wie“ die anderen Segmente sich dabei zueinander abstimmen, wird unbewusst gesteuert. Hierfür sind Bahnen zwischen dem visuellen Kortex und dem Parietallappen für die Objektlokalisierung zuständig, je nach dem, was gegriffen wird und was das Individuum beabsichtigt, mit dem Objekt zu tun. Greifformen können wie folgt beschrieben werden (Abb. 3a-k):

1. Grob- oder Hackengriff

3a: re. Hand



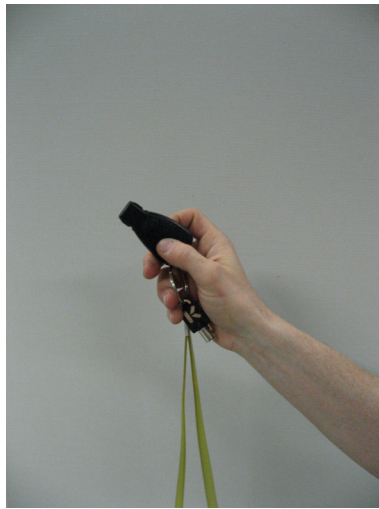
3b: li. Hand



Abb. 3a+b: Ein Gegenstand wird eingehängt, wie der Henkel einer Tasche. Hierfür wird der Daumen nicht benötigt.

2. Schlüsselgriff

3c: re. Hand



3d: li. Hand



3. Haltegriff

3e: re. Hand



3f: li. Hand

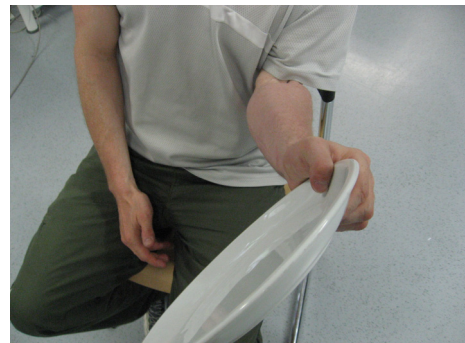


Abb. 3e+f: Festhalten eines Tellers. Die Hand ist gespreizt, und der Daumen fixiert den Teller.

4. Klemmgriff

3g : re. Hand



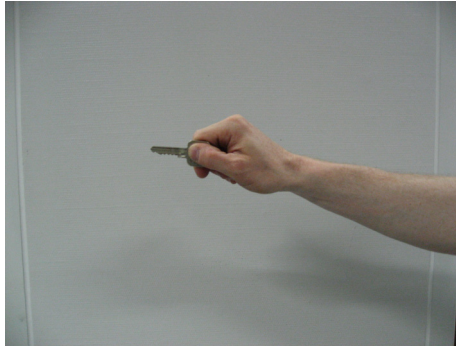
3h: li. Hand



Abb. 3g+h: Ein Gegenstand wird zwischen Ring- und Kleinfinger festgehalten. Dabei können sich die anderen Finger frei bewegen (SMS-Schreiben beim Festhalten des Telefons).

5. Drei-Punkte Feingriff

3i: re. Hand



3j: li. Hand

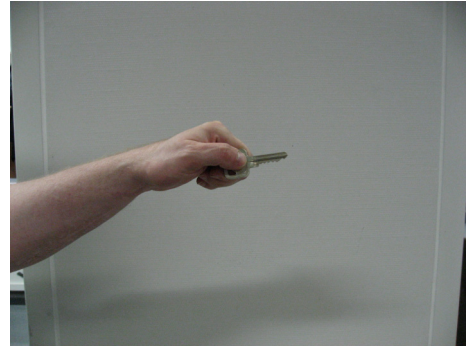


Abb. 3i+j: Halten von feinen Gegenständen.

6. Pinzetten oder Spitzgriff zwischen Zeigefinger und Daumen bei gleichzeitiger Dorsalflexion des Handgelenks.

3k: beide Hände beim Trommeln

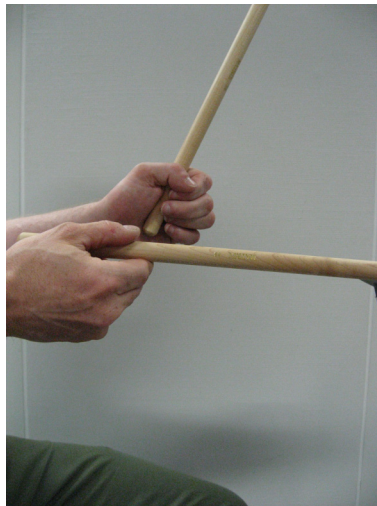


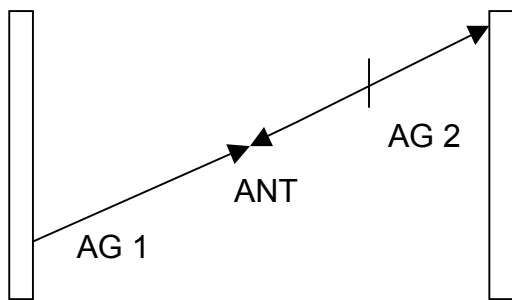
Abb. 3k: Dieser Griff ermöglicht Supinations- und Pronationsbewegungen des Unterarmes und ist für den Gebrauch von vielen Werkzeugen nützlich.

Für diese unterschiedlichen Greifformationen werden unterschiedliche Muskelsynergien benötigt. Nicht nur Muskelsynergien werden aufgabenspezifisch organisiert, sondern auch die Rekrutierungsreihenfolge und die Frequentierung der Motoneurone hängt von der jeweiligen Aufgabe ab. Wenn Stabilität benötigt

wird, dann werden zuerst tonische Muskelfasern rekrutiert und anschliessend phasische. Wenn Mobilität erforderlich ist, werden sofort phasische Muskelfasern rekrutiert (Rothwell, 1994). Selbst bei Maximalkraftleistungen sind nie alle Muskelfasern gleichzeitig in Aktion, sondern sie lösen sich gegenseitig, je nach Bedarf, ab.

Entscheidend für die zielorientierte Bewegungsausführung ist die **aufgabenspezifische Innervation und reziproke Innervation**.

Die Wahl der motorischen Aufgabe bestimmt sowohl die Rekrutierungsreihenfolge der Motoneurone als auch die Geschwindigkeit, in der rekrutiert wird, sowie die reziproke Innervation, d.h. die Information für die Antagonisten, ob diese inhibiert oder koaktiv sind (Pearson, Gordon, 2000). Das ZNS organisiert schnelle, zielgerichtete Willkürbewegungen mittels einer sogenannten triphasischen Muskelaktivierung (Beradelli et al., 1996, Ghez, Thach, 2000). Als allererstes werden die Agonisten der Zielbewegung aktiviert (Beschleunigungsphase). Kurz vor dem Erreichen des Ziels kontrahieren die Antagonisten, um die Bewegung abzubremsen, woraufhin die Agonisten wieder aktiviert werden, um die Endposition zu stabilisieren (Abb. 4). Wenn man die Hand zum Mund bewegt, um etwas zu essen, muss der M. biceps brachii konzentrisch aktiviert werden (Beschleunigungsphase); der M. triceps brachii muss diese Bewegung zulassen, also muss er gleichzeitig reziprok gehemmt sein. Damit die Hand kontrolliert den Mund erreichen kann, muß der M. triceps brachii die Bewegung rechtzeitig abbremsen. Soll eine Willkürbewegung in eine vorgegebene Richtung mittels konzentrischer Agonistenaktivität ausgeführt werden, so müssen die Antagonisten „wissen“, was sie zu jedem Zeitpunkt der Bewegung zu tun haben. Abhängig von dem Ziel der Bewegung kann es die Aufgabe der Antagonisten sein, zu entspannen oder Kokontraktion aufrecht zu erhalten. Je nach Schwerkräfteinfluß müssen die Antagonisten die Bewegung eventuell exzentrisch kontrollieren.



Beschleunigen Bremsen Stabilisieren

Abb. 4: Triphasische Muskelaktivierung: Am Anfang der Bewegung beschleunigen die Agonisten (AG1), kurz vor dem Erreichen des Ziels feuern die Antagonisten (ANT), um die Beschleunigung abzubremsen. Am Ende feuern die Agonisten ein zweites Mal, um Stabilität am Bewegungsende zu gewährleisten (AG2).

Zum Beispiel müssen beim Fangen eines Balles der M. biceps und der M. triceps brachii eine Kokontraktion aufbauen, sowohl bevor der Ball gefangen wird als auch danach. Obwohl nur der M. biceps brachii durch das Gewicht des Balles einen Dehnungsreiz erfährt, muss der M. triceps ebenfalls kontrahieren, um Stabilität nach dem Aufprall auf der Hand zu gewährleisten (Ghez, Krakauer, 2000). Die Koaktivierung von Bizeps und Trizeps, bevor der Ball die Hände berührt, ist abhängig von visuellen Informationen (Feedforward). Der Aufprall des Balles enthält propriozeptive Informationen, so dass der Bizeps adäquat reagieren kann (Feedback). Durch den antizipierten destabilisierenden Impuls wird auch eine Kontraktion des M. triceps brachii ausgelöst (Abb. 5).

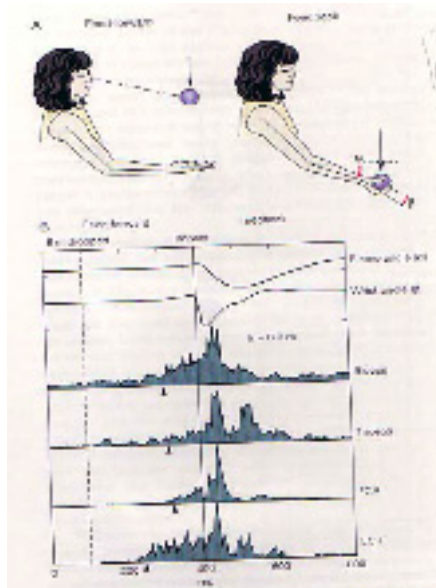


Abb. 5: Beim Ballfangen wird sowohl Feedforward- als auch Feedbackkontrolle benötigt; Ghez, Krakauer, 2000.

Die nötigen Informationen bekommen die Antagonisten einer Bewegung durch interneuronale Verbindungen auf Rückenmarksebene, welche wiederum Impulse über kortikospinale und andere absteigende Bahnen erhalten (Abb. 16).

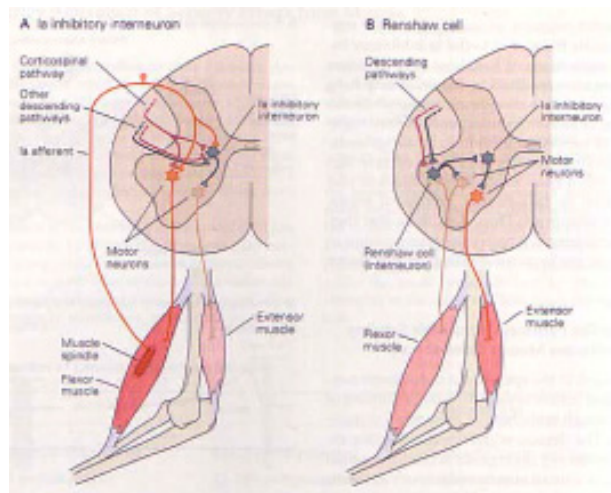


Abb. 6: Inhibitorische Neurone spielen eine wichtige Rolle für die Koordination von Reflexaktivitäten; Pearson, Gordon, 2000.

Das Bewegungsziel bestimmt die Art der reziproken Innervation, also ob der Antagonist inhibiert oder koaktiviert wird.

Eine Veränderung der Umweltbedingungen hat auch Einfluss auf die reziproke Innervation. Hierzu folgendes Beispiel: Wenn es das Ziel ist, während Perturbationen an einem Arm (durch unterschiedliche Widerstände) den anderen

Arm auf dem Tisch zu stabilisieren, dann ist der M. triceps brachii aktiv. Wenn man als Ziel hat, während Perturbationen an einem Arm mit dem zweiten Arm eine Tasse in der Luft zu halten, dann ist der M. triceps brachii nicht aktiv (Abb. 7).

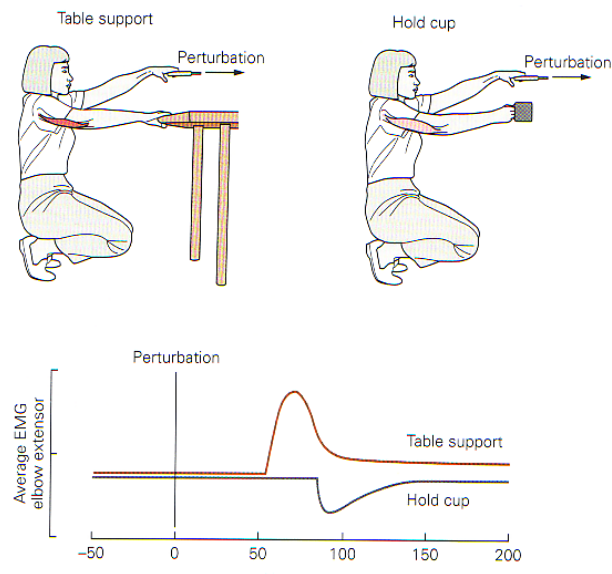


Abb. 7: Reflexantworten sind oftmals komplex und verändern sich je nach Aufgabe; Pearson, Gordon, 2000.

2.1.3. Posturale Kontrolle

Bei Bewegungen des Armes und der Hand muss vorher der Rumpf die hierfür notwendige Stabilität gewährleisten. Bereits bei der Idee, den Arm zu bewegen, wird die nötige Stabilität der proximalen Körperteile (Rumpf, Skapula) aufgebaut, also bevor die Bewegung beginnt. Beim gesunden Menschen werden proximale Muskeln vorher aktiviert. Die proaktive proximale Stabilität wird, wie oben beschrieben, automatisch, d.h. unwillkürlich, organisiert.

Hierfür spielt sowohl die Kopfposition im Raum als auch die Bewegung des Kopfes im Raum eine wichtige Rolle. Information über die Position des Kopfes und seine lineare Beschleunigung im Raum wird durch das vestibuläre System, das praktisch als Mechanorezeptor fungiert, verarbeitet. Veränderungen der Kopf- und Körperstellungen und Schwerkraftbedingungen werden über das vestibuläre System weitergegeben, so dass Muskelsynergien, die uns gegen die Schwerkraft aufrichten (tonische Reflexe für posturale Kontrolle), bestimmt werden können. Bewegungen der vestibulären Härchen vermitteln dem ZNS afferente Impulse und sind somit tonische Rezeptoren. Vertikale und horizontale Kopfbewegungen sowie statische Kopfpositionen stimulieren diese Härchen und führen zu Veränderungen

der Extensoren synergien bzw. Antischwerkraftmuskulatur, die für die posturale Kontrolle benötigt werden.

Posturale Kontrolle kann als Fähigkeit definiert werden, die Körpermitte über die Unterstützungsfläche, sowohl unter statischen als auch unter dynamischen Bedingungen, zu stabilisieren und dabei die Körpersegmente zueinander auszurichten. Sowohl proximale Muskeln als auch exzentrische Kontrolle, welche für Haltungsanpassungen benötigt werden, sind aufgrund ihrer subkortikalen Organisation auf propriozeptive Information angewiesen. Wenn zum Beispiel die Spannung in der Gelenkkapsel und den zugehörigen Bändern steigt, verursachen Rezeptoren über einen spinalen Reflex die Aktivierung der gelenkstabilisierenden Muskulatur (Pollack, 2000).

Bezüglich der Stabilisation der Schulter beispielsweise arbeiten Bänder und Muskeln synergistisch. Experimente haben gezeigt, dass der N. axillaris die Gelenkkapsel der Schulter sensibel innerviert, das heißt er nimmt afferente Informationen auf, worauf hin die Rotatorenmanschette aktiviert wird. Wenn man den Nerv durchtrennt, bleibt die Rotatorenmanschette bei Dehnung der Gelenkkapsel inaktiv (Guanche et al., 1995).

Die Zentrierung des Humero-Skapular-Gelenkes scheint eine wichtige Voraussetzung für zielgerichtetes Greifen zu sein. In Experimenten haben Polit und Bizzi (1979) gezeigt, dass Affen trotz Fehlens von visuellem und somatosensorischem Feedback zielgerichtete Bewegungen ihres Armes und der Hand, auch wenn die Armposition von aussen (durch Perturbationen) verändert wurde, ausführen konnten. Wurde jedoch die Schulterposition verändert, war die zielgerichtete Bewegung der Hand nicht mehr möglich. Kelso (1988) hat dasselbe Phänomen an Menschen zeigen können. Selbst bei komplettem Verlust der Fingersensibilität (erzeugt durch eine Armmanschette) konnten Probanden, die zuvor trainiert wurden, ihre Finger auf eine bestimmte Stelle im Raum hinbewegen. Auch infolge von Perturbationen konnten die Probanden die Stelle so gut wie fehlerfrei erreichen. Es sei bemerkt, dass es hier um die Transportphase des Armes und nicht um die Art des Greifens handelt.

Sowohl nach zentralen als auch nach peripheren Verletzungen kann die antizipatorische posturale Kontrolle gestört sein. Lediglich die Ursachen sind unterschiedlich. Bei zentralen Läsionen sind eventuell Hirnareale betroffen, die hierfür verantwortlich sind, wie z.B. prämotorische Areale, die das supplementär-

motorisches Areal enthalten, und der Parietalkortex. Bei Verletzungen in der Peripherie sind möglicherweise Schutzmechanismen dafür verantwortlich, dass es sowohl zu zentralen Repräsentationsveränderungen als auch zu Koordinationsstörungen, z.B. „Einfrieren“ der betroffenen Körpergebiete, kommt (s. unten: Schutzmechanismen).

Ebenso kommt es zu peripheren Veränderungen sowohl nach zentralen als auch nach peripheren Verletzungen. In beiden Fällen müssen die notwendigen biomechanischen Voraussetzungen für die jeweilige motorische Aufgabe individuell erarbeitet werden.

2.1.4. Muskuloskelettale Voraussetzungen

Muskuloskelettale Voraussetzungen für Greiffunktionen beinhalten ausreichende Gelenkbeweglichkeit und Mobilität des Rumpfes sowie biomechanische Voraussetzungen, die die Koordination für ökonomische Greiffunktionen der Körpersegmente zueinander ermöglichen. Diese sind Rotation der Scapula und der Clavikula, das Rollgleiten des Humero-Scapular-Gelenkes, Supinationsfähigkeit des Unterarmes, ausreichende Flexion der Schulter und Ellenbogenbeweglichkeit, ausreichende Dorsalflexion des Handgelenkes und Mobilität der Handwurzelknochen und Fingergelenke.

2.2. Schutzmechanismen

Verletzungen jeder Art, die den Organismus gefährden, verursachen eine Alarmierung des limbischen Systems. Das autonome Nervensystem wird über die Amygdala aktiviert mit dem Ziel, den Körper zu schützen. Es kommt hierbei zu einer Reihe von automatisch und unbewusst gesteuerten Reaktionen, bevor die Gefahr oder das damit verbundene Schmerzerlebnis kognitiv wahrgenommen wird (Abb. 8).

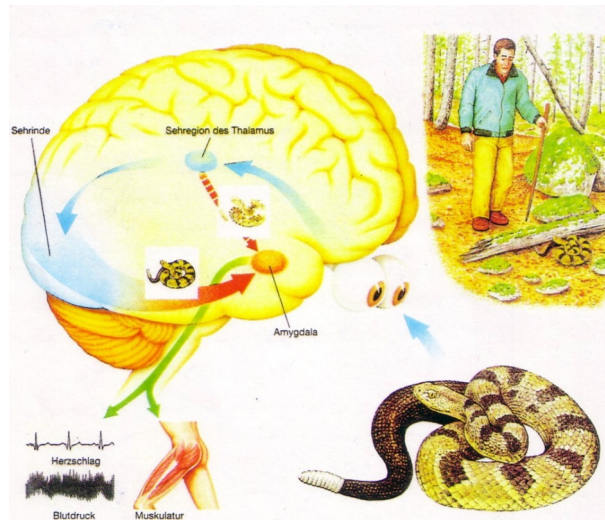


Abb. 8: Die Reizleitung von einem wahrgenommenen Reiz verläuft über zwei verschiedene Bahnen. Die Verarbeitung über die Mandelkernschleife ermöglicht schnelle reflexhafte Schutzreaktionen. Die Verarbeitung über die cortikale Schleife dauert etwas länger. Hier wird der Reiz differenziert und entschieden, ob und welcher Handlungsbedarf besteht. Von hier aus wird wiederum der Mandelkern aktiviert, der adäquate Verhaltens- und physiologische Reaktionen neu abstimmt (Le Doux, 1999).

Wenn Schutz eines Körperteiles notwendig wird, um Wundheilung zu ermöglichen, dann werden die Muskeln den verletzten und schmerzhaften Bereich „einfrieren“. Daraus resultiert nicht nur eine Einschränkung der Kraft und somit der Willkürmotorik, sondern Repräsentationsveränderungen entstehen durch den Nicht-Gebrauch, die eine Ansteuerung der betroffenen Körperteile erschweren. Auch das Empfinden von Schmerzen führt zu Repräsentationsveränderungen (Förderreuther, 2004).

Um schmerzhafte Körperteile vor zu viel Bewegung zu schützen, finden auch biochemische Veränderungen statt. Der Hyaluronsäurespiegel sinkt beispielsweise, was zu einer Verminderung des Gelenkspieles führt. Die Matrixproduktion nimmt ab, was wiederum die Kapsel unbeweglicher macht. Auch das Bindegewebe wird aufgrund einer gesteigerten Myofibroblastenaktivität unbeweglicher. Veränderungen finden sogar im Blut statt: Der Sauerstoffspiegel sinkt, während der Kohlendioxidspiegel steigt (Van den Berg, 2000). Da Nerven sehr viel Sauerstoff brauchen, führt diese Veränderung wiederum zu mehr Schmerz. Nerven machen nur 2 % unseres Körpergewebes aus, benötigen jedoch 20 % des verfügbaren Sauerstoffes (Domisse, 1994). Auch Schmerzmediatoren (Bradykinin, Prostaglandine, Serotonin u.a.) werden produziert und innerhalb des Nervensystems über den axoplasmatischen Fluss zum zentralen Nervensystem

und in die Peripherie transportiert (Le Doux, 1996, Squire u. Kandel, 1999, Butler, 2000). Dies führt zu einer schlechteren Versorgungssituation des Nervensystems und unterhält die Schmerzmechanismen.

Wiederholte Schmerzreize und selbst die Angst vor erneuten Schmerzen halten diese Veränderungen aufrecht; über das Prinzip der zeitlichen Summation kann so eine Hypersensibilisierung des gesamten Nervensystems stattfinden (Butler, 2000). Es entsteht ein Circulus vitiosus.

Eine Hypothese wäre, dass die Antagonisten während einer willkürlichen, zielgerichteten Bewegung, bei der sie normal inhibiert sein sollten, koaktiviert werden und somit Bewegungen vermeiden, welche für die beteiligten Strukturen schmerzhaft sind oder einmal schmerzhaft waren. Auf diese Art käme der Organismus der Notwendigkeit zum Schutze verletzter Körperteile nach.

Einer der oben aufgeführten Schmerzmediatoren, Serotonin, ist ein wichtiger Neurotransmitter für das Langzeitgedächtnis (Le Doux, 1996, Squire und Kandel, 1999). Dies erklärt, warum es so schwer ist, die durch die erlernten Schutzmechanismen hervorgerufenen Veränderungen, welche zur Zeit der Verletzung sinnvoll waren, wieder abzulegen, wenn die Wundheilung abgeschlossen ist und sie nicht länger notwendig sind.

Deshalb ist es so wichtig alltagsspezifische Bewegungen in sinnvollen Kontexten zu üben. Das wiederholte Erleben von Schmerzfreiheit bei ziel-motorischen Bewegungen ermöglicht zum einen die Wiederherstellung der kortikalen Repräsentation und zum anderen die Organisation der aufgabenspezifischen reziproken Innervation, so dass bei schnellen zielorientierten Bewegungen die Antagonisten lernen können, ihre Schutzspannungen aufzugeben. Grundlage hierfür ist das neurophysiologische Prinzip der Habituation.

2.3. Inhibition und Habituation

Habituation wird definiert als herabgesetzte Erregbarkeit, die das Ergebnis wiederholter schmerzfreier Stimuli ist. Die wiederholte Applikation tolerierter Reize, die auch keine Angst vor Schmerz erzeugen, führt zu biochemischen Veränderungen in Synapsen an verschiedenen Stellen des Nervensystems, was eine Reorganisation begünstigt. Der Organismus gewöhnt sich mit der Zeit an diese Reize; Habituation ist die Folge. Das ZNS wird auf diese Weise desensibilisiert (Butler, 2000, Kandel, Jessell, Schwartz, 2000).

Desensibilisierung, wie sie bei Allergikern praktiziert wird, basiert auf demselben System: Man setzt den Patienten über lange Zeit hinweg immer wieder sehr kleine Dosen des Allergens aus, wodurch das Immunsystem jedes Mal eine harmlose, kleine allergische Reaktion auslöst. Auf diese Weise gewöhnt sich der Organismus mit der Zeit an die Reize und adaptiert.

Experimente deuten darauf hin, dass der Patient Bewegungen, die bisher wegen des Schmerzes nicht möglich waren, wieder neu organisieren kann, wenn er lernt, sie unter schmerzfreien Bedingungen und ohne Angst vor erneutem Schmerz auszuführen.

2.4. Die Rolle der Sensorik für Bewegung

Die Rolle der Sensorik für die Organisation von Bewegung wird seit Jahrzehnten heftig diskutiert. Studien von Taub et al. (1968) haben fest verankerte Sichtweisen über die Bedeutung des sensorischen Inputs für die Ausführung von Bewegung ins Wanken gebracht. Dies hat dazu geführt, dass heute die Bedeutung der Therapeutenhände für die Therapie heftig diskutiert wird. Experimente an Rhesusaffen stellten die Rolle der afferenten Information für die Initiierung und Ausführung von Bewegung in Frage. Taub und Berman wiederholten zunächst die Experimente von Sherrington und Mott aus dem Jahr 1895, bei denen Tiere deafferiert (Durchtrennung der Hinterwurzel) wurden. Nicht überraschend war, dass die deafferierte Extremität schlaff herunterhing und nicht genutzt wurde. Als jedoch die intakte Extremität in eine Zwangsjacke festgebunden wurde, konnten die Tiere ihre deafferierte Extremität wieder benutzen. Taub und Berman gingen einen Schritt weiter und deafferierten beide Extremitäten der Affen, woraufhin die Tiere beide Extremitäten bewegten. Die Interpretation dieser Ergebnisse war, dass komplexe Bewegungen unabhängig von sensorischem Feedback stattfinden können.

Diese Ergebnisse müssen jedoch kritisch beleuchtet werden. Filmaufnahmen dieser Affen zeigen sehr unkoordinierte Bewegungen und, dass sie permanent auf der Suche nach Informationen sind. Sie reiben und beißen ihre gefühllosen Hände und Arme blutig. Dieses Verhalten kann als eine Suche nach Information verstanden werden (Mulder, 2006). Hinzukommt, dass einige Wissenschaftler bemerkt haben, dass in diesen Experimenten keineswegs alle afferenten Bahnen durchbrochen worden sind. Etwa 15% der Fasern der Ventralwurzel haben eine

sensorische Funktion (Coggeshall, 1974). Wenn also sensorische Bahnen doch noch vorhanden waren, können diese Studien schwerlich als Evidenz für eine Konzeption dienen, die die Bedeutung von sensorischem Input in Zweifel zieht. Was sie jedoch untermauert, ist ein Behandlungsansatz, der Notwendigkeiten für Bewegung aufzeigt und die Häufigkeit der Übung betont.

Unterschiedliche Sinnesmodalitäten sind gleichzeitig an der Wahrnehmung der Außenwelt beteiligt. Jeder Reiz, der empfangen wird, muss zunächst gedeutet werden. Erst die Selektion und Interpretation des Inputs ermöglicht seine sinnvolle Nutzung. Visuelle und Somatosensorische Informationen werden genutzt, um die Bewegungsrichtung und Koordination der Körpersegmente zueinander abzustimmen. Insbesondere visuelle Informationen geben Aufschluss über die Eigenschaften des Objektes, nach dem gegriffen wird.

Das Wissen über die Schwere, Oberflächenbeschaffenheit und Form des Gegenstandes bestimmt die Planung und Programmierung der aufgewendeten Kraft, Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung sowie die zeitliche Abfolge des Zudrückens und Loslassens. Nicht nur die Eigenschaften des Objektes bestimmen die Planung und Programmierung, sondern auch was man mit dem Objekt zu tun beabsichtigt. Tastkörperchen, die in einer extrem hohen Dichte in der Hand vorkommen, Muskel- und Sehnenspindel nehmen Informationen aus der Peripherie auf. Diese Informationen werden nicht nur weitergeleitet wie die Leitung eines elektrischen Kabels. Die Verbindungen zwischen Peripherie und Gehirn gleichen eher einem Netzwerk, in dem Informationen sowohl ins zentrale Nervensystem weitergeleitet als auch hier umgewandelt und gedeutet werden.

Unterschiedliche Bewegungen erfordern unterschiedliche Informationen. Inputsysteme können generell in **Feedforward-** und **Feedback-**Systeme unterteilt werden. Informationen, die dem ZNS „zugefüttert“ werden, um entsprechende Bewegungspläne zu entwickeln, werden als Feedforwardmechanismen bezeichnet.

Insbesondere schnelle Bewegungen benötigen mehr Vorinformation über das visuelle System. Berry et al. (1995) beschreiben Feedforward als einen neuronalen Prozess, der auf dem Modell des Gehirns von der geplanten Bewegung beruht. Ballistische Bewegungen wie das Schlagen eines Hammers, um einen Nagel in der Wand zu befestigen, werden vorprogrammiert. Ist die

Bewegung bereits gestartet, können Korrekturen währenddessen kaum noch vorgenommen werden.

Informationen, die dem Organismus Feedback geben, ob die geplante Bewegung erfolgt oder ob Abweichungen stattfinden, werden aus dem somatosensorischen System gewonnen. Dieses System beinhaltet die taktile sowie die propriozeptive Wahrnehmung. In der Haut nehmen Mechanorezeptoren Empfindungen wie Berührung, Druck und Vibrationen wahr und leiten sie ins zentrale Nervensystem weiter. In den Gelenken, Muskel-Sehnen-Übergängen und in den Muskelspindeln sitzen ebenfalls Mechanorezeptoren, die Information über Längen- und Spannungsveränderungen in den Muskeln, Muskel-Sehnen-Übergängen und Bändern sowie über die Position des Körpers im Raum ins zentrale Nervensystem weiterleiten. Motorische Kontrolle beinhaltet sowohl Feedforward- als auch Feedbackmechanismen.

Bei Abweichung des motorischen Verhaltens vom vorhergesehenen motorischen Plan wird Feedback benötigt, um Adaptionen zu ermöglichen und Geschicklichkeit zu gewährleisten. Das Gleichgewicht zwischen Feedbackmechanismen, die das ZNS mit Informationen versorgen, und der Interpretation dieser Informationen ist nicht nur wichtig für die Kontrolle von feinen Bewegungen, sondern auch um Bewegungspläne zu antizipieren, insbesondere wenn Variabilität in verschiedenen Umweltsituationen benötigt wird. Feedback ist allerdings nur im Zusammenhang mit einem bestehenden motorischen Plan von Bedeutung. Das heißt, das Anwenden von taktilen Stimuli in der Behandlung wird nur dann einen informativen Zweck für das ZNS haben, wenn der Patient sich in einem bestimmten Kontext mit einer konkreten zielmotorischen Aufgabe bewegt. Insbesondere für die Aspekte der motorischen Kontrolle, die nicht der Willkürsteuerung unterliegen (z.B. wie sich die Handwurzelknochen bei der Greifformation der Hand bewegen, die Clavikula bei der Armhebung gleitet oder die proximale Rumpf- und Schulterstabilität aktiviert wird), können die Hände des Therapeuten eine sinnvolle Unterstützung bieten. So bekommt der Patient die Möglichkeit, die Bewegung ökonomisch, sicher und schmerzfrei zu erfahren. Diese positiven Bewegungserfahrungen sind motivierend. Gerne wiederholt man positive Erfahrungen, und häufige Wiederholung unterstützt das motorische Lernen.

Festzustellen bleibt, dass die Bewegungsausführung bis zu einem gewissen Grad unabhängig von sensorischer Rückkopplung möglich ist. Dies betrifft allerdings nur einfache grobmotorische Bewegungen. Experimentelle Konditionen sind künstlich und spiegeln keineswegs das Leben in freier Wildbahn wider. Ob die Tiere in den oben aufgeführten Experimenten von Taub und Bermann in der freien Natur eine Überlebenschance gehabt hätten, ohne Anpassungen vornehmen zu können, ist zu bezweifeln. Die Umwelt zu „erfassen“ ohne den hochentwickelten Tastsinn der menschlichen Hand, ist zu vergleichen mit dem Essen ohne Geschmacks- oder Geruchssinn. Die Sinnesverluste stellen zwar in der heutigen Welt keine Gefahr für das Überleben dar, die Lebensqualität wird jedoch erheblich beeinträchtigt. Descartes hat gesagt: „Ich denke, also bin ich.“ Ebenso könnte man sagen: Ich fühle, also bin ich.

2.5. Plastizität

Die Grundlage der Behandlungsmethodik bildet die Idee der *Plastizität*, die als Anpassungsfähigkeit an funktionelle Anforderungen definiert werden kann.

Wenn sich Aufgaben oder Umweltsituationen verändern, dann erfordert erfolgreiches Lernen sowohl Variabilität der interneuralen Verschaltungsmuster des sensorischen und des motorischen Systems als auch Veränderungen der Effektivität neuraler Verbindungen (Kandel, 2000).

2.5.1. Neurale Plastizität

Im Gehirn existieren viele Querverbindungen, welche eine große Variabilität bezogen auf das Bewegungsverhalten im Rahmen der individuellen Alltagsanforderungen ermöglichen (Edelman, 1987).

Zentrale Veränderungen

Veränderungen in der Peripherie führen zu zentralen Veränderungen.

Ramachandran (1993) hat gezeigt, dass es nach einer Amputation zu Repräsentationsveränderungen im Cortex kommt (Abb. 8). Das Fehlen von afferenten Informationen kann beim Menschen unangenehme Missempfindungen, wie z.B. Phantomschmerzen, hervorrufen.

Patienten mit Amputation der Hand spüren jedoch ihre einzelnen Finger in ihrem Gesicht und am Oberarm. Ramachandran stellte fest, dass wenn Wasser über ihre Wange nach unten träufelt, sie das Wasser an ihrer nicht vorhandenen Hand herunterträufeln spüren. Erstaunlicherweise spüren sie das Wasser auch *hinunter*träufeln, wenn der Arm über dem Kopf ausgestreckt wird, obwohl dies physikalisch nicht möglich wäre. Sie nehmen sogar die Bewegungsrichtung des Wassers so wahr, wie es am Gesicht tatsächlich verläuft. Um Phantomschmerzen zu lindern, hat Ramachandran eine Spiegelbox konzipiert, in der die Patienten ihre intakte Hand durch ein Loch hindurchstrecken konnten. In der Schachtel war ein Spiegel angebracht, so dass beim Anlegen seines Stumpfes an die Schachtel und Bewegen der intakten Hand der Patient den visuellen Eindruck erhält, dass sich beide Hände bewegen. Mit dieser Vorgehensweise hatte Ramachandran Erfolg bei der Linderung der Phantomschmerzen seiner Patienten.

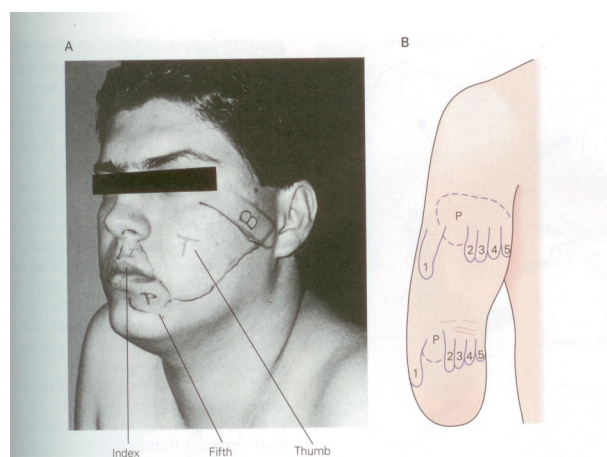


Abb. 9: Phantomschmerzen können durch Berührungen im Gesicht erzeugt werden; Ramachandran, 1993.

2.5.2. Spiegelneurone

Heute geht man von der Existenz von sogenannten „Spiegelneuronen“ im prä-motorischen Kortex aus. Sie sind sowohl beim Affen als auch beim Menschen vorhanden (Umiltà, et al., 2001). Man vermutet, dass diese Neurone die Basis für die Erkennung von Bewegungen sind. Diese Neurone werden aktiviert, wenn ein Individuum spezifische Greifbewegungen beobachtet, die ein anderer durchführt, ohne die Bewegungen selbst tatsächlich auszuführen. Spiegelneurone können somit das Nachahmen einer zuvor beobachteten Bewegung erleichtern. Nicht nur

das Beobachten von Bewegungen aktiviert Spiegelneurone, sondern auch das Beobachten von Sinneswahrnehmungen und Emotionen, die andere Individuen erleben führt zur Aktivierung dieser Neurone. Dieselben Hirnareale, die bei der tatsächlichen Ausführung von Bewegungen und das Fühlen von Sinneswahrnehmungen und Emotionen aktiviert sind, werden auch bei der bloßen Beobachtung von Aktivitäten, Sinneswahrnehmungen und emotionalen Erlebnissen aktiviert. Keysers et al. (2006) sprechen in diesem Zusammenhang von einem Mechanismus (single circuits), der im Sinne der Hebb'schen Plastizität sich entwickelt hat und für Aktionen, Sinneswahrnehmungen und Emotionen zuständig ist. Es gibt auch Nachweise von Spiegelneuronen im auditiven System. Das Hören von Mund- und Handaktivitäten aktiviert diese Neurone. Man geht von einer multimodalen temporo-parietalen Schleife aus, die sich linkshemisphärisch befindet (Gazzola, 2006). Vermutlich hängt sogar die Fähigkeit der Empathie, des Einfühlungsvermögens, von diesen Neuronen ab (Iacoboni und Dapretto, 2006, Gazzola, 2006). Man könnte sagen, dass die „Idee“ der Bewegung oder die persönliche Wahrnehmung („personal perspective“) schon durch vorheriges Beobachten entstehen (Buccino et al., 2004).

Die Kenntnisse über die Existenz dieser Neurone hat die Grundlage für die oben geschilderte Spiegeltherapie gelegt, bei der Bewegungen der gesunden Hand im Spiegel beobachtet werden und dabei die Illusion entsteht, dass beide Hände dasselbe tun. Hierbei ist jedoch wichtig, dass man nicht nur bewegt. Es kommt bei der Bewegung darauf an, in welchem Kontext diese Bewegungen erfolgen. Die Repräsentationsareale der Hand werden nachgewiesenermaßen mehr aktiviert, wenn Greiffunktionen in Kontexten erfolgen. Wenn Bewegungen ohne Kontext beobachtet werden, sind diese Areale nicht so stark aktiviert.

Ein 36-jähriger Patient erlitt nach einem Verkehrsunfall eine Plexusparese seines rechten Armes. Er ist von Beruf Zahnarzt und Rechtshänder. Er konnte seinen Ellbogen nicht aktiv flektieren und seinen Unterarm nicht supinieren. Erst 9 Monate nach seinem Unfall gelang es ihm, unter Haltearbeit seines M. biceps brachii die Supinationsbewegung seines Unterarmes durchzuführen. Dies gelang jedoch nur als er einen Schädel in der Hand hielt und einen Bleistift als Instrument benutzte. Als er die Bewegungen dann einen Tag später an einer Person mit seinem Instrument ausführte, waren die Aktivitäten noch deutlicher. Weitere 2 Monate danach konnte er seinen Beruf wieder ausüben.

Wenn Gegenstände, die den Inhalt des Kontextes bilden, ohne Kontext angeschaut werden, ist die Aktivierung der Handareale so gut wie nicht vorhanden. Es kommt also auf die Verknüpfung an (Iacobini et al., 2005). Mit dieser Vorgehensweise versucht man heute, nicht nur Patienten mit Phantomschmerzen zu behandeln, sondern auch mit Funktionsverlusten der Hand.

In Ramachnadrans 2005 veröffentlichtem Buch: *Eine kurze Reise durch Geist und Gehirn* bemerkt er, dass erste Ergebnisse seiner Forschungsgruppe (Altschuler, 1999) sowie die Ergebnisse anderer Forschungsgruppen (Sathian, 2000; Stevens, 2003) zu dem Thema „Spiegeltherapie“ sehr ermutigend seien, aber dass noch systematische, Placebo-kontrollierte Doppelblindstudien notwendig sind, um Klarheit über die Wirkungsweise der Spiegeltherapie zu bringen.

Das Visualisieren von Körperteilen verbessert nachgewiesenermaßen deren kortikale Repräsentation, so wie sich auch durch mentale Kontraktion eines Muskels seine willkürliche Maximalkraft steigern lässt.

Yue und Cole (1992) führten eine Studie durch, in welcher die Probanden über einen Zeitraum von vier Wochen mentale Muskelkontraktionen durchführten. Sie verfügten danach über eine gesteigerte willkürliche Maximalkraft der entsprechenden Muskeln, im Gegensatz zu der Testgruppe, welche kein Training durchführte, auch wenn der Kraftanstieg geringer war als in der dritten Testgruppe, die ein physisches Training absolviert hatten.

Wie eben beschrieben wurde, kann das Visualisieren durch Beobachten einer Bewegung, die von einem Artgenossen durchgeführt wird, dieselben Neurone beim Beobachter wie beim Ausführenden aktivieren. Auch ohne Beobachtung eines Anderen zeigen dieselben zentralen Strukturen durch die mentale Vorstellung alleine (mentales Training), dieselben Aktivitäten wie bei der tatsächlichen, physischen Ausführung (Pascual-Leone et al., 1995). Der prämotorische Kortex und die posterioren kortikalen Gebiete zeigen selbst bei der mentalen Visualisierung einer bestimmten Bewegung dieselben Aktivitätsmuster wie bei deren tatsächlicher Durchführung (Krakauer, Ghez, 2000).

2.5.3. Repräsentationsveränderungen

Nicht nur beim Fehlen des Körperteils kommt es zu Repräsentationsverlusten, sondern auch beim Nicht-Gebrauch (Merzenich, 1984) und bei Schmerzen

(Förderreuther, 2004). Die Untersuchungen von Merzenich haben den Beweis dafür geliefert, dass das Gehirn ständig adaptiert. Auch wenn externe Stimuli nicht benötigt werden, um einfache Bewegungen auszuführen, sind sie doch sehr wichtig für die Repräsentation unseres Körpers im Gehirn, sozusagen das Körperschema.

Merzenich (1982) hat wissenschaftliche Beweise geliefert, dass es nicht nur durch *Nicht-Gebrauch* zu Repräsentationsverlusten kommt, sondern auch dass beim *Wiedergebrauch* dieser Repräsentationsverlust wieder rückgängig gemacht werden kann.

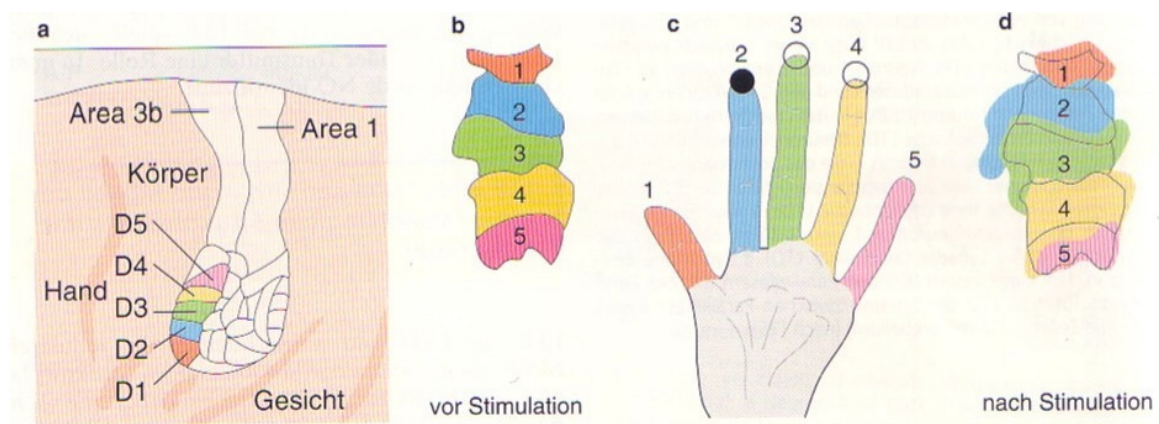


Abb. 10: Reorganisation der somatosensorischen rezeptiven Kortextfelder durch Training. Affen bewegten eine Scheibe täglich 1 Stunde über eine Dauer von 3 Monaten. Es werden die Rezeptionsfelder vor und nach dem Training gezeigt; Merzenich et al, 1984.

Er hat bei seinen Experimenten einzelne Finger von Affen amputiert oder zusammengenäht und feststellen können, dass die benachbarten Fingerareale den Raum des amputierten Fingers eingenommen haben. Bei den chirurgisch zusammengenähten Fingern verschmolz die Repräsentation dieser beiden Finger. Besonders zu bemerken ist, dass die Repräsentation der einzelnen Finger wiederhergestellt wurde, nachdem die Finger chirurgisch wieder voneinander getrennt wurden. In anderen Experimenten hat er den N. medianus durchtrennt und feststellen können, dass es nach einer Woche zu einer kompletten Reorganisation des rezeptiven Feldes gekommen war. Drei bis vier Wochen später stellte er eine strukturelle Veränderung des rezeptiven Feldes fest, so wie es vor der Durchtrennung war. Diese Untersuchungen verdeutlichen, dass plastische Veränderungen möglich sind und dass sie vom Input abhängen.

Ein sehr bemerkenswertes Experiment zu diesem Thema haben Müllbacher et al. (2002) geliefert. Sie haben in einer Studie mit Patienten nach chronischem Apoplex und Verlust der Handfunktion zeigen können, dass die Handfunktion bei Anwendung eines Anästhetikums im Bereich des Plexus Brachiales zurückkehrt. Diese Studie zeigt, dass es nach Funktionsverlusten wichtig ist, die umliegenden Körperteile „zurückzuhalten“ und die schwachen zu fördern.

Bis zu Merzenich's Zeit herrschte noch weitgehend die Ansicht eines „statischen“ Nervensystems. Ramón y Cajal (1928) vertrat die Ansicht, dass Funktionsverluste nicht repariert werden können. Es gab aber auch andere Meinungen bereits zu dieser Zeit. Der amerikanische Psychologe Lashley (1923) postulierte, dass die Organisation neuraler Netzwerke flexibel sei. In den 40er Jahren hat der kanadische Psychologe Hebb die Hypothese eines „plastischen“ Nervensystems aufgestellt. Bliss hat 1978 die Langzeitpotenzierung (LTP) definiert und nachgewiesen, dass kurzzeitige funktionelle Veränderungen langfristige strukturelle Veränderungen bewirken.

Heute gilt es als wissenschaftlich erwiesen, dass neurale Netzwerke flexibel sind. Auch die Repräsentation der verschiedenen Körperteile ist keineswegs starr.

Merzenich's Experimente haben gezeigt, wie essentiell sensorische Information ist. Mangelnder Input führt zu Verminderung bis hin zur Auslöschung neuraler Netze. Vermehrter Input hingegen führt zu Aktivierung und Wachstum neuraler Netze.

Mulder (2006) schreibt hierzu: „Der Raum, den einzelne Körperteile einnehmen, hängt ab von der Funktion, dem Gebrauch und damit von der Information, die diese Körperteile den kortikalen Feldern übermitteln.“

Wie lange es dauert, die Repräsentation nach einem Repräsentationsverlust wiederherzustellen, hängt vom Ausmaß der Schädigung (Burnett et al., 2004) und der Trainingsintensität ab. Vor allem müssen Leistungssteigerungen („shaping“) erfolgen, damit langfristige Lerneffekte erzielt werden können (Woldag et al., 2003).

2.5.4. Funktionsverknüpfungen

Die Repräsentation von Händen, Mund und Gesicht im sensorischen und motorischen Homunculus verdeutlicht die Tatsache, dass unterschiedliche Muskeln und Körperteile je nach motorischer Aufgabe unterschiedlich verknüpft werden (Abb. 11).

Das Broca-Areal und die angrenzenden Bereiche des Sulcus lateralis sind nicht nur für Sprache zuständig, sondern außerdem sowohl für die Mund- und Gesichtsmuskulatur als auch für die feinmotorische Fingermuskulatur (Ojemann, 1983). Auch im Zusammenhang mit den Forschungen zu Spiegelneuronen ist man zu ähnlichen Ergebnissen gekommen (siehe auch oben, Abschnitt 2.5.2. Spiegelneurone). Experimente von Gallese et al. (1996) deuten auf einen Zusammenhang zwischen Spiegelneuronen und der Broca-Region. Sie vermuten, dass diese Systeme sowohl für die Erkennung von Bewegung als auch für die Erkennung von phonetischen Gesten zuständig sind. Das menschliche verbale Kommunikationssystem soll entwicklungsgeschichtlich von einem älteren Kommunikationssystem, das für die Erkennung von Gesichtsausdrücken und Handgesten zuständig war, herkommen (Rizzolatti et al., 1996). Diese neuroanatomischen und entwicklungsgeschichtlichen Zusammenhänge ergeben einen Sinn, wenn man bedenkt, dass bei vielen Alltagsaktivitäten das Zusammenspiel von Händen und Mund eine wichtige Rolle spielt, z.B beim Essen, Sprechen oder beim Schreiben. Auf diese funktionellen Zusammenhänge wurde bereits im vorigen Abschnitt eingegangen.

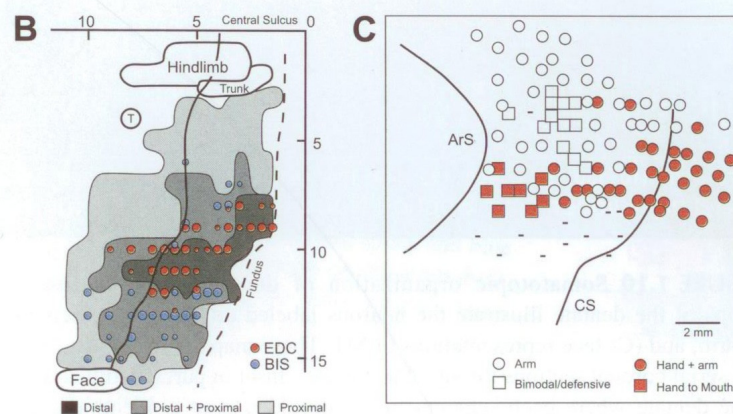


Abb. 11: Zusammenfassung von Hand- und Armaktivierung infolge von intracortikaler Stimulation des primärmotorischen Kortex und Prämotorische Areale bei einem wachen Affen; Graziano et al., 2002.

2.5.5. Muskuläre Plastizität

Muskeln und andere Weichteile passen sich genauso wie das neurale System an funktionelle Beanspruchung und Gebrauch an. Wenn von einzelnen Muskelgruppen kein Gebrauch gemacht wird, atrophieren diese in der Regel. Durch Training kann natürlich der Querschnitt dieser Muskeln wieder gesteigert werden.

Es können sich auch die Muskelfasern verändern. Lange Zeit glaubte man, dass es nicht möglich sei, sog. slow-twitch-Fasern (tonische Fasern) durch Training in sog. fast-twitch-Fasern (phasische Fasern) umzuwandeln. Unerwarteterweise fand man jedoch in Experimenten mit Sprintern Beweise dafür, dass dies doch möglich ist. Diese zeigten während ihrer Krafttrainingsphase eine quantitative Abnahme der fast-twitch-Fasern. Zwei Monate nach Beendigung des Krafttrainings hatten sie wieder dieselbe Anzahl an phasischen Faseranteilen wie vor Beginn des Krafttrainings. Das Erstaunliche war jedoch, dass die Menge an fast-twitch-Fasern danach noch weiter anstieg und die Sprinter nach drei Monaten die doppelte Menge an fast-twitch-Fasern aufwiesen wie vor der Trainingsaufnahme (Abb. 12).

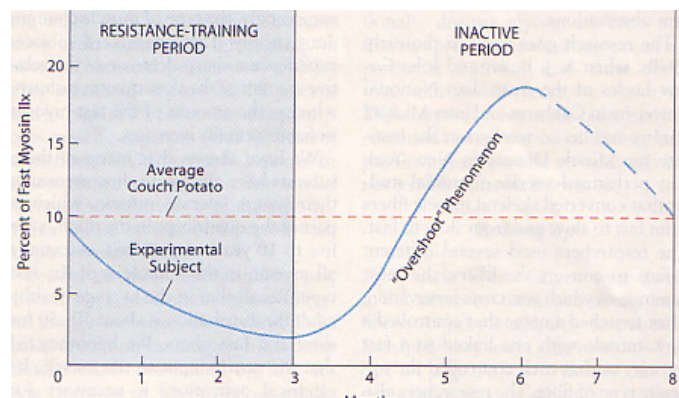


Abb. 12: 3 Monate nach Beendigung der Krafttrainingsperiode fällt die Anzahl der phasischen Muskelfasern stark zurück. Weitere 2 Monate später jedoch kommt es zu einem sog. Überschussphänomen; Andersen et al., 2000.

Muskeln müssen ihre Länge der entsprechenden motorischen Aufgabe und den momentanen Umweltbedingungen anpassen können. Für exzentrische Kontrolle, die für den Aufbau der posturaler Kontrolle unerlässlich ist, müssen Muskeln die nötige strukturelle Elastizität aufweisen. Immobilisation führt zu Steifigkeit, welche vermutlich durch Veränderungen in den Sehnen und dem Bindegewebe des Muskels entsteht, wie z.B. Wasserverlust und Kollagenverschiebungen (Van den

Berg, 2000). Experimente an Tieren zeigten, dass Immobilisation in einer angenäherten Position zu einer Reduktion der Sarkomeranzahl führt, was gesteigerte Steifigkeit und Muskelverkürzung zur Folge hat (Tabary et al., 1972, Williams and Goldspink, 1978, Witzmann et al., 1982).

2.5.6. Arthro-ossäre Plastizität

Die Knochendichte ist abhängig vom Druck, mit dem der Knochen belastet wird. Astronauten, die sich für längere Zeit im All aufhalten, zeigen eine Abnahme der Knochendichte (Netter, 1987) Hingegen entwickeln sich bei zuviel Druck auf den Gelenken Osteophyten.

Die einzelnen Strukturen des Körpers können nur Funktionen übernehmen, für die sie trainiert wurden. Die Belastbarkeit des Knochengewebes entwickelt sich entsprechend der Stärke der Zug- und Druckkräfte, denen es im Alltag regelmäßig ausgesetzt ist (Roccabado, Iglarsh, 1991).

Die Funktion bestimmt die Struktur. Zum Beispiel ist bei Berufsgeigern die Unterarmbeweglichkeit in Supination ihres linken Unterarmes wesentlich größer als ihres rechten (Wagner, 1988).

Deshalb ist es sehr wichtig, dass der Therapeut über die Aktivitäten Bescheid weiß, die für den Alltag des Patienten eine Rolle spielen. Auch die beruflichen Anforderungen an den Organismus des Patienten müssen dabei Beachtung finden. Bezüglich der benutzten Strategien macht es einen großen Unterschied, ob sich der Patient dabei vorwiegend in sitzenden oder in körperlich stark belastenden Positionen befindet. Die Wahl der Ausgangsstellungen bei der Therapie sollte somit auf eine funktionelle Position fallen, welche dem somatosensorischen Kortex die notwendigen Informationen vermittelt, welche die Voraussetzung für eine optimale motorische Aktivität bilden.

2.6. Pathophysiologie von Nervenverletzungen

Nach einer peripheren Nervenverletzung sind sowohl destruktive als auch reparative Vorgänge wichtig, um Nervenregeneration zu ermöglichen. Regenerationsvorgänge finden nicht nur im Bereich der lokalen Verletzung statt, sondern auch in den Zellkernen und Ganglien des Rückenmarks. Hierfür spielt die Funktion der Schwannschen Zellen, Markkophagen und Entzündungszellen eine

wichtige Rolle. Entscheidend für die Wiederherstellung der peripheren Nervenfunktion ist das Ausmaß der Verletzung.

Klassifizierung von Nervenverletzungen

Seddon (1943) hat Nervenverletzungen in drei grobe Kategorien beschrieben. Er unterteilte Nervenverletzungen folgendermaßen: Neuropraxie, Axonotmesis und Neurotmesis.

- a) Neuropraxie stellt die mildeste Verletzung dar, wobei es zu keiner Durchtrennung kommt. Funktionsverluste sind nur vorübergehend. Diese sind die Folge von leichten Veränderungen der Myelinscheide und der Beeinträchtigung des Ionenaustausches.
- b) Die komplette Unterbrechung des Nervenaxons und des umgebenden Myelins wird als Axonotmesis bezeichnet. Hierbei bleiben das umliegende Perineurium und Epineurium intakt. Es kommt zu Axon- und Myelindegeneration distal der Verletzung, was eine komplette Denervation zur Folge hat.

Die Aussicht auf Funktionsverbesserung ist bei dieser Verletzungsart sehr gut, weil die Mesenchymalstrukturen unversehrt bleiben. Diese bieten einen Pfad für die aussprossenden Axone, die in diese Bahn hineinwachsen können.

- c) Neurotmesis ist die völlige Durchtrennung des Nervs. Hier ist chirurgische Intervention nötig. Es kommt zu Narbenbildung und Verlust der Mesenchymalenführungsstruktur, die für die Führung des axonalen Wachstums benötigt wird.

Sunderland (1950) hat Nervenverletzungen in fünf Kategorien unterteilt. Die ersten beiden Kategorien der Neuropraxie und Axonotmesis sind identisch mit Seddon's Einteilung und werden von ihm als Verletzungen ersten und zweiten Grades bezeichnet. Die Verletzung dritten Grades beschreibt die Durchtrennung des Axons und eine zusätzliche Teilverletzung des Endoneuriums. Verletzungen vierten und fünften Grades unterteilen Seddon's Neurotmesis. Bei der Verletzung vierten Grades sind alle Anteile des Nervs bis auf das Epineurium durchtrennt. Die Verletzung fünften Grades hat die komplette Nervendurchtrennung zur Folge. Die

beiden letzten Kategorien bedürfen zur Wiederherstellung chirurgischer Intervention.

2.7. Nervenregeneration

Voraussetzung für Nervenregeneration ist eine Serie von degenerativen Prozessen, die zuvor erfolgen müssen. Schon bei Verletzungen zweiten Grades (Axonotmesis) kommt es distal vom Ort der Verletzung zu einer Calcium-induzierten anterograden Degeneration oder Wallerischen Degeneration (Abb. 13).

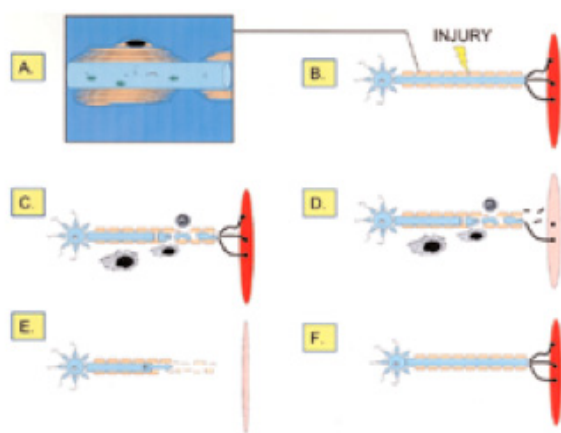


Abb. 13: Wallersche Degeneration:

- (A) Normaler Nerv.
- (B) Verletzter Nerv. Schwann'sche Zellen richten sich entlang des Myelins aus und bilden multiple Myelinschichten.
- (C) Stark verletzter Nerv; der Nerv degeneriert in eine anterograde Richtung. Das Axon und umliegende Myelin werden bei diesem Vorgang zerstört. Runde Mastzellen und Markophagen sowie Schwann'sche Zellen entfernen das verletzte überflüssige Gewebe.
- (D) Degradation des distalen Nervensegmentes. Die Verbindung zum Muskel besteht nicht mehr. Muskelatrophie und Fibrosierung sind die Folge.
- (E) Vollständige Degeneration. Kollabierte Schwann'sche Zellen bleiben übrig. Axonsprossung und fingerartiges Wachstum erfolgen unter Führung der Schwann'schen Zellen.
- (F) Nach Reinnervation entwickelt sich das neu verbundene Axon und sowohl Zellenarchitektur als auch Funktion werden wiederhergestellt (Burnett et al., 2004).

Wallerische Degeneration bezeichnet die Degeneration des distalen Segments einer peripheren Nervenfasers infolge einer Abtrennung von seinem Zellkörper. Makrophagen beseitigen axonale Überreste. Hierbei kommt es zur Degeneration der Myelinscheide, die sich in eine Lipoidkette umwandelt. Die Richtung des

Nervenwachstums kann hierdurch verfolgt werden. Schwann'sche Zellen richten sich entlang der Basalmembran aus und synthetisieren Wachstumsfaktoren (s. unten). Diese Zellen werden schon innerhalb der ersten 24 Stunden nach Verletzung aktiv. Die Hauptaufgabe der Schwannschen Zellen besteht darin, degeneriertes Axon und Myelinalgewebe zu entfernen und an die Markophagen weiterzuleiten. Bleibt der Zellkörper intakt, bilden sie einen Basalmembranschlauch, in den die regenerierende Nervenfasern hineinsprossen kann, so dass ein Pfad zur Haut und Muskulatur gelegt wird. Die Schwann'schen Zellen bewirken eine Remyelinisierung der neu gebildeten Axone, wobei die neuen Myelinscheiden dünner und die Ranviersche Schnürringe etwas kürzer als ursprünglich sind. Proliferation findet während der ersten zwei Wochen nach Verletzung statt.

2.8. Periphere Veränderungen

Bei Verletzungen dritten Grades (Axonotmesis) ziehen sich die Nervenenden zusammen. Bei Verletzungen vierten und fünften Grades (Neurotmesis) verwandeln sich die Nervenenden in eine geschwollene Masse von disorganisierten Schwann'sche Zellen, Kapillaren, Fibroblasten, Markophagen und kollagenen Fasern. Regenerierende Axone erreichen den geschwollenen proximalen Stumpf, der eine Barriere darstellt, und formen ungeordnete Knollen, die sich ins Narbengewebe oder ins umliegende Gewebe begeben. Einige regenerierende Axone erreichen den distalen Stumpf. Dies hängt von drei Faktoren ab: erstens vom Grad der Verletzung, zweitens vom Ausmaß der Narbengewebebildung und drittens von der Zeitspanne, bis die Axone das Verletzungsgebiet erreichen. Endoneurale Schläuche, die über einen längeren Zeitraum nicht belegt werden, ziehen sich zusammen und fibrosieren und werden von kollagenen Fasern verdrängt.

Bei sehr schweren Verletzungen kann es auch zur Degeneration des Zellkerns kommen. In diesem Falle findet Wallerische Degeneration im gesamten proximalen Segment statt.

Das proximale Segment weist einen kleineren Durchmesser auf, insbesondere wenn funktionelle Verbindungen zu den entsprechenden Endorganen nicht wiederhergestellt werden. Der Zellkern kann sich ohne vollständige Wiederherstellung der funktionellen peripheren Verbindungen nicht wieder erholen

(Sunderland, 1978, 1990). Einige Autoren haben zeigen können, dass trophische Moleküle wie NGF (nerve growth factor) zum Überleben der Zellen nach Verletzung beitragen. Levi-Montalcini (1951) war die erste, die bereits in den 50er Jahren NGF definiert hat. NGF wird am verletzten Nerv freigesetzt und via dem retrograden axoplasmatischen Fluss zum Zellkörper transportiert. Dieses molekulare Signal setzt den Regenerierungsprozess in Gang.

Die Dauer der Regeneration hängt vom

1. Ausmaß der Verletzung,
2. der Zeitdauer der Denervation und
3. dem Zustand des peripheren Gewebes ab.

In der Regel wächst der Nerv bis zu 1 mm. pro Tag (Sunderland, 1978, 1990).

Leider reicht die Tatsache, dass das Axon regeneriert, nicht aus, um eine Vorhersage über die Funktionswiederherstellung machen zu können. Bei schweren Traumata, bei denen die endoneuralen Schläuche verletzt werden, wachsen die Axone möglicherweise entweder in das umliegende Gewebe oder in „falsche“ endoneurale Schläuche. Das heisst, auch wenn die Anzahl der regenerierenden Axone adaequat ist, kann es zu Kreuzinnervation kommen, so dass z.B. ein ursprünglich phasischer Muskel von einem Axon nun innerviert wird, der zuvor einen tonischen Muskel innerviert hat. Das Resultat ist eine Kontraktionsfähigkeit, der der funktionellen Aufgabe nicht entspricht. Muskelfasern atrophieren sehr schnell. Dabei werden sie nicht zwangsläufig in Bindegewebe umgebaut, sondern das Bindegewebe lagert sich in den Zwischenräumen zwischen den atrophierten Fasern ein, so dass sich die Architektur des Muskelgewebes verändert.

Insbesondere sensorische Nerven neigen zu Kreuzinnervation. Pacini- und Meissner-körperchen, die für Oberflächensensibilität und Vibration zuständig sind, wie Merkel'sche Zellen, die Druck und Berührung melden, können im atrophierten Zustand sehr lange existieren. Es gibt bis jetzt für die Zeitdauer keine Evidenz.

3. Fallbeschreibung

Nach einem Sturz auf die Eisenbahngleise wurde der linke Oberarm eines 35-jährigen Mannes, S.U., komplett abgetrennt (Abb. 14). Die linke Hand ist seine dominante Hand.



Abb. 14: Röntgenaufnahme der kompletten traumatischen Oberarmamputation von S.U. nach seinem Zugunfall.

Laut Fremdanamnese haben Passanten ihn womöglich vor dem einfahrenden Zug gestoßen. Dabei erlitt er massive Nerven- und Weichteilverletzungen. Am Tag des Unfalls wurde der Oberarm mittels Fixateur extern und Plattenosteosynthese refixiert. Der Oberarm musste um 5 cm. verkürzt werden, damit man die Nervenenden des N. medianus wieder zusammennähen konnte. Der Patient wurde 3 Tage auf der Intensivstation betreut. Wegen der Schwere seiner Verletzungen wurde er sediert und in ein künstliches Koma versetzt (Glasgow Coma Scale 15). Danach wurde er auf die Unfallchirurgische Normalstation verlegt. 9 Tage nach dem Unfall wurde durch Entnahme am linken Oberschenkel eine Mesh-Graft Deckung am linken Oberarm zirkulär vorgenommen. 4 Wochen nach dem Unfall wurden ein ausgedehntes Weichteildebridement sowie ein Interponat des N. suralis (Entnahme bds.) als Rekonstruktion des N. radiales und N. ulnaris vorgenommen.

Insgesamt 6 Wochen nach seinem Unfall entschied man sich aufgrund eines persistierenden Weichteildefekts in Amputationshöhe auf dem linken Oberarm und Ellenbogen für eine gefäßgestielter Latissimus dorsi-Transfer (Abb. 15).



Abb. 15: Latissimus dorsi -Transfer 6 Wochen nach Unfall.

Zu keinem Zeitpunkt nach dem Unfall erlitt S.U. Schmerzen. Dies ist wichtig zu erwähnen, da diese Tatsache sich sicherlich günstig auf seinen Rehabilitationsprozeß auswirkte (s. oben, Abschnitt 2.2. Schutzmechanismen).

Herr U. bekam ab August 2003, nach seiner Entlassung, 5 x pro Woche physiotherapeutische Anwendungen. Er erhielt 4 Behandlungseinheiten zu jeweils 25 Minuten Physiotherapie pro Tag. Primäres Ziel war die passive Mobilisierung der Schulter, des Ellenbogens, der Handwurzelknochen und der Fingergelenke. Lymphdrainage und Elektrotherapie wurden in dieser Zeit ebenfalls verabreicht. Ab 2004 bekam er 4 x wöchentlich Physiotherapie ca. 2 Stunden pro Tag und zusätzlich Ergotherapie 3 x pro Woche für jeweils 1 ½ Stunden. Hier wurde immer noch primär an der Zunahme der passiven Beweglichkeit gearbeitet. Im Oktober 2004 stellte sich Herr U. bei mir im Rahmen eines Weiterbildungskurses, den ich geleitet habe, vor. Ab diesem Zeitpunkt wurden die Mobilisationsmassnahmen innerhalb realer Kontexte geübt. D.h. Herr U. versuchte mittels mentaler Vorstellung die Bewegungen handlungsorientiert mit Unterstützung der Therapeuten auszuführen. Ab 2005 bekam er nur noch 1 Stunde Physiotherapie pro Tag und 1 Stunde Krafttraining an Geräten.

In Juni 2006 setzte Herr U. 4 Wochen während der Fussball-Weltmeisterschaft erstmals aus. Er hat während dieser Zeit mit seinem Zwillingbruder auf der Fanmeile in Berlin einen Bierwagen betrieben. Das tägliche Bierzapfen empfand er als intensives Training. Seitdem führt er seine physiotherapeutischen und ergotherapeutischen Behandlungen wie vor der Fußball-WM fort.

Seit November 2006 fährt Herr U. wieder Auto. Er hat einen Knauf am Lenkrad und musste 3 Fahrstunden absolvieren sowie eine Fahrprüfung ablegen.

Herr U. möchte unbedingt in seinen Beruf als Fachberater im Kfz-Einzelhandel wieder zurückkehren. Zur Ausübung dieses Berufes muss Herr U. unterschiedlich große und schwere Gegenstände – alles von einer kleinen Glühbirne bis zu einer Autofelge – aus Regalen hervorholen und auf die Theke legen. Größere Objekte sind in der Regel in Kartons eingepackt.

Im Verlaufe der zunehmenden Restituion waren Nervenaktionspotenziale aller drei Stammnerven in folgender zeitlichen Reihenfolge nachweisbar: N. ulnaris, N. mediales, N. radiales. Parallel gab es den Nachweis von Willkürpotenzialen in den Kennmuskeln aller drei Stammnerven. Die elektroneurographischen Befunde sprechen eindeutig dafür, dass bis heute (3 ¾ Jahre nach dem Unfall) erstens sich der N. medianus erholt hat und zweitens das Interponat sowohl für den N. radiales als auch den N. ulnaris erfolgreich war (s. Anhang).

Die Elektroneurographie kann weder eine Aussage über den funktionellen Einsatz des Armes machen noch eine Aussage leisten, in wieweit die Physiotherapie diese Ergebnisse bewirkt hat. Die alltagsrelevanten Ergebnisse werden in Teil 5 anhand von Selbsteinschätzungsbögen erläutert und interpretiert.

4. Rehabilitationsmaßnahmen

4.1. Hypothesen

Die primäre Hypothese, die die unten geschilderten Behandlungsziele und Vorgehensweisen zugrunde liegen, ist die Erkenntnis, dass man durch Erfahrung lernt. Bewegungsstrategien, die sich als sinnvoll erwiesen haben und positiv erlebt wurden, werden langfristig gespeichert. Hierfür sind relevante Kontexte essentiell. Dieselben Bewegungen ohne sinnvollen Kontext, d.h. ohne emotionale Beteiligung des Ausführenden, führen nicht zum gleichen Lerneffekt (s. Einleitung). Sekundäre therapeutische Hypothesen, die sich hieraus und aus den oben aufgeführten theoretischen Grundlagen ergeben, sind:

a) Um eine optimale Reinnervation und langfristiges Lernen zu erzielen, sollten strukturelle Voraussetzungen (arthro-ossäre und neuromuskuläre) innerhalb ziel-motorischer Handlungen erarbeitet werden.

b) Unabhängig vom Zeitpunkt nach der Verletzung kann eine Verbesserung der alltags- und berufsspezifischen Funktionen erreicht werden.

c) Schmerzbewältigung, Motivation und das Visualisieren oder Ausführen von realistischen Bewegungen sind Schlüsselfaktoren für Funktionsverbesserungen in der neurologischen, orthopädischen und traumatologischen Rehabilitation.

4.2. Behandlungsziele

1. Vermeidung von Schmerz Wahrnehmung und –chronifizierung.
2. Ressourcen fördern und/oder Bewältigungsstrategien schulen, um Alltagsaktivitäten selbständig verrichten zu können.
3. Elastizitätsförderung zur Vermeidung oder Beseitigung von Kontrakturen und Steifigkeit.
4. Förderung der kortikalen Repräsentation der schwachen Körperteile unter korrekten biomechanischen Voraussetzungen und Verhinderung von unnötigen Bewältigungsstrategien.
5. Förderung der spezifischen Bedürfnisse des Klienten in relevanten Alltags- und Berufssituationen.

Strukturelle Voraussetzungen, wie Muskelkraft und volle Gelenkbeweglichkeit im Arm und in der Hand waren bei dem Patient S.U. nach seinem Unfall nicht vorhanden. Zu diesem Zeitpunkt war es wichtig, die Gelenkbeweglichkeit zu erhalten bzw. dort, wo sie bereits eingeschränkt war, zu erarbeiten. Die Gelenkmobilisation wurde primär während der Ausführung von funktionellen Aktivitäten durchgeführt. Da diese Aktivitäten nicht willkürlich gesteuert werden konnten, hat der Patient seine mental-visuelle Vorstellung benutzt, während die Therapeuten die zielorientierten Bewegungen unterstützten. Um weiterhin selbständig sein zu können, erlaubte man ihm außerhalb der Rehabilitationszeit, die ca. 4 Stunden 5 x pro Woche betrug, Aktivitäten wie das Anziehen und Ausziehen, Essen und die Verrichtung seiner Körperhygiene mit entsprechenden Bewältigungsstrategien auszuführen. Er kaufte sich Schuhe mit Klettverschlüssen und zog ohnehin nur T-Shirts, ohne Knöpfe, an. Die Entscheidung, Bewältigungsstrategien zuzulassen oder sogar zu schulen oder diese zu unterbinden, um Potenziale zu fördern, erfordert eine spezifische interdisziplinäre Befunderhebung und Evaluierung des Patienten. Auch die Eigenmotivation des

Patienten muss berücksichtigt werden. Besteht keine Notwendigkeit, Strategien wiederzuerlernen, die vor der Verletzung möglich waren, weil andere Lösungen zur Verfügung stehen, z.B. vermehrter Gebrauch der besseren Körperteile, Berufsumschulung oder Verrentung, obwohl Potenziale vorhanden sind, dann bleiben Bewältigungsstrategien in der Regel bestehen. Sobald jedoch Potenziale erkannt werden, sollte mit Einverständnis des Patienten deren Nutzung in den Vordergrund treten, und er sollte dazu ermutigt werden, diese Potenziale so oft wie möglich zu nutzen. Vor allem muss er erkennen, dass er über Ressourcen verfügt, die noch zu mobilisieren wären. Herr U. konnte erst 20 Monate nach seinem Unfall seine Hand willkürlich aktivieren und fing dann ab diesem Zeitpunkt an, vermehrt seine betroffene Hand für bimanuelle Tätigkeiten einzusetzen.

Unter Berücksichtigung der Alltagsfunktionen, die letztendlich erreicht werden sollen, müssen auf struktureller Ebene biomechanische Voraussetzungen so weit wie möglich gefördert werden, damit sichere und möglichst ökonomische Bewegungsstrategien gelernt werden können. Wenn Angst, Schmerzen und/oder Kompensationen für Schwächen dazu führen, dass reflektorische Schutzmechanismen die Bewegungskoordination behindern, müssen, neben dem aufgabenspezifischen Kraft-, Koordinations- und Ausdauertraining, die reflektorisch verspannten Strukturen Informationen erhalten, wie sie arbeiten müssen, damit die gewünschte Bewegung erfolgen kann. Da bei schnellen zielorientierten Willkürbewegungen die Antagonisten während der Beschleunigungsphase der Agonisten reziprok gehemmt sein müssen, würde ihre Koaktivierung, im Sinne von Schutzspannung, der Bewegung entgegenwirken. Damit die Antagonisten lernen können, was sie „tun“ müssen, muss als erstes ein Ziel vorhanden sein, und zweitens muss der Patient versuchen, dieses Ziel schnell zu erreichen. Ferner müssen die Schwerkraftbedingungen so gewählt werden, dass die Antagonisten nicht „fall-verhindernd“, d.h. exzentrisch arbeiten müssen.

Um alltags- und berufsspezifische Funktionen zu fördern, muss der Patient die Möglichkeit erfahren, zielorientierte Bewegungen mit nur so viel Unterstützung wie nötig zu organisieren und auszuführen. Unterstützung durch den Therapeuten sollte so viel wie nötig, jedoch so wenig wie möglich sein, um die größtmögliche Selbständigkeit des Klienten zu fördern. Ziel der Therapie ist es, dass der Klient Möglichkeiten erhält, sinnvolle kontextbezogene Bewegungsstrategien positiv zu erleben. Positive Erlebnisse wiederholt man gerne, und Wiederholung stellt die

Grundlage der Automatisierung, die für das motorische Lernen notwendig ist, dar. Erst die Wiederholung ermöglicht die Festigung von motorischen Programmen, insbesondere wenn es sich um „neue“ Bewegungen, die nie zuvor durchgeführt wurden, handelt. Wenn es sich allerdings um Bewegungen handelt und vor allem Bewegungsstrategien, die vor der Verletzung im Alltag, beim Beruf und Ausführen eines Hobbies bereits automatisiert waren, sind erfahrungsgemäß gar nicht so viele Wiederholungen nötig. Oftmals genügt es hier, dass der Patient erfährt, dass er die Bewegung auch ohne das Erleben von Angst oder Schmerzen ausführen kann, um sie in sein Bewegungsrepertoire wieder aufnehmen zu können.

Wie oben in Abschnitt 2.2. bereits beschrieben wurde, entstehen infolge der Wundheilung eine Reihe von vegetativ gesteuerten Mechanismen, die wiederum biochemische Reaktionen auslösen mit dem Ziel, gefährdete, beispielsweise verletzte Körperteile ruhig zu stellen. Kraftverlust, Koordinationsverlust, Beeinträchtigung der Ausdauer, Steifigkeit und Verlust der kortikalen Repräsentation und Schmerzen sind einige der möglichen Folgen.

Der Organismus versucht, auf diese natürliche Weise der Ruhigstellung die Wundheilung zu ermöglichen.

Ohne die ausreichende Zufuhr von geeigneten Medikamenten zum Zeitpunkt der Verletzung können sensorische und emotionale Erlebnisse als Schmerzen wahrgenommen werden. Infolge von längeren Ruhigstellungen und Angst vor der Bewegung wird möglicherweise die Schmerzwahrnehmung ins Langzeitgedächtnis abgespeichert. Da Immobilisation sehr viele unerwünschte Nebeneffekte hat, ist es äußerst wichtig, dass sie nicht länger als für die Heilung der verletzten Gewebe unbedingt nötig andauert.

4.3. Behandlungsprinzipien und methodische Verfahren

Die unter 4.2. aufgeführten Behandlungsziele können durch folgende Behandlungsprinzipien erreicht werden:

1. Kognitives Schmerz- und Angstmanagement
 - a) Habituationstraining
 - b) aerobes Training
2. Nutzen der positiven Ressourcen
3. Exzentrische Aktivierungen der steifen Muskulatur

4. Spezifische Anwendung der Inputsysteme
5. Gezielte Gestaltung der Therapiesituation durch Wahl der Ausgangsstellung und der Aufgabe.

Im Folgenden werden diese Behandlungsprinzipien und methodischen Vorgehensweisen erläutert.

4.3.1. Kognitives Schmerz- und Angstmanagement

Der in dieser Arbeit geschilderte Patient, S.U., wurde glücklicherweise in der Akutphase medikamentös so versorgt, dass er überhaupt kein Schmerzen empfand und somit auch keine Schmerzerinnerung hat. Weder nach einem der operativen Eingriffe, die nach seinem Unfall erfolgten, noch während oder nach den therapeutischen Anwendungen empfand Herr U. Schmerzen. Trotz dieser erfreulichen Tatsache gab Herr U. bei der letzten Befragung im Mai 2007 doch erstmalig an, mäßigen Schmerz nach anstrengenden Tätigkeiten zu empfinden. Dies führt er selbst auf die Tatsache zurück, dass er seinen betroffenen Arm jetzt mehr nutzt. In der Diskussion werde ich hierauf eingehen. Deshalb und auch weil es in vielen Fällen unbedingt berücksichtigt werden muss, möchte ich an dieser Stelle grundsätzlich das Thema „Schmerz“ ansprechen.

Es sind nicht immer die strukturellen Schäden, die dem Heilungserfolg entgegenwirken. Oftmals ist es die Schmerzerinnerung, die trotz guter Wundheilung und Besserung der Körperstrukturen die Ausführung von funktionellen Aktivitäten behindert.

Ein Patient, der sich gleichzeitig mit Herrn U. in der Rehabilitation befand, hatte durch eine Trennschleife Weichteilverletzungen am Unterarm erlitten. Hierbei wurde der Nervus medianus verletzt. Sein Knochen blieb intakt. Die gleichen Operateure haben die Rekonstruktion vorgenommen. Die Rehabilitation erfolgte in der gleichen Intensität und mit den gleichen therapeutischen Behandlungsmethoden wie bei Herrn U. Trotzdem hat dieser Patient heute, 8 Jahre nach seinem Unfall, viel mehr Schwierigkeiten als Herr U. Bei Berührung der Hand oder seines Armes entstehen schmerzhaft Myoklonien. Selbst beim Palpieren der spinalen Austrittstellen des Nervus medianus in Höhe von C5-C7 können diese unangenehmen Myoklonien ausgelöst werden. Dies hat zur Folge,

dass dieser Patient seinen betroffenen Arm für Greifaktivitäten kaum einsetzen kann.

Stellen Schmerzen ein Problem für den Rehabilitationsprozess dar, dann ist es entscheidend für den Therapieerfolg, dass der Patient lernt, dass sein Schmerz ein Teil des Heilungsprozesses ist und wie er selbstverantwortlich damit umgehen kann. Hier sind integrative Behandlungsansätze nötig.

4.3.1.1. Habituationstraining

Bei der Habituation kommt es nicht auf den Stimulus an sich an, sondern darauf, wie der Stimulus wahrgenommen oder erlebt wird. Werden Bewegungen als ungefährlich erlebt, gewöhnt sich der Organismus an diese Stimuli, und es kommt zu einer Desensitivisierung beziehungsweise zur Abnahme der synaptischen Effizienz (Kandel et al., 1996).

Rhythmische Wiederholungen von positiv erlebten schmerzfreien Bewegungen, die vor allem zielorientiert sind, können die Bewegungsangst und das Entstehen von Schutzmechanismen wie Kokontraktion reduzieren. Diese positiven Bewegungserfahrungen führen zu langfristigen Adaptionen und fördern somit die Habituation (s. auch Abschnitt 2.3). Inhibition wird durch wiederholte positive (zum Erfolg führende) Fazilitation erreicht. Sie beinhalten mehr als nur die Unterdrückung von unerwünschten motorischen Schablonen. Somit sind Inhibition und Fazilitation zwei Begriffe, die Umstände beschreiben, die sich gegenseitig bedingen, jedoch nicht durch gegensätzliche Behandlungsmaßnahmen zu erreichen sind.

Angst vor Schmerz kann den Behandlungsverlauf negativer beeinflussen als Schmerzempfinden selbst. Wenn die Schmerzerinnerung zu groß ist und der Patient die Angst, seinen schmerzhaften Körperteil zu bewegen, nicht abbauen kann bzw. Kompensationsaktivitäten ausführt, dann kann die Bewegung des betroffenen Körperteils in anderen Situationen gefördert werden. Werden Bewegungen des betroffenen Körperteils in anderen Kontexten erfolgreich erlebt, kann die Angst vor dem Schmerz positiv beeinflusst werden. Die biochemischen Vorgänge, die hier zugrunde liegen, werden durch die Senkung des Sympathikotonus erreicht. Wie im Abschnitt 2.2. erläutert wurde, verarbeitet der Mandelkern des limbischen Systems emotionelle Stimuli. Wenn positive Stimuli

erlebt werden, sinkt die Notwendigkeit für das limbische System, das vegetative Nervensystem zu alarmieren.

- Stimulation der Mechanorezeptoren

Wenn der Patient sich weder direkt mit seinem verletzten Körperteil noch indirekt über weiterlaufende Bewegungen von anderen Körperteilen bewegen kann (z.B. bei längeren Ruhigstellungen oder zu großer Angst vor Bewegung), kann durch kurze (maximal 1 Sek.), intermittierende Stimulation der Mechanorezeptoren, die sich in den tiefen Schichten der Gelenkkapsel (Typ II) und in den Bändern (Typ III) befinden, eine Senkung des Sympathikotonus erreicht werden (Sato u. Schmidt, 1977). Kurzzeitige Stützaktivitäten sowie kurze statische Kontraktionen können diesen Effekt bewirken. Ein zusätzlicher Effekt, der durch die Stimulation der Mechanorezeptoren erreicht werden kann, ist die Förderung der kortikalen Repräsentation, die durch den längeren Nichtgebrauch möglicherweise herabgesetzt ist (siehe unten Abschnitt 4.3.2.3.).

- Indirekte Vorgehensweise

Eine weitere Vorgehensweise, die es dem Patienten ermöglichen kann eine positive Bewegungserfahrung zu erleben, ist es, den Patienten darin zu fördern, dass er eine Bewegung seines betroffenen Körperteils in einem anderen Kontext erfährt. Zum Beispiel wenn er die Elevation des Armes vom distalen Hebel (Hand zum Kopf) nicht ausführen kann, dann kann er sich mit den Händen an einem Tisch festhalten und sich auf einen Stuhl zurücksetzen (Bewegung des proximalen Hebels, s. Abb. 22).

Wissen über die funktionelle Anatomie und Biomechanik, Wundheilungsprozesse, Schmerzmechanismen und eine gute Kommunikation zwischen Therapeut und Patient bilden die Grundlage für ein optimales Patienten-Management. Der Therapeut muss verstehen, dass ein und derselbe Stimulus unterschiedlich erlebt werden kann. Einen Reiz, der bei einem Patienten gut toleriert wird, empfindet ein anderer Patient möglicherweise als sehr unangenehm. Auch ein und derselbe Patient empfindet ein und denselben Reiz an einem Tag anders als an einem anderen Tag. Es ist wichtig, das subjektive Empfinden des Patienten ernst zu nehmen und vor allem zu respektieren.

Wie im Abschnitt 2.1. zu lesen war, ist reziproke Innervation aufgabenspezifisch. Somit ist es verständlich, dass Angst Kokontraktion oder Koaktivierung der Antagonisten verursachen kann. Man bedenke nur, welche Strategie man benutzen würde, um sich auf Glatteis fortzubewegen. Man verhält sich steif, um nicht hinzufallen. In dieser Situation ist die Strategie der Ko-Kontraktion sinnvoll. Will man jedoch den Arm heben, um einen Pullover an- oder auszuziehen, wäre Koaktivierung der Antagonisten hierfür hinderlich. In Abschnitt 2.1. wurde ebenfalls die triphasische Muskelaktivierungsfolge beschrieben, die bei schnellen zielorientierten Willkürbewegungen erfolgt. Zuerst beschleunigen die Agonisten. In dieser Phase müssen die Antagonisten gehemmt werden, um die Beschleunigung zuzulassen. Angst davor, Schmerzen bei der Armhebung zu erleben, würde jedoch die Antagonisten alarmieren, und in diesem Fall würden sie die Aufgabe des Schutzes durch Koaktivierung übernehmen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die erforderliche reziproke Innervation der Antagonisten während der Armhebung durch drei wesentliche Punkte erreicht werden kann. Die Gestaltung der Therapiesituation sollte folgende Kriterien erfüllen:

1. Der Patient sollte ein Ziel vor Augen haben.
2. Die Ausgangsstellungen sollten so gewählt werden, dass die Antagonisten nicht der Schwerkraft ausgesetzt sind. (Ansonsten müssten sie exzentrische Kontrolle gewährleisten und wären somit nicht reziprok inhibiert.)
3. Der Patient muss das Ziel, z.B. nach einem Gegenstand zu greifen, schnell erreichen wollen.

4.3.1.2. Aerobes Ausdauertraining

Ausdauer beinhaltet die Fähigkeit der Muskulatur, kontinuierlich submaximal zu kontrahieren. Sauerstoffzufuhr im Sinne des aeroben Trainings fördert nicht nur die Ausdauerfähigkeit (Wilmore u. Costill, 1994), sondern liefert dem Nervensystem die nötigen Nährstoffe, um die synaptische Effizienz zu gewährleisten (Butler, 2000). In Abschnitt 2.2. wurde bereits beschrieben, dass Nerven, obwohl sie nur 2% unseres Körpergewebes ausmachen, etwa 20% des Sauerstoffvolumens pro Herzschlag benötigen. Bei Ausdauerleistungen von 40-60% über eine Zeitdauer von 30 Minuten arbeitet das Gehirn besonders effektiv.

Ausdauertraining wirkt sich nicht nur auf das emotionale Befinden positiv aus, sondern bei Spaß an der Bewegung wachsen Nervenzellen. Die neuen Neurone lernen schneller als die alten (Spitzer, 2002). Ausdauer fördernde Maßnahmen führen nicht nur zur Verbesserung der Kraft und Alltagsfunktionen, sondern bewirken den positiven Nebeneffekt: Bewegungsfreude erfahren zu können (s.o). Je nach Aktivität müssen Muskeln nicht nur einmal kontrahieren, sondern wiederholt eingesetzt werden können. Ausdauertraining dient somit dem funktionellen Einsatz der Muskelaktivierung (siehe auch Abb. 16 unter 4.3.2. Nutzen der positiven Bewegungsressourcen).

Heute, knapp 4 Jahre nach seinem Unfall, kann er trotz voller Kraftentfaltung der Dorsalextensoren diese Aktivität weder schnell noch mehrmals hintereinander ausführen, wie es für das Trommeln oder Hämmern nötig wäre.

4.3.2. Nutzen der positiven Bewegungsressourcen

Als Herr U. noch nicht über Willküraktivität seiner Unterarm-, Hand- und Fingermuskulatur verfügte, war es zunächst das Ziel, die Aktivität der Aussenrotatoren der Schulter zu fördern, damit die Zentrierung des Humero-Scapular-Gelenks gewährleistet werden konnte. Hierfür wurde eine Rollsequenz auf der Matte gewählt. Die Hypothesen, die dieser Übung zugrunde liegen, sind zum einen, dass die posturale Kontrolle durch Bewegungen der vestibulären Härchen im Raum gefördert wird. Zum anderen wurde angenommen, dass die Zentrierung des Humero-Scapular-Gelenks die Streckersynergie des Armes (M. triceps brachii, Handgelenksextensoren) fördert (siehe hierzu Abschnitt 2.1.3. Posturale Kontrolle). Ein weiteres Ziel, das mit dieser Übung verfolgt wurde, war das aerobe Ausdauertraining (siehe oben). Der Patient verfügte über Potenziale in seinen unteren Extremitäten und in seinem rechten Arm. Zudem verfügte er über Potenziale seines vestibulären und visuellem Systems.

Übung:

Der Patient sollte sich von Rückenlage in die Bauchlage und wieder zurückdrehen. Währenddem er auf dem Bauch rollt, appliziert die Therapeutin Zug an seinem rechten Arm und bittet den Patienten, mit seinem Blick die Bewegungsrichtung seiner rechten Hand zu verfolgen. Diese Blickrichtung führt zu einer

automatischen Gewichtsverlagerung auf die linke Körperhälfte. Dies ist bedingt durch die zwangsläufige links-Seitneigung, die bei rechts-Rotation der oberen Kopfgelenke entsteht. Diese gekoppelte Bewegung ist der Funktion der Ligamenta alaria zuzuschreiben (White und Panjabi, 1990).

Am Ende der Bewegung, als er den Stütz auf seinem linken Ellenbogen erreicht, wird Approximation für das linke Humero-Skapular-Gelenk und in Längsrichtung seines rechten Armes zur verstärkten Aktivierung seines M. triceps brachii appliziert (Abb. 16).



Abb. 16: Rollen von Rückenlage in die Bauchlage, um den Stütz auf den linken Arm zu erreichen; aufgenommen 25.10.2004.

Übung:

Unter Nutzung der zunehmenden Potenziale in der Schultermuskulatur versucht der Patient, seine Hand in Richtung Therapeutin auszustrecken. Um die Aktivität der Ellenbogenextensoren zu verstärken, appliziert die Therapeutin Approximation in Richtung Ellenbogengelenk. Unter Beibehaltung dieser Aktivität sollte der Patient versuchen, seine Hand zu strecken (Abb. 17). Da zu diesem Zeitpunkt noch keine Aktivität der Handgelenksexpressoren vorhanden war, unterstützte die Therapeutin diese Bewegung. Die Rückenlage wurde zunächst gewählt, damit der Patient am Rumpf nicht ausweichen konnte, da seine Schulter noch nicht über optimale Potenziale verfügte. Zudem konnten in dieser Position die Handgelenksexpressoren ohne Einwirkung der Schwerkraft arbeiten. Die visuelle Kontrolle konnte er in dieser Position ebenfalls gut aufrechterhalten was zu

diesem Zeitpunkt sehr wichtig war, da er keine Sensibilität distal von seiner Verletzung hatte.



Abb. 17: Der Patient versucht, seinen Ellenbogen gegen die Approximation des Therapeutin zu strecken. Sie unterstützt seine fehlende Extensorenaktivität der Hand- und Fingerextensoren; aufgenommen 25.10.2004.

Übung:

Beim Zurückziehen seines betroffenen Arms, ähnlich wie beim Herausziehen eines Korkens aus einer Flasche, unterstützte die Therapeutin die Opposition des Daumensattelgelenks. Es war zunächst einfacher für den Patienten, die Fingerflexoren bei gleichzeitiger Volarflexion des Handgelenkes zu aktivieren als bei gleichzeitiger Dorsalflexion des Handgelenks. Später wurde diese Synergie in Alltagsaktivitäten integriert (siehe Abb. 29b in Abschnitt 4.3.5.).



Abb. 18: Der Patient zieht seinen linken Arm gegen den Widerstand der Therapeutin zurück, während sie seine Daumenopposition unterstützt; aufgenommen am 25.10.2004.

Übung:

Die Fingerflexorenaktivität, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht gelingt, sollte bei der folgenden Übung gefördert werden. Die Therapeutin erteilt Zug am rechten Bein, während der Patient versucht sein Knie unter die Bankkante zu ziehen (Abb. 19). Es wurde angenommen, dass er, um sein Gleichgewicht zu halten, mit seinen Fingerflexoren die Bankkante umfassen würde. Dies war zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht möglich.



Abb. 19: Aktivierung des rechten Beines, um Gleichgewichtsreaktionen auszulösen; aufgenommen 25.10.2004.

Übung:

Bei Durchführung der gleichen Übung knapp zwei Jahre später konnte Herr U. sich problemlos mit seiner linken Hand an der Bankkante festhalten (Abb. 20). Im Juni 2005 waren elektrophysiologisch Aktivitäten in allen der drei Hauptstammnerven vorhanden. Die Sensibilität des Versorgungsgebiets vom Nervus medianus wurde erstmalig in Oktober 2006 ableitbar.



Abb. 20: Aktivierung des rechten Beines, um Gleichgewichtsreaktionen auszulösen; aufgenommen am 05.2006.

4.3.3. Exzentrische Aktivierung der steifen Muskulatur

Die Folge von Immobilität kann oft Steifigkeit sein. Sie kann definiert werden als die Kraft, die benötigt wird, um die Länge eines sich in Ruhezustand befindenden Muskels zu verändern (Dietz und Berger, 1983). In der englischen Literatur spricht man von *stiffness*. Steifigkeit wird auch oft schmerzhaft empfunden. Ist Steifigkeit vorhanden ist es das Ziel die Elastizität der steifen Strukturen zu fördern. Strukturelle Elastizität ist auch die Voraussetzung für exzentrische Kontrolle, die für posturale Kontrolle benötigt wird (s. auch 4.3.3. spezifische Anwendung der Inputsysteme für kortikale und subkortikale Aspekte der motorischen Kontrolle). An der oberen Extremität stellt dies nicht das Hauptproblem dar. Elastizitätsverlust der Schulterextensoren behindert primär die Mobilität des Armes. Steifigkeit des latissimus dorsi hat jedoch auch Einfluss auf die Rumpfsymmetrie und somit die symmetrische Aufrichtung gegen die Schwerkraft. Elastizitätsverlust betrifft nicht nur die Muskulatur, sondern auch die peripheren Nerven. Diese besitzen keine kontraktile Elemente, aber das periphere Nervensystem verliert seine Fähigkeit, sich an Längenveränderungen anzupassen. In der Folge verändert sich die Qualität des axoplasmatischen Flusses, und Funktionen des muskuloskelettalen Systems können nicht kontrolliert werden.

Bei dem Patient, von dem in dieser Arbeit berichtet wird, war es in der Frühphase das primäre Ziel langfristige Kontrakturen zu verhindern. Infolge der langen Inaktivität seines betroffenen Armes sollte Steifigkeit vermieden werden. Ebenso wichtig war es, seine symmetrische Rumpfkontrolle wieder herzustellen. Da die

schrägen Bauchmuskeln mit dem M. serratus anterior verzahnt sind, ist die Scapula-Koordination während der Armhebung von der pro-aktiven abdominalen Kontraktion abhängig.

Insbesondere in der Frühphase war es ein wichtiges Ziel, Vernarbungen entgegenzuwirken, damit das Nervenwachstum nicht behindert wird, (siehe auch Abschnitt 2.8. periphere Veränderungen).

Übung:

Der Patient bekam den Auftrag, sich langsam von der linken Seite auf den Rücken zu drehen (Abb. 21). Hierbei wirkt die Schwerkraft auf die ventrale Rumpfmuskulatur so ein, dass diese exzentrisch arbeiten muss. Durch die Vorpositionierung seines betroffenen linken Armes in 90° Abduktion und Aussenrotation, den Unterarm in Ellenbogenextension und Supination und Dorsalflexion des Handgelenkes, wird bei dieser Rollaktivität durch die exzentrische kontrollierte Verlängerung der Mm. pectorales major, biceps brachii und den Volarflexoren zudem der Plexus Brachiales mobilisiert.

Die Therapeutin kann für diese exzentrisch arbeitende Muskulatur Längszug an den entsprechenden Muskelbäuchen applizieren. Hierdurch wird propriozeptive Information erteilt. Dies fördert die Aktivität der Muskulatur, wie sie in dieser Situation benötigt wird. Da Herr U. zu diesem Zeitpunkt taktil sensorische Wahrnehmungsstörungen hatte, sollte diese Vorgehensweise diesen Defizite entgegenwirken. Beim Drehen auf den Rücken hat er seinen gesunden Arm im Sinne einer Korkenziehbewegung nach hinten oben gegen den Widerstand des Therapeuten gezogen. Hierfür applizierte die Therapeutin Zug. Diese Zugbewegung des gesunden Armes führte zu einer verstärkten Aktivität der untenliegenden Armmuskulatur. Insbesondere die Abduktoren der Schulter müssen hierbei Abdruckaktivität aufbauen. Beabsichtigt war auch die Aktivierung der Ellenbogen- und Handstrecker.



Abb. 21: Weichteilmobilisation des li. Armes und Plexus brachiales; aufgenommen am 25.10.2004.

Durch die Narbe infolge des M. latissimus dorsi - Transfers war die Schulterelelevation stark eingeschränkt.

Übung:

Um gleichzeitig die Elastizität der Weichteilstrukturen und das Caudalgleiten des Humeruskopfes, die für die Elevation des Armes biomechanisch notwendig ist, zu fördern, wurde unter der exzentrischen Aktivierung des M. latissimus dorsi der Humeruskopf nach caudal mobilisiert (Abb. 22). Durch den Ansatz der Sehne an der Crista tuberculi minoris konnte diese Gleitbewegung aktiv ausgeführt werden. Die Therapeutenhände unterstützen die Bewegungsrichtung des Humeruskopfes und applizieren Zug am Margo lateralis der Scapula, während der Patient sich langsam auf einem Stuhl absetzt. Hierdurch wird unter der exzentrischen Aktivierung des M. latissimus dorsi das Becken nach dorsal rotiert. Die Beckenrotation führt zu vermehrtem Zug an der Insertion des latissimus dorsi am Humerus.



Abb. 22: Indirekt Mobilisation der Schulter Elevation; aufgenommen am 25.10.2004.

Im Verlaufe der Rehabilitation kehrte mehr und mehr Aktivität der Handmuskulatur zurück. In Januar 2007 konnte elektrophysiologisch die vom Nervus ulnaris versorgte Muskulatur des Unterarmes abgeleitet werden (siehe Abschnitt 4.4.3.). Herr U. konnte in Dezember 2006 jedoch immer noch nicht eine Gabel zum Mund führen, um damit essen zu können, obwohl er inzwischen über eine gute Aktivität seiner Fingerflexoren und M. opponens pollicis sowie ausreichende passive Supinationsbeweglichkeit seines Unterarmes und volle Kraft der Supinatoren verfügte. Dies war jedoch nur bis zur 0°-Stellung möglich. Wenn er seinen Unterarm passiv endgradig in Supination bewegte und losließ, schnappte sein Unterarm regelrecht in die 0°-Stellung zurück (s. Abb. 44c+d). Es wurde vermutet, dass eventuell das Narbengewebe im Bereich seines Ellenbogens sowie die Schwäche des M. flexor carpi ulnaris die aktive Beweglichkeit noch behinderten. Deshalb wurde das Narbengewebe im Verlaufe des Nervus ulnaris im Bereich des Ellenbogengelenkes mobilisiert (Abb. 23). Er hat seinen Kopf auf seine linke Hand aufgestützt. Dadurch entstand eine Vorspannung des N. ulnaris, ebenfalls begünstigt durch die Seitenneigung des Kopfes nach rechts. Seine Hüften wurden in 90° Hüftflexion vorpositioniert, und er wurde dazu aufgefordert, seine Knie in Extension zu bewegen. Gleichzeitig hat er mit seiner rechten Hand das Gewebe im Bereich des N. ulnaris ausgestrichen. Er spürte bei dieser Übung einen deutlichen Zug an der Stelle und ein Kribbeln in seinen letzten beiden Fingern.



Abb. 23: Mobilisation der Weichteile und N. ulnaris; aufgenommen am 17.12.2006.

4.3.4. Spezifische Anwendung der Inputsysteme

Da sich die Repräsentation von Körperteilen im sensorischen und im motorischen Kortex beim Nicht-Gebrauch sowie bei Schmerzen zu verändern scheint, ist es ein wichtiges Behandlungsziel, die Repräsentation zu fördern.

Die Wiederherstellung der kortikalen Repräsentation ist eines der wichtigsten Ziele der Behandlung, damit wieder koordinierte Bewegungsabläufe möglich werden. Je realistischer die Bewegung ist, die geübt wird, umso „einfacher“ ist es für das Gehirn, sie zu erkennen. Dies fördert die Bewegungsplanung und Integration des verletzten Körperteils in den Bewegungsablauf. Je abstrakter die Bewegung ist, umso eher wird der Patient reflektorische Schutzspannungen aufbauen. Bewegungen ohne Kontext ausführen zu lassen, kann Angst verstärken und somit die Aktivierung der oben aufgeführten Schutzmechanismen fördern.

Das Gehirn muss die Bewegungen kennen, das heißt sie müssen einen Sinn ergeben, damit sie gelernt werden können.

Im Abschnitt 2.1.2. wurde beschrieben, dass während einer Greifaktivität die Formation der Hand, die Bewegung der anderen Gelenke in der Synergie und die Haltungskontrolle unbewusst gesteuert werden, also „wie“ die Bewegung erfolgt. Lediglich das „Wo“ wird bewusst gesteuert, also wo die Hand letztendlich sein muss. Diese theoretischen Kenntnisse haben zur Folge, dass Inputsysteme in der

Therapie sehr spezifisch angewendet werden müssen. Visuelle Information zu erhalten, bevor die Bewegung startet, um Wissen über das „Wo“ zu vermitteln, ist essentiell. Zudem nimmt das visuelle System Eigenschaften des Gegenstandes wahr wie z.B. Schwere und Oberflächenbeschaffenheit. Hier greift der Greifende auf vergangene propriozeptive Erfahrungen zurück. Verbale Informationen können ebenfalls unterstützend sein, um das „Wo“ zu vermitteln. Sollte der Greifende über dieses Wissen nicht verfügen, können verbale Informationen auch nützlich sein, um gewisse Eigenschaften erstmal „begreiflich“ zu machen. Auch das Spüren des Gegenstandes mit der intakten Extremität kann dieses Wissen verstärken und somit die Bewegungsplanung unterstützen (s. hierzu auch Abschnitt 2.5.2. Spiegelneurone).

Um das „Wie“ der Bewegung zu erfahren, können propriozeptive Informationen hilfreich sein. Hierfür können taktile Stimuli des Therapeuten unterstützend genutzt werden. Insbesondere wenn die biomechanische Situation nicht automatisch gegeben ist, muss diese gewährleistet werden. Stehen und bewegen die Gelenke nicht richtig, können die Muskeln die Bewegung nicht adäquat ansteuern (s. Abschnitt 2.1.3. posturale Kontrolle).

Übung:

Zunächst wurde die Mobilität des Handgelenkes und der Finger sowie die des Daumensattelgelenkes erarbeitet (Abb. 24). Eine Tape-Rolle wurde unter den Grundgelenken platziert um die fehlende Mm. lumbricales-Funktion zu übernehmen. Währenddessen werden die Handwurzelknochen entsprechend der arthrokinematischen Situation mobilisiert. Hier wird das Os scaphoideum nach volar mobilisiert. Erst wenn die Handwurzelknochen richtig positioniert sind, kommt es zu einer Aktivierung des M. triceps brachi.



Abb. 24: Der Patient versucht, sich auf seiner betroffenen Hand aufzustützen, während die Therapeutin das Os scaphoideum nach volar mobilisiert; aufgenommen 25.10.2004.

In dieser Phase der Rehabilitation hatte der Patient noch keine Sensibilität und es war auch noch nicht abzusehen, ob die Sensibilität, wiederkehren würde. Die visuelle Kontrolle war nötig, um die Bewegungsabläufe ausführen zu können. Zu diesem Zeitpunkt, also 20 Monate nach seinem Unfall, hatte er auch noch keine Willküraktivität in der Hand. Ziel war es, in einer relevanten Alltagshandlung seine visuelle Vorstellung zu nutzen, um die Stabilität in seinem Arm und seiner Hand zu fazitätieren.

Übung:

Das Handgelenk wurde in Dorsalflexion positioniert, den Daumen sollte er versuchen zu opponieren (Abb. 25). Während er mental versucht hat, diese Aktivität auszuführen, wurde eine Traktion des MCP I durch die Therapeutin ausgeführt.



Abb. 25: Der Patient versucht, mit seiner betroffenen Hand die Thermosflasche zu umfassen, damit er sie mit seiner kräftigeren Hand öffnen kann. Die Therapeutin appliziert Traktion am Daumensattelgelenk; aufgenommen am 25.10.2004.

Übung:

Die Supination wurde ebenfalls unter der visuellen Kontrolle des Patienten durchgeführt unter dem willkürlichen Versuch, einen Löffel zum Mund zu führen (Abb. 26a+b). Die Therapeutin unterstützt die schwache Flexion des Zeigefingers, während der Patient versucht, den Löffel zu umfassen. Als er dann versucht, den Löffel zum Mund zu führen, mobilisiert sie den Radius nach ventral, was der Biomechanik im proximalen radio-ulnar-Gelenk bei der Supinationsbewegung entspricht.



Abb. 26a: Der Patient versucht, den Löffel zum Mund zu führen, während die Therapeutin das Handgelenk in Dorsalflexion stabilisiert und die Flexion seines M. flexor indicis unter seiner aktiven Mitwirkung fazilitiert; **Abb. 26b:** das proximale radio-ulnar Gelenk wird in Supination mobilisiert; aufgenommen am 04.2006.

4.3.5. Gezielte Gestaltung der Therapiesituation (Wahl der Ausgangsstellung und der Aufgabe)

Grundsätzlich sind Übungen in so genannten niedrigeren Ausgangsstellungen, z.B. das Üben der Elevation des Armes in der Seitenlage, oft nicht wirklich „einfacher“ für den Patienten. Rein strukturell gedacht, muss die Flexorensynergie des Armes in dieser Ausgangsstellung zwar nicht gegen die Schwerkraft arbeiten, jedoch unter neurophysiologischen Gesichtspunkten ist diese Ausgangsstellung eventuell weitaus schwieriger. Die vertikale Schwerkrafteinwirkung auf den Rumpf bewirkt eine proaktive Rumpfaufrichtung. Da Greiffunktionen in der Regel in der vertikalen Körperposition ausgeführt werden, ist es am sinnvollsten, in vertikalen Körperpositionen zu üben. Wenn der Patient jedoch in der vertikalen Körperposition ausweicht und die gewünschte Aktivität nicht erreicht wird, kann zunächst eine andere Position, in der die erforderliche Bewegung möglich ist, gewählt werden. Es ist jedoch nicht zwingend, zuerst in niedrigen Positionen die Behandlung zu beginnen, um dann allmählich in höheren Positionen zu arbeiten. Es ist empfehlenswert, den Behandlungseinstieg in der Position zu wählen, in der der Patient die gewünschte Aktivität gerade noch, ohne auszuweichen, durchführen kann. Im Sinne des „Shapings“ wird dann sukzessive gesteigert (s. Abschnitt 2.5.3.). Die Steigerungen können in Bezug auf Wiederholungszahl, Anzahl der zu bewegenden Freiheitsgrade und in Bezug auf Schwerkraftbedingungen erfolgen. Beachten sollte man jedoch den Aspekte der Frustration. Steigert man die Schwierigkeitsgrade sobald es dem Patienten gelingt, eine Aufgabe durchzuführen, kann Frustration eintreten. Es erfordert viel Einfühlungsvermögen des Therapeuten, um dies zu vermeiden.

Übung:

Als noch keine Eigenaktivität der Fingerflexoren, Daumenopposition und Dorsalflexion des Handgelenkes vorhanden war, wurde eine Ausgangsstellung gewählt, in der die Dorsalflexion des Handgelenkes zunächst mit der Schwerkraft erfolgen konnte. Hierbei unterstützte die Therapeutin die fehlende Fingerflexions- und Daumenoppositionsaktivität. Hier soll der Patient versuchen, die Clementine mit seinen Fingerflexoren und Daumenopposition festzuhalten, um dann an ihr zu

riechen und wieder von seiner Nase (in Richtung Dorsalflexion) weg bewegen. Sein aufgestützter Ellenbogen fördert seine posturale Kontrolle.



Abb. 27: Der Patient stützt seinen Ellenbogen auf dem Tisch und versucht, die Clementine zu und von seiner Nase weg zu bewegen. Die Therapeutin stabilisiert die Fingergelenke und unterstützt seine Bewegung; aufgenommen am 25.10.2004.

Ein Jahr später konnte S.U. diese Aktivität ohne Unterstützung der Therapeutin durchführen (Abb. 28). Den Ring- und Kleinfinger konnte er jedoch zu diesem Zeitpunkt noch nicht aktivieren.

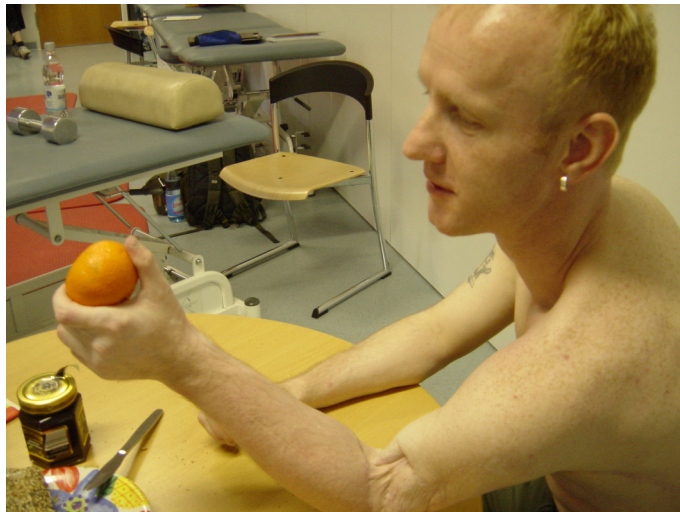


Abb. 28: Der Patient hält eine Clementine zwischen seinen Daumen und beiden ersten Fingern; aufgenommen am 19.10.2005.

Vier Wochen später konnte er sogar seinen Ringfinger in Flexion beim Umfassen eines Glases aktivieren (siehe Abb. 43 in Abschnitt 5.3.). Er wurde ermutigt in

seinem Alltag so viele Handlungen wie möglich bimanuell auszuführen (Abb. 29a+b).



Abb. 29a: Es gelingt dem Patienten mit seiner linken Hand ein Brötchen festzuhalten, um es mit seiner rechten aufzuschneiden; **Abb. 29b:** der Patient kann ein Marmeladenglas mit seiner rechten Hand festhalten und den Deckel mit seiner linken Hand aufdrehen; aufgenommen 19.10.2005.

Von Anfang an war es das Ziel des Patienten, seine Arbeit als Fachberater im KFZ-Betrieb wieder aufzunehmen. Er musste leichte bis schwere Gegenstände aus Regalen herausholen, für seinen Kunden aus dem Lagerraum bringen und sie auf die Verkaufstheke legen. Daraus resultierend war es das therapeutische Ziel, die Mobilität seines linken Armes für Greifaktivitäten Überkopf und die Mobilität seiner linken Hand soweit herzustellen, dass er statische Haltearbeit mit dieser bewerkstelligen konnte. Hierfür war auch die Kraftausdauer in der Flexionssynergie seines Armes sowie die statische Haltefunktion seiner Handextensoren, Fingerflexoren und Daumenopposition notwendig. Da er in seinem Beruf die meisten Greiftätigkeiten im Stand ausführte, wurde primär in der aufrechten Position seines Rumpfes gearbeitet.

Übung:

Leichte Gegenstände wurden zunächst Überkopf angehoben. Hier versucht er, eine Thermosflasche auf dem Fernseher abzustellen (Abb. 30). Der Patient unterstützt seinen schwachen linken Arm mit seinem starken rechten. Da er noch nicht über genügend Kraft im M. triceps brachii verfügt, approximiert er sein linkes Ellenbogengelenk mit seiner rechten Hand. Die Therapeutin erteilt Approximation am Kopf, um die posturale Reflexe zu faszilitieren, und unterstützt die distale Handbewegung des Patienten.



Abb. 30: Der Patient stabilisiert seinen linken Ellenbogen mit einer Approximation seiner rechten Hand. Die Therapeutin nimmt ihm etwas Gewicht ab und approximiert seine Halswirbelsäule in axialer Richtung, um seine posturalen Reflexe zu fördern; aufgenommen 25.10.2004.

Herr U. gab an, dass er schwer verpackte Gegenstände im Regal verschieben muss. Hierfür muss er manchmal in die untersten Regalfächer greifen.

Übung:

Hier versucht er mittels eines vom Therapeuten instruierten verbalen Hinweises mit Hilfe seines starken rechten Armes einen Rucksack, der mit Büchern bepackt ist, seitlich zu verschieben (Abb. 31). Hierfür wurde der Kniestand gewählt, was den realistischen Arbeitsbedingungen des Patienten entspricht. Bei dieser Bewegung wurden die Schulterabduktoren und –ausenrotatoren aktiviert, was zu einer Verstärkung der Dorsalextensionsaktivität des Handgelenkes führen sollte.



Abb. 31: Herr U. verrückt eine schwere Tasche mit Hilfe seines rechten Armes; aufgenommen 25.10.2004.

Vier Monate später konnte er sogar schwerere Gegenstände alleine anheben. Wenn er gleichzeitig seine Hüftextensoren beim Aufrichten aus dem Fersensitz in den Kniestand aktivierte, konnte er den Arm höher anheben und die Dorsalflexion des Handgelenkes noch stärker aktivieren (Abb. 32a+b).



Abb. 32a+b: S.U. freut sich darüber, dass er ein Beamer alleine heben kann; aufgenommen 30.03.2005.

4.4. Verlaufsdokumentation

Nach der Entlassung aus der Klinik stellte sich Herr U. in das ambulante Rehabilitationszentrum an der Charité am Virchow-Klinikum vor. Seine dortige Therapie begann am 25.08.2003 (siehe Abschnitt 3, Fallbeschreibung).

Verwendet wurde zum einen der SF-36-Fragebogen zum allgemeinen Gesundheitszustand und zum anderen die Upper Extremity Motor Activity Log. Zudem wurden elektrophysiologische Untersuchungen sowie Gelenkbeweglichkeitstests und Muskelfunktionstests durchgeführt.

4.4.1. Passive Gelenkbeweglichkeitstests

Die passive Gelenkbeweglichkeit seiner oberen Extremität wurde nach der Neutral-Null-Methode gemessen. Die erste Erhebung erfolgte in August 2003 kurz nach seiner Entlassung aus der Klinik und bei der Vorstellung in der ambulanten Rehabilitationsklinik an der Charité, Campus Virchow in Berlin. Herr U. stellte sich bei mir im Rahmen eines Weiterbildungskurses, den ich geleitet habe, im Oktober 2004 vor. Weitere Gelenkmessungen wurden jeweils in Oktober 2004, Juni 2005 und Mai 2007 erhoben. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle 1 aufgelistet. Auf die Messungen der Schulterflexion, Supination des Unterarms, Handgelenksextensoren und Daumenopposition wird in Abschnitt 5 in Bezug zu seinen Alltagsaktivitäten eingegangen.

Tabelle 1: Passive Gelenksbeweglichkeitstests

	Aug. 03	Okt. 04	Jun. 05	Mai 07
Schulter				
Flex./Ext., re.	170/0/40	170/0/40	170/0/40	170/0/40
Flex./Ext., li.	40/0/20	80/0/30	80/0/30	150/0/30
Abd./Add., re.	180/0/30	180/0/30	180/0/30	180/0/30
Abd./Add., li.	40/0/0	80/0/20	80/0/20	120/0/20
AR/IR, re.	60/0/90	60/0/90	60/0/90	60/0/90
AR/IR, li.	0/0/0	0/0/0	30/0/90	45/0/90
Ellenbogen				
Flex./Ext., re.	145/0/5	145/0/5	145/0/5	145/0/5
Flex./Ext., li.	30/20/20	85/20/20	120/10/10	130/5/5
Pro/Supi, re.	80/0/80	80/0/80	80/0/80	80/0/80
Pro/Supi, li.	0/0/0	10/0/0	80/0/20	80/0/80
Hand				
DF/PF, re.	70/0/80	70/0/80	70/0/80	70/0/80
DF/PF, li.	10/0/10	20/0/20	45/0/50	70/0/80
Finger				
MCP II-IV, li.	0/0/0	10/0/10	20/0/10	60/0/15
PIP II-IV, li.	10/0/0	30/0/0	100/0/0	100/0/0
DIP II-IV, li.	0/0/0	20/0/0	80/0/0	80/0/0
Daumenopp .	0	0	0	Vollst.
Daumenabd .	10	20	30°	70
Daumenrep.	10	20	30°	70

4.4.2. Muskelfunktionstests

Die Muskelkraftwerte wurden anhand von Muskelfunktionstests nach Daniels und Worthingham vorgenommen. Die Messungen erfolgten jeweils im August 2003, Oktober 2004, Juni 2005 und Mai 2007 (Tabelle 2).

Dort, wo das volle Bewegungsausmaß nicht erreicht wurde, sind die Gelenkstellungen in Klammern nach dem Wert aufgelistet. In Abschnitt 5 wird auf die Messungen der Schulterflexion, Supination des Unterarmes, Handgelenksex tensoren, Fingerflexoren und Daumenopposition in Bezug zu relevanten Alltagsaktivitäten eingegangen.

Tabelle 2: Muskelfunktionstests

	Aug.03	Okt. 04	Jun. 05	Mai 07
Schulter	li.	li.	li.	li.
Flex.	2 (4 b. 40°)	3 (4 b. 80°)	4 (b. 130°)	5 b. 150°
Abd.	2 (4 b. 40°)	3 (4 b. 80°)	4	5
AR	0	1	4 (b. 80°)	
Ellenbogen				
Flex	2 (3 b. 30°)	3 (b. 85°)	4 (b. 120°)	5 (b. 130°)
Ext	1	1 (2 b. -20°)	2 (b. -10°)	4 (b. -5°)
Pronation	0	2	3	5
Supination	0	0	2 (b. 0°)	5 (b. 0°)
Hand				
Dorsalflex.	0	0	2 (b. 0°)	5
Palmarflex.	0	1	2	5
Finger				
Flex.	0	1	4	5
Ext.	0	0	1	3
Interossei dorsales	0	0	0	2
Interossei palmares	0	0	0	2
Lumbricales	0	0	0	1
Daumenopp.	0	0	3	4

4.4.3. Sensibilitätstests

Herr U. gab erstmalig in März 2004 beginnende Sensibilität distal vom Meschgraft an.

Dieser subjektive Befund wurde in den elektrophysiologischen Untersuchungen in November 2004 nicht bestätigt. Bei der elektrophysiologischen Untersuchung vom Juni 2005 zeigten sich immer noch keine sensiblen Potenziale (s. unten, 4.4.4). Im November 2006 gab Herr U. an, dass er ab und zu ein Kribbeln an der Handinnenfläche und an den Fingerkuppen bemerken würde. Die 2-Punkte-Diskrimination war jedoch nicht gegeben. Bei den letzten Messungen im Mai 2007 hatte sich die Sensibilität laut seiner Aussage weiterhin verbessert. Die Befunde bezüglich der Oberflächensensibilität mit geschlossenen Augen waren jedoch diffus. Mal konnte er sagen, wo die Berührung war, und mal nicht. Wenn sein Unterarmrücken berührt wurde, gab er oft das Empfinden am Handrücken an. Die 2-Punkte Diskrimination war bei der Erhebung im Mai 2007 auch noch nicht gegeben.

4.4.4. Elektrophysiologische Untersuchungen

Am 08.05.2007 hat Prof. Dr. med. S. Hesse von der Klinik Berlin eine zusammenfassende Bewertung erstellt:

„Aus neurophysiologischer Sicht ergeben sich folgende Gesichtspunkte:

1. Juni 2003: Trauma mit Amputation li. Oberarm, nachfolgend Replantation des Oberarms li., sowie Rekonstruktion des N. radiales bzw. N. ulnaris mit Hilfe eines Suralisinterponat.
2. Januar 2004 sind keine Nervenaktionspotentiale erhältlich weder motorisch noch sensibel, entsprechend Nachweis reichlich pathologischer Spontanaktivität. Lediglich in der N. ulnaris innervierten Muskulatur vereinzelte Willkürpotentiale als erste Reinnervationszeichen.
3. August 2004: Es zeichnen sich erste motorische Potentiale in allen 3 Stammnerven, sensorische Potentiale sind nicht erhältlich. Im EMG weiterhin Nachweis pathologischer Spontanaktivität sowie Willkürpotentiale neurogen umgebaut in dem vom N. ulnaris versorgten Beugern im Bereich des Unterarmes.
4. November 2004 haben sich die Potentiale in der motorischen Neurographie weiter verbessert, unverändert sensible Potentiale nicht nachweisbar. Das

EMG zeigt weiterhin die beginnende Reinnervation vom N. radialis und N. ulnaris versorgten Muskeln.

5. Juni 2005: Unverändert sind die sensiblen Potentiale nicht erhältlich, die motorischen Potentiale aller 3 Stammnerven haben sich weiterhin verbessert und auch das EMG zeigt nunmehr Aktivität in Muskeln, die von allen 3 Nerven versorgt werden.
6. Oktober 2006: Erstmals Nachweis von sensiblen Nervenaktionspotentialen des N. medianus, die EMG-Untersuchung entspricht dem klinischen Erscheinungsbild mit offensichtlich weiterhin kontinuierlicher Verbesserung der Paresen, lediglich in dem erstmalig untersuchten M. interosseus 1 li. lässt sich keine Willküraktivität nachweisen.
7. Januar 2007: Die elektrophysiologische Untersuchung ergibt eine gute Regeneration im li. N. radialis, die Extension im Handgelenk ist mit guter Kraft möglich. Die Fingerstreckung gelingt nicht selektiv. Die ulnarisinnervierten Muskeln des Unterarmes sind gut einsetzbar, weiterhin kann der Patient die kleinen Handmuskeln und die Daumenballenmuskulatur nicht willkürlich einsetzen. Neurographisch haben sich die Potentiale einschließlich der sensiblen Antwortpotentiale weiterhin verbessert.

Elektrophysiologisch ergibt sich, dass von allen 3 Stammnerven sowohl motorisch als auch sensible Potentiale erhältlich sind, entsprechend ist von einer guten Rückbildung auszugehen. Der Zugriff auf die Handbinnenmuskulatur gelingt trotz offensichtlicher Reinnervation nur unzureichend, hier ist ggf. von einer Fehlsprossung auszugehen.“

4.4.5. SF-36 Fragebogen

Der SF-36 Fragebogen misst den subjektiven Gesundheitszustand bzw. die gesundheitsbezogene Lebensqualität (HRQOL = Health Related Quality of Life) (Stadnyk et al., 1998, McDowell et al., 1996). Der Fragebogen enthält acht Konzepte/Dimensionen/Skalen sowie die Bewertung der Gesundheitstendenz in insgesamt 36 Items.

Die acht Konzepte der SF – 36 werden wie folgt unterteilt:

1. körperliche Funktionsfähigkeit
2. körperliche Rollenfunktion

3. körperliche Schmerzen
4. allgemeine Gesundheit
5. Vitalität
6. Soziale Funktionsfähigkeit
7. Emotionale Rollenfunktion
8. Psychische Befindlichkeit

Diese acht Konzepte werden wiederum zwei oberen Kategorien zugeordnet: körperliche (physische) und geistige (psychische) Gesundheit (Tabelle 3).

Tabelle 3: Übersicht der Kategorien des SF-36 Bewertungs-Modells

Nummer	Geprüfte Fähigkeiten	Skala	Summierung der Meßergebnisse
3a	anstrengende Tätigkeiten, z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben	Körperfunktionen	Körperliche Gesundheit
3b	mittelschwere Tätigkeiten, z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen		
3c	Einkaufstaschen heben oder tragen		
3d	mehrere Treppenabsätze steigen		
3e	einen Treppenabsatz steigen		
3f	sich beugen, knien, bücken		
3g	mehr als 1 Km. zu Fuß gehen		
3h	mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen		
3i	eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen		
3j	sich baden oder anziehen		
4a	Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein.	Körperrolle	Körperliche Gesundheit
4b	Ich habe weniger geschafft als ich wollte.		
4c	Ich konnte nur bestimmte Dinge tun.		
4d	Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung.		
7	Körperlicher Schmerz – Schmerzstärke	Körperlicher Schmerz	Körperliche Gesundheit
8	Körperlicher Schmerz – Beeinträchtigung		
1	Allgemeine Gesundheit	Allgemeine Gesundheit	Körperliche Gesundheit
11a	Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden.		
11b	Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne.		
11c	Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt.		

Nummer	Geprüfte Fähigkeiten	Skala	Summierung der Meßergebnisse	
9a	Wie oft waren Sie in den letzten Wochen voller Schwung?	Vitalität	Geistige Gesundheit	
9e	Wie oft waren Sie in den letzten Wochen voller Energie?			
9g	Wie oft waren Sie in den letzten Wochen erschöpft?			
9i	Wie oft waren Sie in den letzten Wochen müde?			
6	Soziale Funktion - Ausmaß	Soziale Funktion		
10	Soziale Funktion - Zeitfaktor			
5a	Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein.	Emotionale Rollenfunktion		
5b	Ich habe weniger geschafft, als ich wollte.			
5c	Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten.			
9b	Wie oft waren Sie in den letzten Wochen sehr nervös?	Psychische Gesundheit		
9c	Wie oft waren Sie in den letzten Wochen so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheitern konnte?			
9d	Wie oft waren Sie in den letzten Wochen ruhig und gelassen?			
9f	Wie oft waren Sie in den letzten Wochen entmutigt und traurig?			
9h	Wie oft waren Sie in den letzten Wochen glücklich?			

4.4.6. Upper Extremity Motor Activity Log (UEMAL)

Dieser Fragebogen wurde entwickelt von der Forschungsgruppe für „Constraint-Induced Movement Therapy“ an der Alabama Universität in USA. Er ist eigentlich für Patienten nach zentralen Läsionen und daraus resultierenden Funktionsverlusten der oberen Extremität konzipiert. Da Herr U. an einer zweiwöchigen ambulanten constraint-induced-movement Therapie an der Universität Freiburg voraussichtlich in Juli teilnehmen wird, entschied ich mich, diesen Fragebogen ebenfalls zu verwenden. Zudem sind die darin aufgelisteten Alltagsaktivitäten für ihn relevant.

Beurteilt werden sowohl die Quantität als auch die Qualität von 30 verschiedenen funktionellen Aktivitäten auf einer Skala von 0 bis 5 (Tabelle 4+5). Es handelt sich um eine strukturierte Befragung, um zu beurteilen, wie oft und wie gut der Befragte seine betroffene Extremität außerhalb der Therapiesituation für Alltagsaktivitäten nutzt. Es gibt zum einen die Möglichkeit, die Skala als Selbsteinschätzungsbogen zu verwenden, und zum anderen als Beurteilungsbogen für den Therapeuten. Die Selbsteinschätzung des Patienten gilt als reliabel und valide in der Anwendung bei Patienten nach subakutem Schlaganfall (Uswatte et al., 2005). Diese Autoren gehen davon aus, dass die spontane Nutzung des paretischen Armes mit dieser Skala effektiver als bei anderen Skalen bewertet werden kann (Tabelle 4). Bei dieser Arbeit hat Herr U. sich selbst beurteilt. Die Abstufungen sind wie folgt:

Abstufung - Quantität

0 = Betroffener Arm wird nicht verwendet.

1 = Ab und zu verwende ich den betroffenen Arm, aber äußerst selten.

2 = Mein betroffener Arm wird manchmal verwendet, aber die meiste Aktivität mache ich mit dem gesunden Arm – betroffener Arm wird selten verwendet.

3 = Ich verwende den betroffenen Arm halb so viel wie vor dem Unfall (50%).

4 = Ich verwende den betroffenen Arm fast so viel wie vor dem Unfall (75%).

5 = Ich verwende den betroffenen Arm gleich oft wie vor dem Unfall = 100%.

Abstufung – Qualität

0 = Mein Arm wird für die Aktivität gar nicht verwendet.

1 = Mein betroffener Arm wurde bei der Aktivität bewegt, aber er war nicht hilfreich.

2 = Während der Aktivität war mein betroffener Arm etwas hilfreich, aber er benötigte Unterstützung vom gesunden Arm – er bewegte sich sehr langsam und mit Schwierigkeiten.

3 = Mein betroffener Arm wurde bei der Aktivität verwendet, aber er war sehr langsam und etwas anstrengend.

4 = Die Bewegungen des betroffenen Arms waren beinahe normal (nicht so schnell und präzise wie normal).

5 = Die Gebrauchsfähigkeit meines betroffenen Armes war gleich gut wie vor dem Unfall.

Tabelle 4: Upper Extremity Motor Activity Log (UEMAL) - Quantität

Aktivitäten	Aug. 2003	Okt. 2004	Juni 2005	Nov. 2006	Mai 2007
Lichtschalter betätigen	0	0,5	1,5	3	3
Schublade öffnen	0	0	1	3	2,5
Kleidung aus der Lade nehmen	0	0	1	2	2,5
Telefonhörer abheben	0	0	0	0	0
Tisch abwischen	0	0	1	2	3
aus dem Auto aussteigen	0	0	0	0	3
Kühlschrank öffnen	0	0	2	2,5	3
Türklinke, Türknopf öffnen	0	0	2	2,5	0
TV-Fernbedienung betätigen	0	0	0	0	0
Hände waschen	0	1	3	3,5	3,5
Wasserhahn aufdrehen	0	0	2	2	0,5
Hände abtrocknen	0	0,5	2	2	2,5
Socken anziehen	0	0	1,5	1,5	1,5
Socken ausziehen	0	0	1,5	1,5	1,5
Schuhe anziehen	0	0	1	1	1,5
Schuhe ausziehen	0	0	1	1	1,5
v. Stuhl aufstehen (m. Armlehne)	0	0	2,5	2,5	2,5
Stuhl heranziehen	0	0	2,5	2,5	3
m. Stuhl z. Tisch heranrücken	0	0	2,5	2,5	3
Glas, Flasche heben + trinken	0	0	0,5	1	2,5
Zähne putzen	0	0	2	2	3,5
Make-up, Rasierschaum verteilen	0	0	1,0	1	1,5
Türe m. Schlüssel aufsperrern	0	0	0	0	0
auf Papier schreiben	0	0,5	2	2	0
etwas in d. Hand tragen	0	0	1	1,5	2
Gabel, Löffel z. Essen verwenden	0	0	1,5	1,5	1,5
Haare kämmen	0	0	1	1	0
Tasse am Henkel anheben	0	0	0	1	0
Hemd zu-, aufknöpfen	0	0	2	2	0
mit Fingern essen	0	0	0	0	0
Summe	0	2,5	39	48	49

Tabelle 5: Upper Extremity Motor Activity Log (UEMAL) - Qualität

Aktivitäten	Aug. 2003	Okt. 2004	Juni 2005	Nov. 2006	Mai 2007
Lichtschalter betätigen	0	0,5	2,5	3	3
Schublade öffnen	0	0	2	2,5	3
Kleidung aus der Lade nehmen	0	0	2	2	3
Telefonhörer abheben	0	0	0	0	0
Tisch abwischen	0	0	2	2	2
aus dem Auto aussteigen	0	0	0	0	3
Kühlschrank öffnen	0	0	4	3,5	3,5
Türklinke, Türkopf öffnen	0	0	3,5	3,5	0
TV-Fernbedienung betätigen	0	0	0	0	0
Hände waschen	0	1	3,5	3,5	4
Wasserhahn aufdrehen	0	0	2,5	2,5	0,5
Hände abtrocknen	0	0,5	3,5	3,5	3
Socken anziehen	0	0	1,5	1,5	2
Socken ausziehen	0	0	1	1	2
Schuhe anziehen	0	0	1	1	2
Schuhe ausziehen	0	0	1	1	2
v. Stuhl aufstehen (m.Armlehne)	0	0	2	2,5	2,5
Stuhl heranziehen	0	0	2	2,5	3,5
m. Stuhl z. Tisch heranrücken	0	0	2	2,5	3,5
Glas, Flasche heben + trinken	0	0	2	1,5	2
Zähne putzen	0	0	2,5	2,5	3
Make-up, Rasierschaum verteilen	0	0	1,5	1,5	1,5
Türe m. Schlüssel aufsperrern	0	0	0	0	0
auf Papier schreiben	0	0,5	2,5	2,5	0,5
etwas in d. Hand tragen	0	0	1	1	2,5
Gabel, Löffel z. Essen verwenden	0	0	2	2	2
Haare kämmen	0	0	1,5	2,5	0,5
Tasse am Henkel anheben	0	0	2	2	0,5
Hemd zu-, aufknöpfen	0	0	2,5	2,5	0
mit Fingern essen	0	0	0,5	0,5	1
Summe	0	2,5	54,0	56,5	56,0

5. Ergebnisse

Interessanterweise zeigt sich eine Diskrepanz zwischen den objektiven Messwerten und den subjektiven Messkriterien. Im Folgenden werden die Ergebnisse zusammengefasst.

5.1. SF-36

Generell zeigt der Selbsteinschätzungsbogen, SF-36, einige Widersprüche auf. Die Ergebnisse deuten daraufhin, dass in beiden Bereichen, körperlicher (physischer) und geistiger (psychischer) Gesundheit, Herr U. seine gesundheitsbezogene Lebensqualität (Health Related Quality of Life = HRQOL) im Endergebnis im wesentlichen als unverändert wahrnimmt, obwohl er zwischenzeitlich eine Verbesserung angegeben hatte.

Körperliche Gesundheit

Die **körperliche Funktionsfähigkeit** empfindet Herr U. in Bezug auf anstrengende und mittelschwere Tätigkeiten immer noch stark eingeschränkt. Dies bezieht sich vor allem auf das Heben und Tragen von mittelschweren und schweren Gegenständen.

Seine **körperliche Rollenfunktion** hat sich seit seinem Unfall überhaupt nicht verändert. Die Verrichtung von Alltagsaktivitäten empfindet er nach wie vor als eingeschränkt, und die Ausübung seines Berufes ist bis heute auch nicht möglich. Die subjektive Einschätzung seines **allgemeinen Gesundheitszustandes** hat sich im ersten Jahr stark verbessert. Danach schätzte er ihn nicht mehr so positiv ein. Er fühlt sich im Vergleich zu seinen Mitmenschen weniger gesund und ist unsicher, ob sein Zustand sich nicht noch verschlechtern wird.

Besonders auffällig waren seine Einschätzungen seines **körperlichen Schmerzes**. Nach einem so gravierenden Unfall war es erstaunlich und besonders erfreulich, dass er keine Schmerzwahrnehmung mehr hatte. Er war im Verlauf von vier Jahren komplett schmerzfrei. Bei der letzten Befragung im Mai 2007 gab er im Gegensatz zu seiner bisherigen Wahrnehmung mäßige schmerzbedingte Beeinträchtigung bei der Ausübung von Alltagsaktivitäten und seines Berufes an. Hierauf werde ich in der Diskussion eingehen.

Geistige Gesundheit

Seine **emotionale Rollenfunktion** hat sich im Verlaufe der vier Jahre nicht verändert. Er empfindet nach wie vor Schwierigkeiten in seinem Alltag und im Beruf aufgrund von seelischen Problemen.

In Bezug auf seine **soziale Funktion** verhielt es sich ähnlich wie bei seinem allgemeinen Gesundheitszustand. Im ersten Jahr war eine positive Steigerung zu verzeichnen, die sich jedoch im Verlaufe der folgenden Jahre relativiert hat. Seine **psychische Befindlichkeit** beurteilt Herr U. sehr widersprüchlich. Er fühlt sich bei seiner letzten Befragung in Mai dieses Jahres weder niedergeschlagen noch ruhig und gelassen. Er ist meist glücklich, aber doch manchmal entmutigt und traurig. Am widersprüchlichsten ist sein Gefühl der **Vitalität**. Er fühlt sich ziemlich oft voller Energie aber auch ziemlich oft müde.

Wenn man die **Tendenz** zusammenfassend betrachtet, hat er anfangs eine starke Steigerung seines Gesundheitszustandes empfunden, die sich jedoch insbesondere seit Ende des letzten Jahres etwas relativiert hat.

In den nachfolgenden Diagrammen ist eine vertikale Linie eingezeichnet, um den Zeitpunkt, ab dem ein integrativer Behandlungsansatz verfolgt wurde, zu kennzeichnen. Dieser integrative Behandlungsansatz besteht darin, dass der Patient nicht der passive Empfänger von therapeutischen Maßnahmen ist, die mit den Händen des Therapeuten verabreicht werden, ist. Die Therapeutenhände ermöglichen die notwendigen biomechanischen Voraussetzungen und erteilen Information, während der zielmotorischen Handlungsintensionen des Patienten. Primäres Ziel dieser Vorgehensweise ist es dem Patienten eine motorische Strategie, die zum Handlungsziel führt, erfahren zu lassen, damit er sie langfristig selbständig ausführen kann.

SF 36

Tabelle 5: Kategorie: Allgemeine Gesundheit/Körperliche Gesundheit
SF-1) Wie würden Sie Ihren heutigen Gesundheitszustand im Allgemeinen beschreiben?

	Aug. 2003	Okt. 2004	Juni 2005	Nov. 2006	Mai 2007
1 Ausgezeichnet					
2 Sehr gut					
3 Gut			X	X	X
4 Mittelmäßig		X			
5 Schlecht	X				

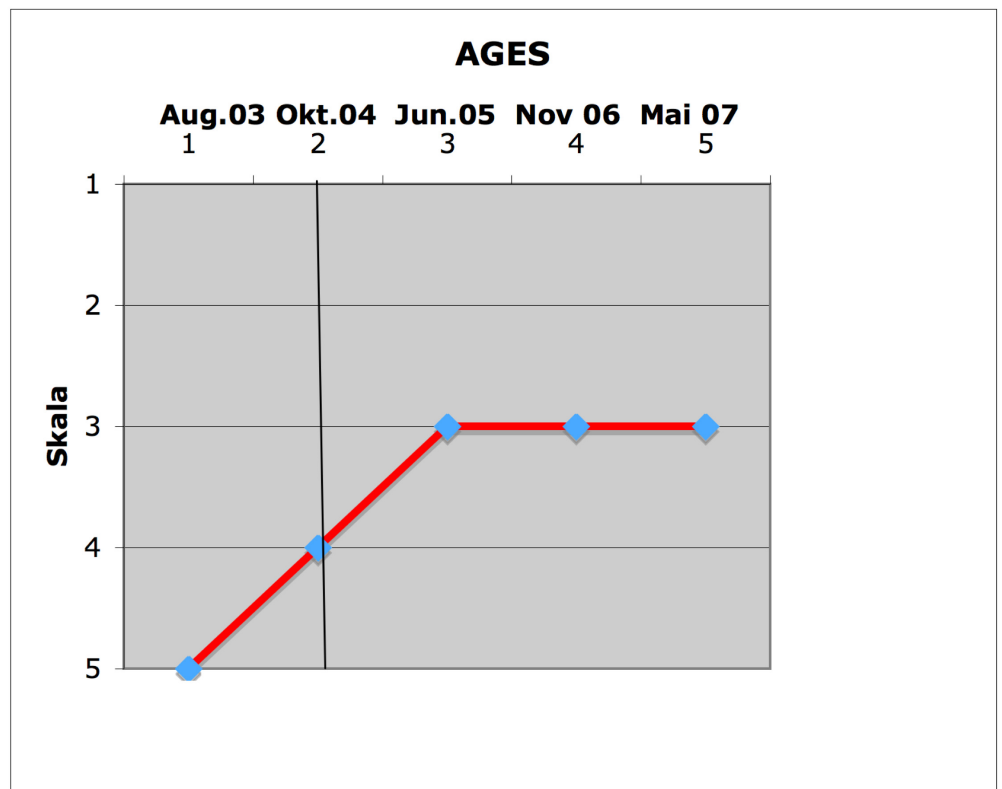


Abb. 33: Darstellung des allgemeinen Gesundheitszustandes.

Tabelle 6: Kategorie: Tendenz

SF-2) Im Vergleich zum vergangenen Jahr, wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben?

	Aug. 2003	Okt. 2004	Juni 2005	Nov. 2006	Mai 2007
1 Derzeit viel besser				X	
2 Derzeit etwas besser			X		X
3 Etwa wie vor einem Jahr		X			
4 Derzeit etwas schlechter					
5 Derzeit viel schlechter	X				

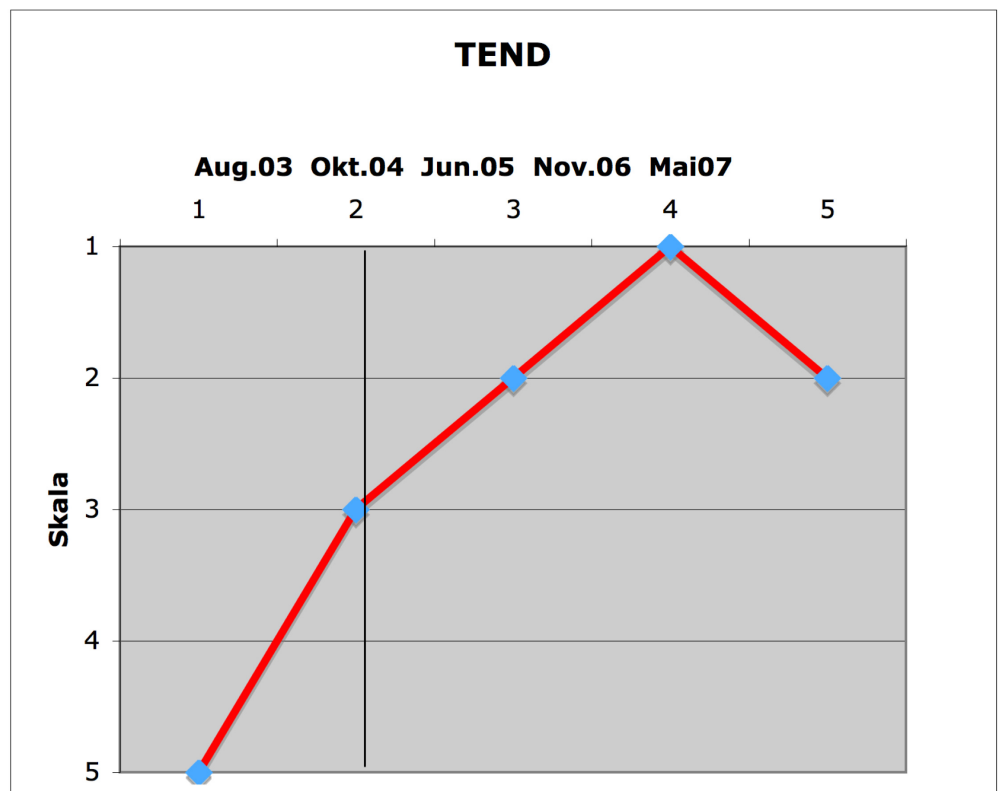


Abb. 34: Darstellung der allgemeinen Tendenz.

Tabelle 7: Kategorie: Körperfunktion/Körperliche Gesundheit
 SF-3) Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark?

	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
3a) anstrengende Tätigkeiten, z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben	Aug. 2003 Okt. 2004 Juni 2005 Mai 2007	Nov. 2006	
3b) mittelschwere Tätigkeiten, z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen	Aug. 2003 Okt. 2004 Mai 2007	Juni 2005 Nov. 2006	
3c) Einkaufstaschen heben oder tragen		Aug. 2003 Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007	
3d) mehrere Treppenabsätze steigen		Aug. 2003 Okt. 2004	Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007
3e) einen Treppenabsatz steigen		Aug. 2003	Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007
3f) sich beugen, knien, bücken	Aug. 2003	Okt. 2004 Juni 2005 Mai 2007	Nov. 2006
3g) mehr als 1 km. zu Fuß gehen		Aug. 2003	Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007
3h) mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen		Aug. 2003	Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007
3i) eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen		Aug. 2003	Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007
3j) sich baden oder anziehen	Aug. 2003 Okt. 2004	Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007	

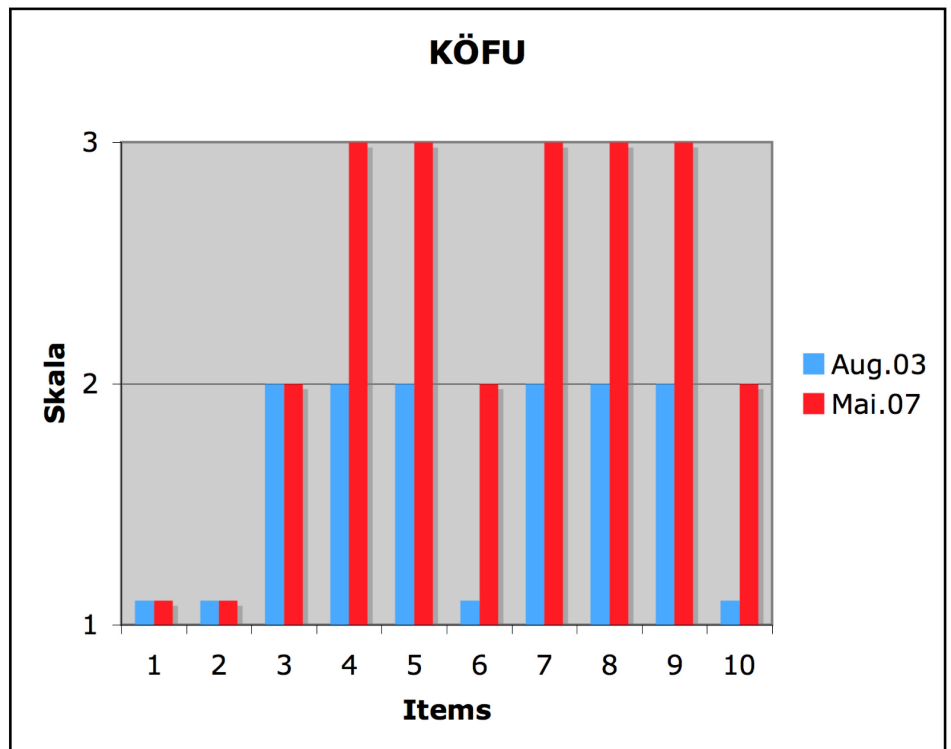


Abb. 35: Vergleich der einzelnen Items der Körperfunktion zu Beginn und bei der letzten Dokumentation.

Tabelle 8: Kategorie: Körperrolle/Körperliche Gesundheit
 SF-4) Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?

	Ja	Nein
4a) Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein.	Aug. 2003 Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007	
4b) Ich habe weniger geschafft, als ich wollte.	Aug. 2003 Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007	
4c) Ich konnte nur bestimmte Dinge tun.	Aug. 2003 Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007	
4d) Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung.	Aug. 2003 Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007	

Tabelle 9: Kategorie: Emotionale Rollenfunktion/Geistige Gesundheit
 SF-5) Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?

	Ja	Nein
5a) Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein.	Aug. 2003 Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007	
5b) Ich habe weniger geschafft, als ich wollte.	Aug. 2003 Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007	
5c) Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten.	Aug. 2003 Okt. 2004 Juni 2005 Nov. 2006 Mai 2007	

Tabelle 10: Kategorie: Soziale Funktion - Ausmaß der Beeinträchtigung/Geistige Gesundheit

SF-6) Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelische Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunde, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt?

	Aug. 2003	Okt. 2004	Juni 2005	Nov. 2006	Mai 2007
1 Überhaupt nicht			X		
2 Etwas		X			
3 Mäßig				X	X
4 Ziemlich	X				
5 Sehr					

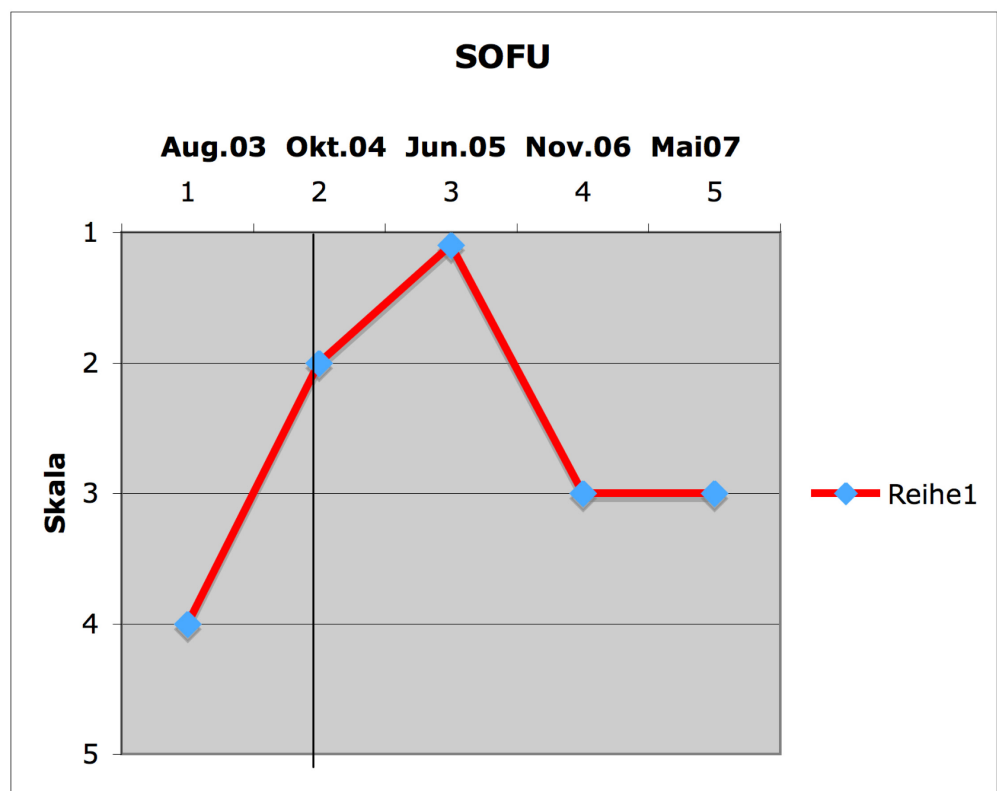


Abb. 36: Entwicklung der sozialen Funktion bezüglich des Ausmaßes der Beeinträchtigung.

Tabelle 11: Kategorie: Körperschmerz - Schmerzstärke/Körperliche Gesundheit SF-7) Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen?

	Aug. 2003	Okt. 2004	Juni 2005	Nov. 2006	Mai 2007
1 Keine Schmerzen	X	X	X	X	X
2 Sehr leicht					
3 Leicht					
4 Mäßig					
5 Stark					
6 Sehr Stark					

Tabelle 12: Kategorie: Körperschmerz - Beeinträchtigung/Körperliche Gesundheit SF-8) Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagsaktivitäten zu Hause und im Beruf behindert?

	Aug. 2003	Okt. 2004	Juni 2005	Nov. 2006	Mai 2007
1 Überhaupt nicht	X	X	X	X	
2 Ein bisschen					
3 Mäßig					X
4 Ziemlich					
5 Sehr					

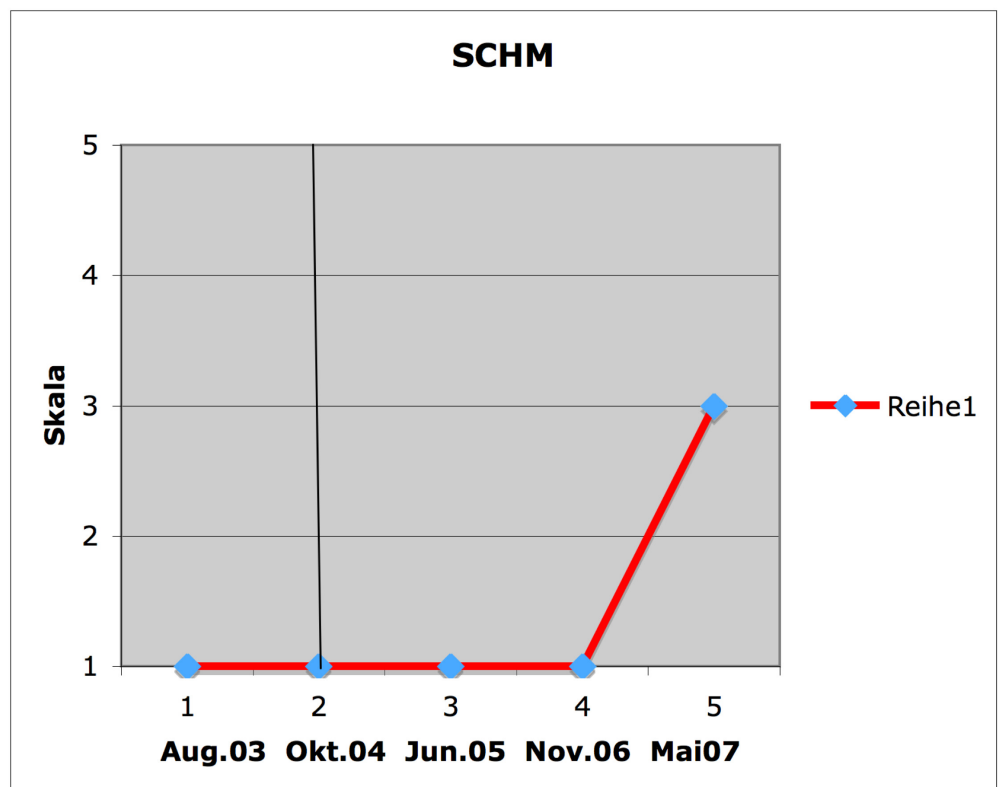


Abb. 37: Während des gesamten Therapieverlaufes hatte Herr U. keinen Schmerz. Bei der letzten Befragung gab er jedoch Schmerzen an.

Tabelle 13: Kategorie: Vitalität/Geistige Gesundheit
SF-9) Wie oft waren Sie in den letzten Wochen

	Immer 1	Meistens 2	Ziemlich oft 3	Manchmal 4	Selten 5	Nie 6
9a)...voller Schwung?		Juni 05 Nov. 06	Mai 07		Aug. 03 Okt. 04	
9e)...voller Energie?		Juni 2005 Nov. 2006	Mai 2007	Aug. 03 Okt. 04		
9g)...erschöpft?		Aug. 2003	Juni 2005 Okt. 04	Nov. 2006 Mai 2007		
9i)...müde?	Aug. 2003	Okt. 04	Juni 2005 Mai 2007	Nov. 2006		

Tabelle 14: Kategorie: Psychische Befindlichkeit/Körperliche Gesundheit
SF-9) Wie oft waren Sie in den letzten Wochen

	Immer 1	Meistens 2	Ziemlich oft 3	Manchmal 4	Selten 5	Nie 6
9b) ...sehr nervös?			Aug. 03 Okt. 04 Mai 07	Nov. 06	Juni 05	
9c) ...so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheuern konnte?			Aug. 03	Mai 07	Juni 05 Nov. 06	
9d) ...ruhig und gelassen?		Juni 05 Nov. 06		Mai 07 Okt. 04		Aug. 03
9f) ...entmutigt und traurig?			Aug. 2003	Okt. 04 Nov. 06 Mai 07	Juni 05	
9h) ...glücklich?		Juni 05 Nov. 06 Mai 07		Okt. 04	Aug. 03	

Tabelle 15: Kategorie: Soziale Funktion - Zeitfaktor/Geistige Gesundheit

SF-10) Wie oft haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelische Probleme in den vergangenen Wochen Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandten usw.) beeinträchtigt?

	Aug. 2003	Okt. 2004	Juni 2005	Nov. 2006	Mai 2007
1 Immer	X				
2 Meistens					
3 Manchmal		X			
4 Selten					X
5 Nie			X	X	

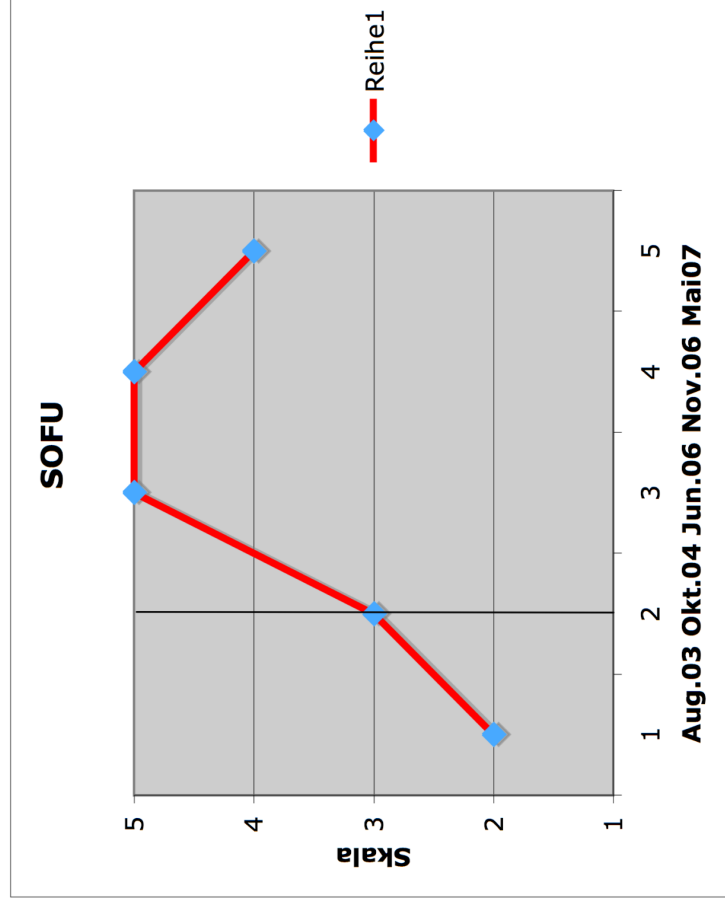


Abb. 38: Verlauf der sozialen Funktion bezüglich des Zeitfaktors.

Tabelle 16: Kategorie: Allgemeine Gesundheit/Körperliche Gesundheit
SF-11) Inwieweit treffen die der folgenden Aussagen auf Sie zu?

	Trifft ganz zu 1	Trifft weitgehend zu 2	Weiß nicht 3	Trifft weitgehend nicht zu 4	Trifft überhaupt nicht zu 5
11a) Ich schein etwas leichter als andere krank zu werden.					Aug. 03 Okt. 04 Juni 05 Nov. 06 Mai 07
11b) Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne.		Aug. 03 Okt. 04 Juni 05 Nov. 06		Mai 07	
11c) Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt.	Aug. 03 Okt. 04		Juni 05 Nov. 06 Mai 07		
11d) Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit.		Nov. 06	Juni 05 Okt. 04	Mai 07	Aug. 03

5.2. Upper Extremity Motor Activity Log (UE MAL)

S.U. hat alle Aktivitäten, sowohl in Bezug auf Quantität als auch in Bezug auf Qualität, zum Zeitpunkt seiner Entlassung (August 2003) mit 0 bewertet.

Von den 30 Alltagsaktivitäten die er beurteilen sollte, bewertete er im Mai 2007 nur noch 5 dieser Aktivitäten sowohl in Bezug auf Quantität als auch auf Qualität nach wie vor mit 0. Diese sind: einen Telefonhörer abzuheben, eine Türklinke zu betätigen, eine Fernbedienung zu benutzen, eine Tür mit einem Schlüssel zu öffnen und ein Hemd zuzuknöpfen.

Sowohl auf der Quantitätsskala als auch auf der Qualitätsskala sind für 30 Alltagsaktivitäten der oberen Extremität insgesamt 150 Punkte zu erreichen. Im Mai 2007 bewertete Herr U. die Quantität der 30 gefragten Alltagsaktivitäten mit insgesamt 49,0 Punkten (32,67%). Die Qualität bewertete er mit insgesamt 56 Punkten (37,33%). Diese Selbstbewertung bedeutet, dass er im Alltag nur unzureichend seine verletzte, aber auch seine dominante Extremität zur Ausführung von Alltagsaktivitäten nützen kann.

5.3. Vergleich: objektive Messungen, subjektive Messungen und Fotodokumentation

Im Folgenden werden einige Alltagsaktivitäten anhand von Fotos dokumentiert. Die Ergebnisse werden den passiven Gelenkmessungen und Muskelfunktionstests zugeordnet und einige davon seiner Selbsteinschätzung dieser Aktivitäten gegenübergestellt. Ab Oktober 2004 wurde zusätzlich zu den bisherigen passiven Mobilisationsmaßnahmen ein integrativer Behandlungsansatz verfolgt; Gelenkmobilisationen und Muskelaktivierungen wurden ab diesem Zeitpunkt, wie im Abschnitt 4.3. geschildert wurde, primär innerhalb realer Kontexte geübt.

Schulterfunktion



Abb. 39a: Okt. 2004; ausziehen ohne Einsatz des li. Armes.



Abb. 39b: April 2006; Einsatz des li. Armes ist möglich.

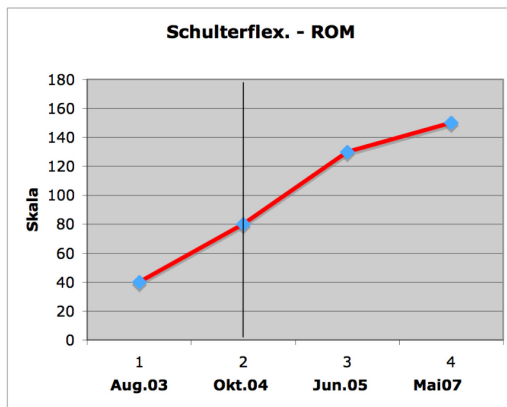


Abb. 39c: Verlauf der Zunahme an Beweglichkeit der Schulterflexoren.

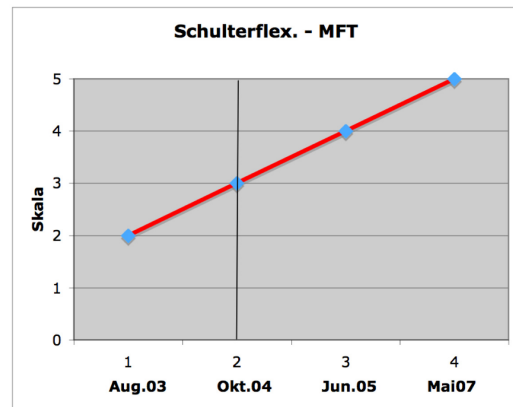


Abb. 39d: Verlauf der Zunahme an Kraft der Schulterflexoren.

Handgelenksexension



Abb. 40a: Okt. 2004)



Abb. 40b: März 2005



Abb. 40c: Okt. 2005

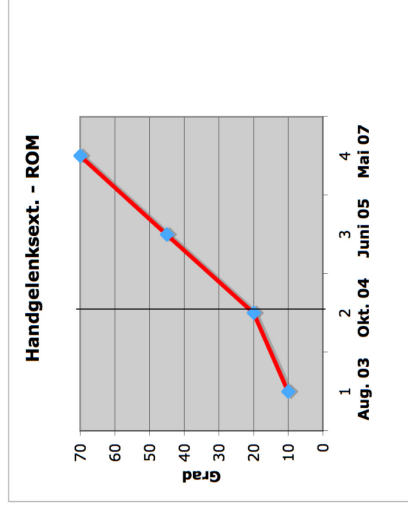


Abb. 40d: Verlauf der passiven Gelenkbeweglichkeit der Handext.

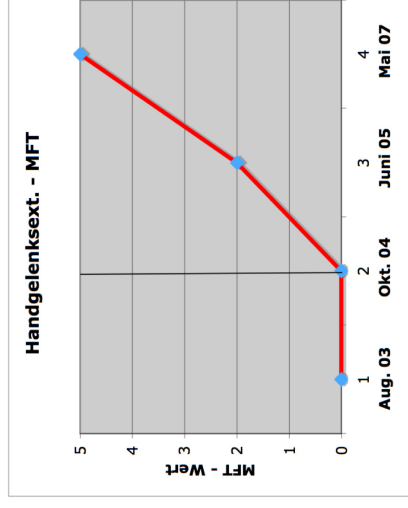


Abb. 40e: Verlauf der Muskelkraft Der Handextensoren.

Essen mit einer Gabel



Abb. 41a: Nov. 2005

Die Kraft der Daumenopposition u. Fingerflexoren ist ausreichend (s. Abb. 42a + b), die aktive Ellenbogenflexion mit Supination reicht jedoch nicht aus.



Abb. 41b: Juni 2006

Die Kraft der Daumenopposition u. Fingerflexoren ist ausreichend (s. Abb. 42a + b), die aktive Ellenbogenflexion mit



Abb. 41c: Juni 2006

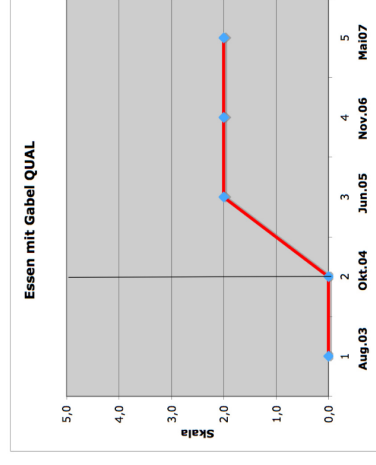
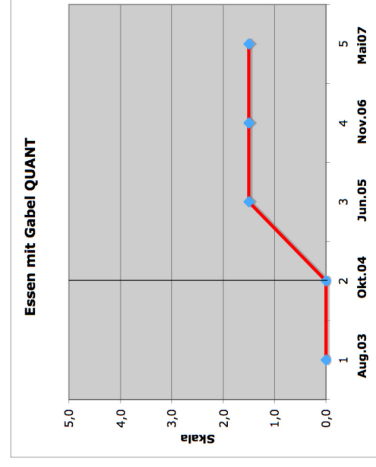


Abb. 36d+e: Verlauf der quantitativen und qualitativen Selbsteinschätzung des UEMAL

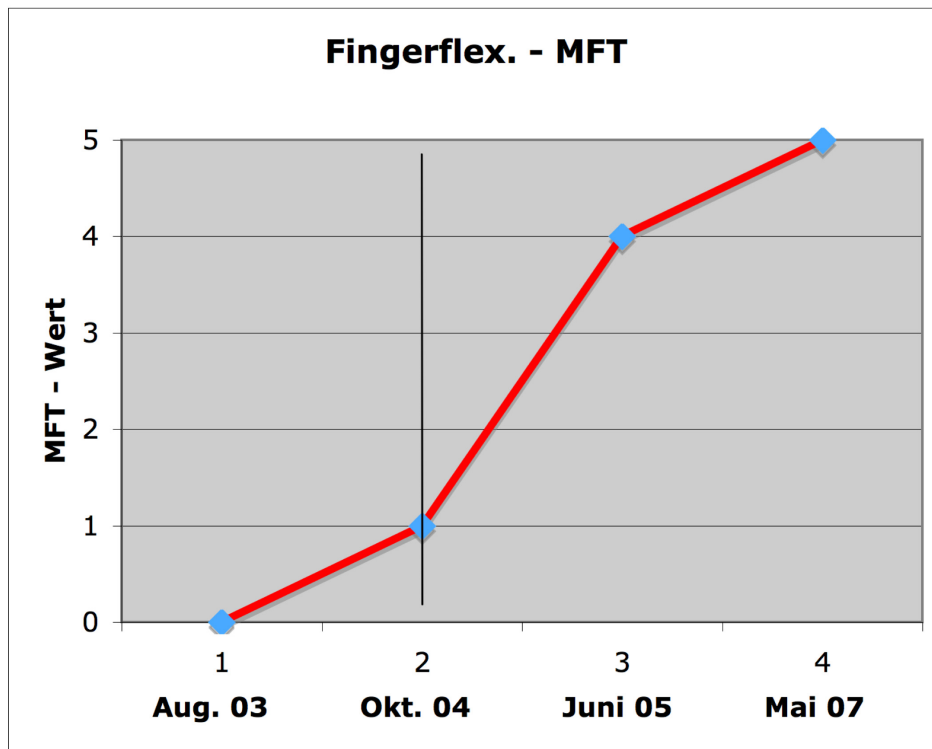


Abb. 42a: Verlauf der Muskelkraft der Fingerflexoren, li.

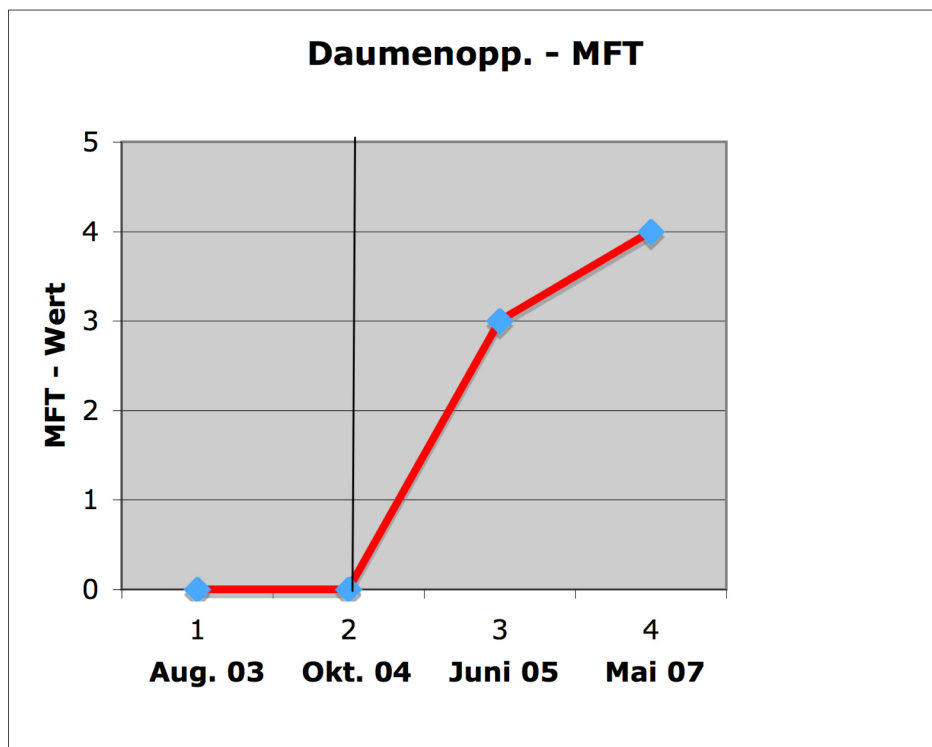


Abb. 42b: Verlauf der Kraft der Daumenopposition, li.

Glas heben und daraus trinken



Abb. 43a: Das Glas kann mit allen Fingern gehalten werden außer mit dem Kleinfinger; Nov. 2005.



Abb. 43b: ein höheres Glas kann zum Mund geführt werden, jetzt kann auch der Kleinfinger flektieren; Dez. 2006.

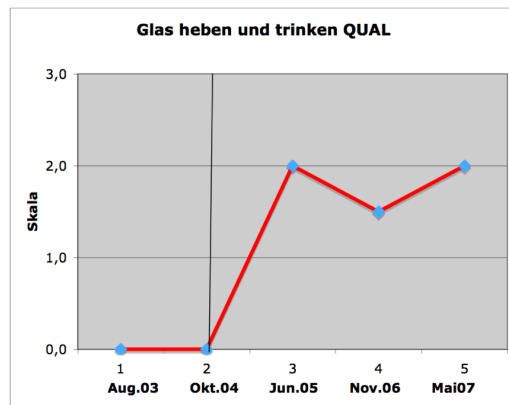
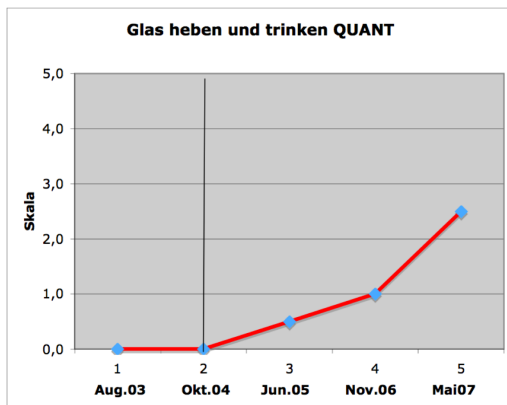


Abb. 43c+d: Verlauf der quantitativen und qualitativen Selbsteinschätzung der Aktivität, ein Glas anzuheben und daraus zu trinken, UEMAL).

Supination



Abb. 44a: S.U. greift spontan zum Umblättern; April 2006.



Abb. 44b: jetzt ist 0° Supination möglich; Dez. 2006.

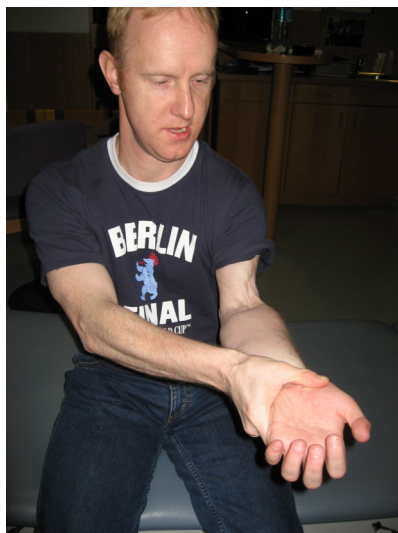


Abb. 44c: volle passive Beweglichkeit; **Abb. 44d:** trotz voller Kraft bis zur 0°-Stellung, schnappt der Unterarm in die 0°-Stellung zurück.

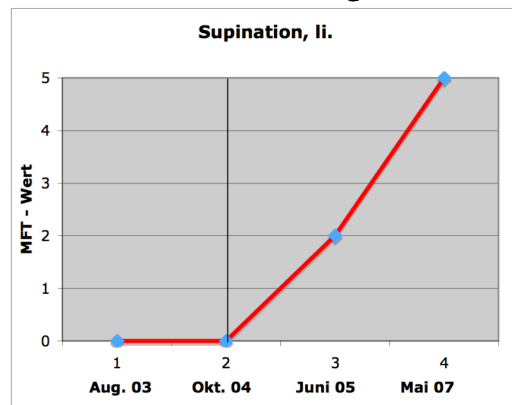
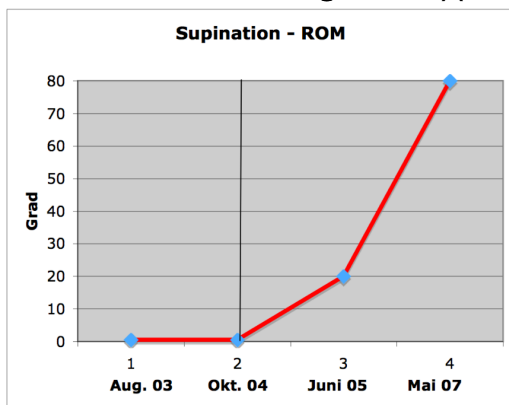


Abb. 44e+f: Verlauf der passiven Gelenkbeweglichkeit und Kraft der Unterarm-Supination.

Stuhl heranziehen



Abb. 45a: der Stuhl kann nicht angehoben werden; Nov. 2005.



Abb. 45b: mit Schwung gelingt es S.U. den Stuhl anzuheben; Dez. 2006.

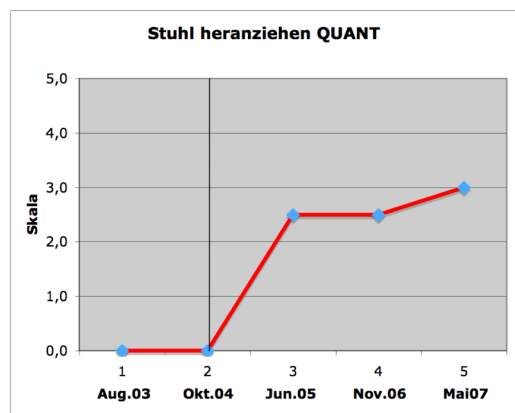
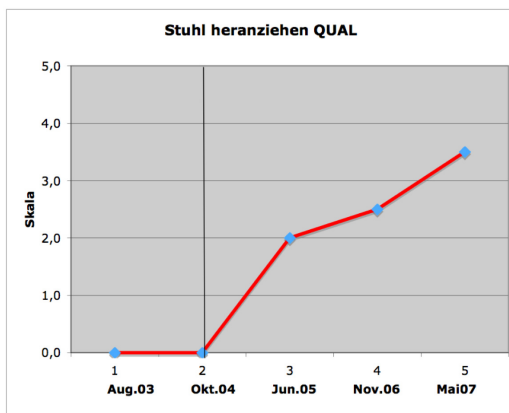


Abb. 45c+d: Verläufe der qualitativen u. quantitativen Selbsteinschätzungen, UEMAL.

Etwas in der Hand tragen



Abb. 46a: mit Hilfe; Okt. 2004.



Abb. 46b: selbständig; Okt. 2005.

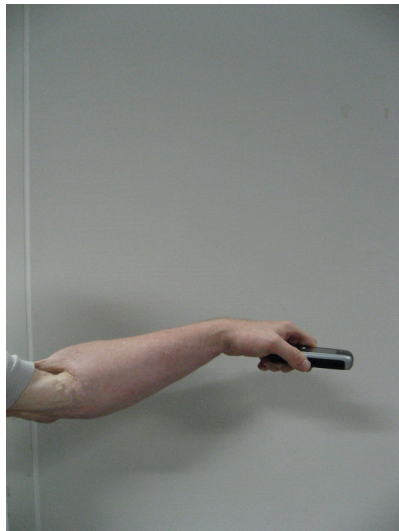


Abb. 46c: März 2007.



Abb. 46d: Mai 2007.

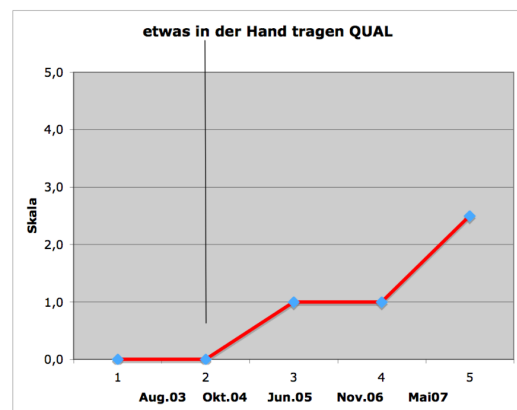
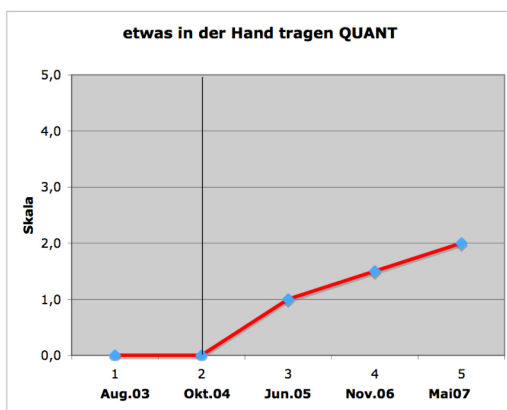


Abb. 46e+f: Verlauf der quantitativen und qualitativen Selbsteinschätzung der Fähigkeit, etwas in der Hand tragen zu können, UEMAL.

Daumenabduktion, MM. interossei dorsales



Abb. 47a: S.U. kann nicht spontan Seine Interossei u. Daumenabd. zum Auffangen d. Langhantel aktivieren; Dez. 2006.



Abb.47b: er kann Scherenbewegungen ausführen, die Schnelligkeit zum schneiden reicht jedoch noch nicht aus; Mai 2007.

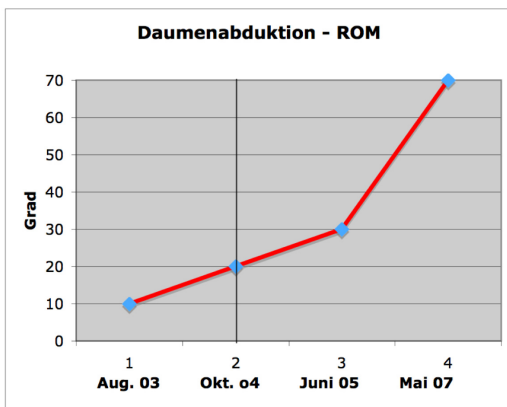


Abb. 47c: Verlauf der passiven Gelenkbeweglichkeit der Daumenabd.

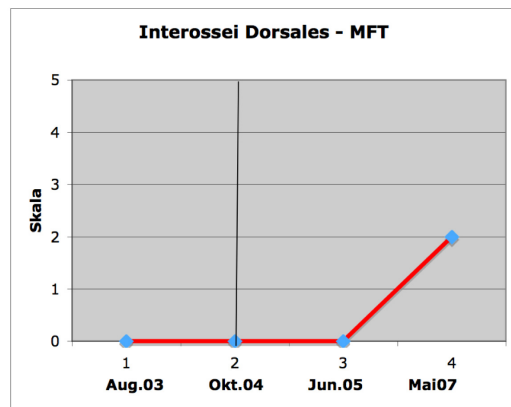


Abb. 47d: Verlauf der Kraft der Interossei dorsales, um die Hand spreizen zu können.

6. Diskussion

Der Kerngedanke der therapeutischen Vorgehensweisen dieser Arbeit ist, dass Nervenwachstum und Muskelaktivierung alleine nicht ausreichen, um alltags- und berufsspezifische Bewegungen erlernen zu können. Es wurde ein Mittelweg zwischen Hands-On und Hands-Off gewählt, der die Therapeutenhände während der Ausführung zielmotorischer Handlungen als Werkzeug verwendet. Hier werden die für die motorischen Aufgaben relevante Informationen erteilt und die notwendigen biomechanischen Gegebenheiten geschaffen. Weitere Fallstudien sind sicherlich notwendig, um Aufschluss darüber zu geben, ob ein patienten-orientierter Ansatz, der die strukturelle Behandlung innerhalb einer relevanten alltags- und berufsspezifischen Aktivität trainiert, effektiver ist, als eine Vorgehensweise die, die strukturelle Behandlung eher als Vorbereitung für Alltags- und Berufsaktivitäten sieht. Diese könnten auch Aufschluss darüber geben, ob eine reine Hands-Off -Vorgehensweise effektiver ist als die hier vorgestellten Vorgehensweisen. Aufgrund der Tatsache, dass unterschiedliche Therapeuten mit unterschiedlichen Behandlungsansätzen (passive Mobilisation mit Hands-On, Kraftübungen ohne Kontext und der in dieser Arbeit beschriebene integrative Behandlungsansatz) gearbeitet haben, können aus dieser Fallstudie keine allgemeingültigen Rückschlüsse gezogen werden.

Beruhend auf den Ergebnissen dieser Fallstudie und ähnliche Erfahrungen, wie sie kurz in dieser Arbeit am Beispiel des Zahnarztes geschildert wurden, scheint die hier vorgestellte Behandlungsmethodik jedoch effektiv zu sein (Horst, 2001, 2007). Um die Effektivität der in dieser Arbeit vorgestellten Vorgehensweisen nachzuweisen, könnte eine künftige Studie Patienten mit einer Alltagsproblematik einschließen, die sich auf einem Behandlungsplateau befinden. Bestätigt sich die hier aufgezeigte Hypothese, sollte nach einer Behandlungssequenz auf der Grundlage des alltagsorientierten Trainings eine positive Weiterentwicklung vom Plateau aus stattfinden.

Die Evaluierung der Ergebnisse deuten daraufhin, dass Herr U. in den 4 Jahren Rehabilitation sowohl auf der Körperstrukturebene als auch auf der

Alltagsaktivitäts- und Partizipationsebene bedeutende Fortschritte gemacht hat. Objektiv messbare Kriterien, wie passive Gelenkbeweglichkeit und Muskelkraft, haben sich nachweislich verbessert. Bimanuelle Alltagsaktivitäten, die wenig feinmotorische Steuerung und sensorische Rückkopplung bedürfen, sind auch sehr gut möglich. In seinem Alltag ist Herr U. komplett selbständig, fährt wieder Auto und ist in der Lage, am sozialen Leben teilzunehmen. Trotz dieser erfreulichen Entwicklung sind der neurologischen und traumatologischen Rehabilitation Grenzen gesetzt. Einige Alltagsaktivitäten, wie das Essen mit der dominanten Hand, sind nach wie vor nicht möglich. Obwohl er über Kraft verfügt und passive Beweglichkeit aufweist, kann er eine vollständige Supination nicht aktiv ausführen. Möglicherweise sind aufgrund der Tatsache, dass sein Oberarm 5 cm. verkürzt werden musste, um die Enden des N. medianus zusammenzunähen, die biomechanische Voraussetzungen hierfür nicht gegeben. Der M. biceps brachii hat jetzt eine veränderte Krafterwirkung auf den Unterarm. Auch schnelle ballistische Bewegungen wie das Hämmern sind nicht möglich, obwohl er über Kraft in seinen Handgelenksexpressoren und Fingerflexoren verfügt. In der Therapie wurde primär auf die Haltefähigkeit seiner Arm- und Handmuskulatur eingegangen, weil dies sowohl für grobmotorische Haltefunktionen, als auch für seine berufliche Tätigkeit wichtig ist. Erst später wurden die Defizite der Frequentierung der Motoneurone erkannt. Retrospektiv hätte auf dieses Problem früher eingegangen werden müssen. Die Tatsache, dass er jetzt Schwierigkeiten mit schnellen ballistischen Bewegungen hat, verdeutlicht jedoch, wie wichtig ein aufgabenspezifischer Behandlungsansatz ist. Womöglich wären diese Aktivitäten heute besser zu bewerkstelligen, wenn sie früher geübt worden wären.

7. Schlussfolgerungen

Auf der Partizipationsebene kann Herr U. zwar wieder Autofahren, aber seinen Beruf als Kfz-Fachberater kann er nicht mehr ausführen. Für einen Außenstehenden mag das vielleicht nicht so tragisch klingen. Schließlich gibt es auch andere Berufe, und er ist auch noch relativ jung. Aber wenn

ein Mensch so zielstrebig 4 Jahre auf dieses Ziel hingearbeitet hat, ist es verständlich, wie groß die Enttäuschung zum Schluss sein muss. Im Juni 2007 ist ein Rentengutachten durchgeführt worden, in dem eine 70-prozentige Berufsunfähigkeit festgestellt wurde. Interessanterweise hat er sich selbst ziemlich präzise eingeschätzt. Beim Ausfüllen des Motor-Activity-Logs hat er eine quantitative Zunahme der befragten Aktivitäten von 32,67% und eine qualitative Zunahme von 37,32% angegeben. Möglicherweise führt dieser Erkenntnis dazu, dass er sich bei der letzten Befragung in den Selbsteinschätzungsbögen im Mai dieses Jahres schlechter bewertet, als bei den vorherigen Befragungen.

Die außerordentliche Motivation von Herrn U. nach diesem tragischen Unglück war im Verlaufe der Rehabilitation sehr positiv aufgefallen. Sein Wille, seinen Beruf wieder aufzunehmen, und die Art und Weise, wie er mit den Folgen seines Unfalls umgegangen ist, sind bemerkenswert.

Seine heutige Einschätzung seiner physischen und psychischen Befindlichkeit nach der SF-36 ist jedoch nicht mehr so positiv wie in den letzten Jahren. Bei der letzten Befragung gab er erstmalig an, dass Schmerzen ihn beeinträchtigen, obwohl Schmerz zuvor nie ein Thema war.

Hierfür kommen viele Gründe in Frage. Die heutige Realität, dass er sich beruflich neu orientieren muss, verändert jedenfalls die Gestaltung seines Lebens drastisch. In den letzten 4 Jahren war ein Grossteil seines Tagesinhaltes mit der An- und Abreise und der Gestaltung der Teilnahme an seinen therapeutischen Einheiten bestimmt. Ich verwende hier das Wort „Teilnahme“ sehr bewusst. Die Teilnahme an seinem bisherigen Beruf ist ihm jetzt verwehrt. Sein Chef hat ihm seinen alten Arbeitsplatz 4 Jahre lang freigehalten, um jetzt letztendlich die Kündigung auszusprechen.

Jetzt ist die Zeit für eine berufliche Umorientierung gekommen. Hierfür wird er sowohl Zeit als auch Energie, sowie die Unterstützung anderer Berufsgruppen benötigen. Eine psychotherapeutische Begleitung wäre hier sicherlich hilfreich. Sie wäre auch zu einem früheren Zeitpunkt nicht nur sinnvoll, sondern auch notwendig gewesen, um ihn behutsam auf die Möglichkeit vorzubereiten, dass er seinen vorhergehenden Beruf nicht

wieder aufnehmen wird. Die existentiellen Ängste, die mit dieser Erkenntnis einhergehen, begünstigen die mögliche Chronifizierung seines Zustandes.

Die Tatsache, dass jetzt das Symptom Schmerz hinzugekommen ist, könnte möglicherweise dazu führen, dass die Physiotherapie mit derselben Intensität wie bisher fortgesetzt wird. Da Herr U. selbst einen Zusammenhang zwischen seinem Schmerzempfinden und dem vermehrten Gebrauch seiner linken Extremität sieht, ist anzunehmen, dass dieses Symptom wieder abnehmen wird, wenn er mehr Kraftausdauer und Geschicklichkeit bei der Ausübung seiner Alltagsaktivitäten hinzugewinnt. Die anfängliche Phase des „Behandeltwerdens“ wurde bereits in Oktober 2004 von einer Phase abgelöst, in der Herr U. mehr und mehr selbst „handelte.“ Jetzt haben die Therapeuten die Verantwortung, Herrn U. seine bisher gewonnene Selbständigkeit vermehrt erleben zu lassen und sich eher in die Beraterrolle zurückzuziehen. Die bisherigen Parameter sollten weiterhin dokumentiert werden, damit sichergestellt werden kann, dass keine Verschlechterung eintritt. Hierfür ist jedoch keine Dauertherapie mehr nötig. Eine der zentralen Aufgaben der neurologischen Rehabilitation ist es, den Patienten auf sein „normales“ Leben wieder vorzubereiten und seine sozialen Kontakte zu fördern (Fries et al., 2007). Seine sozialen Kontakte erlebte er in den letzten 4 Jahren größtenteils im Rehazentrum. Bei der letzten Befragung in Mai 2007 beurteilte er seine soziale Rollenfunktion mit „mäßig.“ Jetzt liegt es in der Verantwortung der behandelnden Personen und vor allem seiner eigenen Person, seine aktive Teilnahme am sozialen Leben zu fördern und zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

Quellen

- Altschuler E, Wisdom S, Stone L, Foster C, Ramachandran VS (1999). *Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror*. Lancet; 353: pp.2035 – 2036.
- Andersen JL, Schjerling P, Saltin B (2000). *Muscles, Genes and Athletic Performance*. Scientific American; 283:9: pp.30-37.
- Beradelli AM, Hallett JC, Rothwell R, Agostino M, Manfredi PD, Thompson CD, Marsden CD (1996). *Single-joint rapid arm movements in normal subjects and in patients with motor disorders*. Brain;119: pp.661-664.
- Bernstein N (1967). *The coordination and regulation of movement*. Pergamon, London.
- Berry MM, Standring SM, Bannister LH (1995). *Nervous System*. In: Bannister LH, Berry MM, Collins P, Dyson M, Dussek JE, Ferguson MWJ, eds. *Gray's Anatomy*, 38th ed. New York: Churchill Livingstone.
- Bliss TVP, Lomo T (1973). *Long-Lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path*. J Physiol (London); 232: pp.331-356
- Buccino G, Lui F, Canessa N, Patteri I, Lagravinese G, Benuzzi F, Porro CA, Rizzolatti G (2004). *Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonspecifics: an fMRI study*. J Cogn Neurosci, Jan-Feb; 16(1): pp.114-26.
- Burnett MG, Zager EL (2004). *Pathophysiology of peripheral nerve injury: a brief review*. Neurosurg focus 16 (5).
- Butler D (2000). *The Sensitive Nervous System*. Adelaide: Noigroup Press.
- Coggeshall RE, Coulter JD, Willis WD (1974). *Unmyelinated axons in the ventral roots of the cat lumbosacral enlargement*. Journal of Comparative Neurology; pp.153: pp.39-58.
- Damasio A (1999). *The Feeling of What Happens*. San Diego, Harcourt Brace + Co.
- Davies P (1986). *Hemiplegie*. Heidelberg, Springer: 88.
- Dietz V, Berger W (1983). *Normal and impaired regulation of muscle stiffness in gait: a new hypothesis about muscle hypertonia*. Experimental Neurology; 1983;79: pp.680-687.
- Domisse GF (1994). ed. *The blood supply of the spinal cord and the consequences of failure*. In: Grieve's Modern manual therapy, 2nd ed. Edinburgh; Churchill Livingstone.
- Edelmann GM (1987). *Neural Darwinism*. New York; Basic Books.
- Förderreuther S (2004). *Klinische, elektrophysiologische und bildgebende Befunde bei Patienten mit komplexem regionalen Schmerzsyndrom (CRPS)*. Klinische Neurophysiologie. 2004;4:pp.235--240.
- Gazzola V, Aziz-Zadeh L, Keysers C (2006). *Empathy and the somatotopic auditory mirror system in humans*. Curr Biol; Sept. 19;16: pp. 802-4.
- Ghez C, Krakauer J 2000. *The Organisation of Movement*. In: Kandel E, Schwarz JH, Jessell TM, eds. Principles of Neural Science; p.656 + p. 668. McGraw Hill, New York.
- Ghez C, Thach WT (2000). *The Cerebellum*. In: Kandel E, Schwarz JH, Jessell TM, eds. Principles of Neural Science. New York: McGraw Hill.
- Goldspink G, Williams P, Simpson H (2002). *Gene expression in response to muscle stretch*. Clin Orthop.;403: pp.146-152.
- Goldspink G (1994). *Zelluläre und molekulare Aspekte der Trainingsadaptation*

- des Skelettmuskels*. In: Komi PV. Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin. Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Graziano et al. (2002), In: Riehle A, Vaadia E, eds. *Motor Cortex in Voluntary Movements*, 171, CRC Press, Boca Raton.
- Guanche C, Knatt Th, Solomonow M, Lu Y, Baratta R (1995). *The synergistic action of the capsule and the shoulder muscles*. Am Journ Sports Med.; 23: pp.301-306.
- Hebb D (1949). *The Organisation of Behavior*. Wiley, New York.
- Hislop H, Montgomery J (1995): *Daniel's and Worthingham's Muscle testing, 6th Ed.*, W.B. Saunders, Philadelphia.
- Holst E von (1954). *Relations between the central nervous system and the peripheral organs*. British Journ of animl behaviour. 2, pp. 89-94.
- Horak F, Nashner L (1986). *Central programming of postural movements*. Journal of Neurophysiology; 55: pp.1369--1381.
- Horst R (2001). *Motorisches Lernen*. In: van den Berg F. Angewandte Physiologie für Physiotherapeuten, Bd. III, Training, Testverfahren, Therapie. Stuttgart, Thieme.
- Horst R (2003). *Ungenützte Möglichkeiten der Manuellen Therapie und der Propriozeptiven neuromuskulären fazilitation (PNF)*. Neuromuskuläre Arthro-ossäre Plastizität. Fisio Active; 10.
- Horst R (2005). *Motorisches Strategietraining und PNF*. Thieme, Stuttgart.
- Horst R (2007). *Neuromuskuloskeletal plasticity of the craniomandibular region: basic principles and recommendations for optimal rehabilitation*. In: von Piekartz HJM, Craniofacial pain. Elsevier.
- Hufschmidt A, Mauritz KH (1985). *Chronic transformation of muscle in spasticity: a peripheral contribution to increased tone*. Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry.;48: pp.676-685.
- Iacoboni M, Molnar-Szakacs I, Gallese V, Buccino G, Mazziotta JC, Rizzolatti G (2005). *Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system*. Plos Biol.: March 3 (3); e79.
- Iacoboni M, Dapretto M (2006). *The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction*. Nat Rev Neurosci, Dec., 7 (12); pp. 942-51.
- Jeannerod (1990). *The Neural and Behavioral Organisation of Goal – Directed Movements*. Clarendon Press, Oxford.
- Johnson A, Judson L, Morris D, Uswatte G, Taub E (2004). *The reliability and validity of the 45-item upper extremity motor activity log*. Paper presented at the American Physical Therapy Association, Combined Sections Meeting, Nashville.
- Kandel E (1991). *Cellular Mechanisms of learning and the biological basis of individuality*. In: Kandel E, Schwarz JH, Jessell TM, eds. Principles of Neural Science, 3rd ed. Norwalk, CT: Appleton and Lange; pp.1009-1031.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM (1996). *Einführung in den Neurowissenschaften*. Akademischer Verlag Spektrum, Heidelberg.
- Kandel ER (2000). From nerve cells to cognition. In: Kandel E, Schwarz JH, Jessell TM, eds. Principles of Neural Science; p. 393. New York, McGraw Hill.
- Kelso JAS, Holt KJ (1980). Exploring a vibratory systems analysis of human movement production. J Neurophysiol.;43:pp.1183-1196.
- Keysers C, Gazzola V (2006). *Towards a unifying neural theory of social cognition*. Prog Brain Res; 156: pp. 379-401.
- Knott M, Voss DE (1956). Proprioceptive neuromuscular facilitation ; p.1. New

- York, Hoeber- Harper.
- Kots YM, Syroegin AV (1966). *Fixed set of variants of interactions of the muscles to two joints in the execution of simple voluntary movements*. Biophysics 11; pp. 1212-1219.
- Lashley KS (1917). *The accuracy of movement in the absence of excitation from The moving organ*. The American Journ of Physiol, 43; 169-194
- Le Doux J (1996). *The Emotional Brain*. New York: Touchstone;.
- Le Doux J (1999). *Das Gedächtnis für Angst*. In: Spektrum der Wissenschaft Dossier. Stress, „Neurobiologie der Angst“.; 3: pp.16--23.
- Leroi-Gourhan A (1995): *Hand und Wort*. Suhrkamp Wiss., Frankfurt; S. 102.
- Maitland GD (1994). *Manipulation der Wirbelsäule*. Springer, Heidelberg.
- McDowell I, Nevell C (1996). *Measuring Health: A guide to rating scales and questionnaires*. New York, Oxford University Press.
- Merzenich MM, Kaas JH (1982). *Reorganisation of the mammalian somatosensory cortex following peripheral nerve injury*. Trends in Neurosciences; pp. 434-436.
- Merzenich MM, Nelson RJ, Stryker MP, Shoppmann A, Zook JM (1984). *Somatosensory cortical map changes following digital amputation in adult monkey*. Journal comp. Neurology;224:591--605.
- Muellbacher FA, Richards C, Ziemann U, Wittenberg, Weltz D, Boroojerdi B, Cohen L, Hallett M (2002). *Improving hand function in chronic stroke*. Arch Neurology.;59: pp.1278--1282.
- Moore JC (1987). *Neuroanatomical structures subserving learning and memory*. Fifteenth Annual Sensimotor Integration Symposium, unpublished manual, San Diego.
- Morasso P (1981). *Spatial control of arm movements*. Exp Brain Res; 42: pp.223-227.
- Mulder T (2006): *Das adaptive Gehirn*. Thieme, Stuttgart; pp.54-57.
- Netter FH (1987). The Ciba Collection of Medical Illustrations, Vol 8, *Musculoskeletal System, Part 1, Anatomy, Physiology and Metabolic Disorders*. Summit, New Jersey: CIBA-Geigy Collection.
- Ojemann G (1983). *Electrical Stimulation and the neural biology of language*. In: Behavioral and Brain science 6; 221-226.
- O'Dwyer NJ, Ada L (1996), Neilson PD. *Spasticity and muscle contracture following stroke*. Brain.; 119:1737--1749.
- Pearson K, Gordon J (2000). *Spinal Reflexes*. In: Kandel ER, Jessell JH, Schwartz TM, eds. Principles of Neural Science; 714, 722. New York: McGraw-Hill.
- Pollack RG (2000). *Role of Shoulder Stabilization Relative to restoration of Neuromuscular Control and Joint Kinematics*. In: Lephart SM, Fu FH, eds. Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability. New York, Human Kinetics.
- Polit A, Bizzi E (1978). *Processes controlling arm movements in monkeys*. Science; 201: pp.1235--1237.
- Polit A, Bizzi E (1979). *Characteristics of motor programs underlying arm movements in monkeys*. J Neurophysiol.;42:183--194.
- Levi-Montalcini R (1987). *The nerve growth factor 35 years later*. Science 237: pp.1154-1162
- Ramachandran VS (1993). *Behavioral and magnetoencephalographic correlates of plasticity in the adult human brain*. Proc Natl Acad Sci. USA; 90:pp.10413-10420.
- Ramachandran VS. *Zum zweiten Male amputiert*. Geo. 1999;4:pp.192--194.
- Ramachandran VS (2005). *Eine kurze Reise durch Gehirn und Geist*: 135. Rowohlt, Reinbek.

- Rocobado M, Iglash A, (1991). *Maxillofacial pain, musculoskeletal approach*. J.B. Lippincott, Philadelphia.
- Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L (1996). *Premotor cortex and the recognition of motor actions*. Brain Res Cogn Brain Res., March 3(2); pp. 131-41.
- Rothwell J (1994). *Control of Human Voluntary Movement*. London, Chapman and Hall.
- Sathian K, Greenspan AI, Wolf SL (2000). *Doing it with mirrors.: a case study of a novel approach to rehabilitation*. Neurorehabilitation and Neural Repair 14; p. 7376.
- Sato A, Schmidt RF (1973). *Somatosympathetic Reflexes: Afferent Fibers: Afferent Fibers, Central Pathways, Discharge Characteristics*. Physiological reviews; 53: pp. 916--947.
- Schomacher J (2001): *Diagnostik und Therapie des Bewegungsapparates in der Physiotherapie*, Thieme, Stuttgart: p. 12.
- Seddon HJ (1943). *Three types of nerve injury*. Brain 66: 237-288.
- Sherrington C (1947). *The Integrative Action of the Nervous system*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Spitzer M (2002). *Lernen*. Heidelberg: Spektrum.
- Squire LR, Kandel ER (1999). *Gedächtnis*. Die Natur des Erinnerns. Spektrum, Heidelberg.
- Stadnyk K, Caldere J, Rockwood K (1998). *Testing the measurement properties of the short form-36 in a frail elderly population*. Journ Clin Epidemiol 51; pp. 827-835.
- Stevens J, Stoykov ME (2003). *Using motor imagery in the rehabilitation of hemiparesis*. Archives of Physical and Medical Rehabilitation; 84: pp. 1090-1092.
- Streek U, Frocke J, Klimpel L, Noak D (2006): *Manuelle Therapie und komplexe Rehabilitation 1. Band 1: Grundlagen, obere Körperregionen*, Springer, Berlin.
- Sunderland S, Bradley KC (1950). *Endoneurial tube shrinkage in the distal segment of a severed nerve*. Journ Comp Neurol 93: pp.411-420.
- Sunderland S (1978). *Nerves and nerve injuries*, ed.2. London, Churchill Livingstone.
- Sunderland S (1990). *The anatomy and physiology of of nerve injury*. Muscle Nerve 13; pp. 771-784
- Tabary JC, Tabary C, Tardieu G et al. (1972). *Physiological and structural changes in the cat soleus muscle due to immobilisation at different lengths by plaster casts*. Journal of Physiology; 224: pp.231--244.
- Taub E (1980). *Somatosensory deafferentiation in research with monkeys: implications for rehabilitation medicine*. In: Behavioural Psychology and Rehabilitation Medicine 8ed. LP Ince. Baltimonre MD: Williams and Wilkins:371—401.
- Taub E, Miller NE, Novack TA, Cook EW, Fleming WC, Nepomuceno CS, Connell JS, Crago JE (1993). *Technique to improve chronic motor deficit after stroke*. Arch Phys Med Rehab;74:pp. 347--354.
- Turvey MT (1977). *Preliminaries to a theory of action with reference to vision*. In: Shaw R, Bransford J, eds. Perceiving, Knowing Acting; pp. 211-265. Erlbaum, Hillsdale.
- Umilta MA, Kohler E, Gallese V, Fogassi L, Fadiga L, Keysers C, Rizzolatti G (2001). *I know what you are doing. A neurophysiological study*. Neuron, Juli 19; 31 (1): pp. 155-65.
- Uswatte G, Taub E, Morris DM, Vignolo M, & McCullough K (2005). Reliability

- and validity of the upper-extremity Motor Activity Log-14 for measuring real-world arm use. *Stroke*; 36: pp. 2496-2499.
- Uswatte G, Taub E, Morris D, Light K, & Thompson P (2005) Reliability and validity of the Motor Activity Log-28 for measuring daily arm use after stroke. Manuscript submitted for publication.
- Van den Berg F (2000). *Angewandte Physiologie für Physiotherapeuten*, Bd. 1.-3. Thieme, Stuttgart.
- Wagner C (1988). *The pianist's hand: anthropometry and Biomechanics*. In: *Ergonomics* 31: pp. 97-131.
- Weinmann M (1999). *Hand und Hirn*. In: *Die Hand*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg; pp. 9-59.
- White AA, Panjabi MM (1990). *Clinical biomechanics of the spine*. Lippincott, Philadelphia.
- Wilmore JH, Costill DL (1994). *Physiology of sport and exercise*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Williams PE, Goldspink G (1978). *Changes in sarcomere length and physical properties in immobilized muscle*. *Journal of Anatomy*; pp.127:459--468.
- Witzmann FA, Kim DH, Fitts RH (1982). *Hindlimb immobilisation: length-tension and contractile properties of skeletal muscle*. *Journal of Applied Physiology*; 53: pp.335--345.
- Woldag H, Waldmann G, Heuschkel G, Hummelsheim H (2003). *Is the repetitive training of complex hand and arm movements beneficial for motor recovery in stroke patients?* *Clin Rehabil*;17;9: pp.723--730.
- Yue G, Cole KJJ (1992). *Strength increases from the motor program: comparison of training with maximum voluntary and imagined muscle contractions*. *Journal of Neurophysiology*;67:1114--1123.

Danksagung

Bedanken möchte ich beim Physio-team des ambulanten Rehabilitationszentrums an der Charité, Campus Virchow Klinikum, in Berlin unter der Leitung von Tobias Billert.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Stefan Hesse von der Klinik Berlin der die elektrophysiologischen Untersuchungen ausgewertet hat. Bei meinem Betreuer und Dozent der Donau-Universität Krems, Prof. Dr. Wolf Müllbacher, bedanke ich mich ganz herzlich für seine konstruktive Vorschläge und prompte Unterstützung bei der Beantwortung meiner Fragen. Für die Geduld von Dr. Bietz und meiner Kollegin, Minettchen Herchenröder, die die sprachlichen Korrekturen vorgenommen haben, möchte ich mich ebenfalls außerordentlich bedanken. Nicht zuletzt gilt mein Dank Herrn S.U. von dem ich sehr viel lernen durfte. Sein positiver Wille und Fähigkeit nach vorne zu schauen sind bemerkenswert.