# Ungenützte Möglichkeiten der manuellen Therapie und der proprioceptiven neuromuskulären Fazilitation (PNF)
# Neuromuskuläre Arthro-ossäre Plastizität (N.A.P.®)

*Renata Horst*

## Schlüsselwörter: Plastizität, motorisches Lernen, Hands on vs. Hands off.

Im folgenden Artikel werden die klassische manualtherapeutische Behandlung und die proprioceptive neuromuskuläre Fazilitation (PNF) diskutiert. Funktionsverbesserung bedeutet, dass eine Person lernt, eine bestimmte zielorientierte Aufgabe in einer relevanten Umweltsituation möglichst selbstständig, das heisst nach ihren individuellen Potentialen, auszuführen. In diesem Zusammenhang wird ein integratives neuro-orthopädisches Konzept zur Förderung von motorischen Strategien im Alltag vorgestellt (Neuromuskuläre Arthro-ossäre Plastizität, N.A.P.®). Innerhalb dieses Konzepts erfolgt die strukturelle Behandlung, sei es die Mobilisation oder Stabilisation der Gelenke oder die Fazilitation neuromuskulärer Aktivitäten immer unter der zielorientierten Willküraktivität des Patienten. Ziel ist es, nach dem individuellen Befund des Patienten die größtmögliche Selbstständigkeit und bestmögliche Lebensqualität auf der Aktivitäts- und Partizipationsebene zu fördern.

# Einführung

Physiotherapeutische Behandlungskonzepte beanspruchen alle für sich das Ziel, Funktionsverbesserung für den Patienten zu erreichen. Zunächst muss der Begriff „Funktion“ etwas genauer definiert werden. Die „Funktionsuntersuchung der Hüfte“, wie es in der manuellen Therapie gelehrt wird, beinhaltet die Beurteilung der aktiven und passiven Beweglichkeit der Hüftflexion, -extension, -abduktion, -adduktion, -innenrotation, -aussenrotation mit Endgefühl. Die meisten Untersuchungsmethoden und Behandlungsmassnahmen werden auf struktureller Ebene im Liegen durchgeführt [1]. „Muskelfunktionstests“ beurteilen zum Beispiel den M. quadriceps in der offenen Kette im Sitzen (MFT 3-5) oder in Seitenlage (MFT 2) [2].

Die Frage ist, ob Funktion nicht vielmehr die Fähigkeit beinhaltet, eine zielmotorische Handlung durchzuführen wie zum Beispiel sich auf einem Stuhl hinzusetzen. Hierbei muss ausreichende Hüftflexionsbeweglichkeit vorhanden sein und diese muss durch exzentrische Extensorenaktivität kontrolliert werden.

Shumway-Cook und Woollacott [3] definieren Funktion als „die komplexe Aktivität des gesamten Organismus mit dem Ziel, eine bestimmte Aufgabe zu vollziehen. Optimale Funktion beinhaltet Verhaltensweisen, die ein aufgabenspezifisches Ziel in einer relevanten Umweltsituation erreichen.“

Die manual-therapeutischen Konzepte befassen sich primär mit der Beurteilung und Behandlung der Gelenkbeweglichkeit. Je nach dem, ob ein Gelenk hyper- oder hypomobil ist, wird es stabilisiert oder mobilisiert [1,4]. Weichteile werden in diesem Konzept ebenfalls mobilisiert mit so genannten „Weichteiltechniken“ oder „Funktionsmassagen“ [4, 5, 6]. Diese Maßnahmen werden jedoch vom Therapeuten passiv durchgeführt, das heisst. der Patient hat hierbei keine ziel motorische Aufgabe. Es bleibt fraglich, ob so einen Lerneffekt erzielt werden kann.

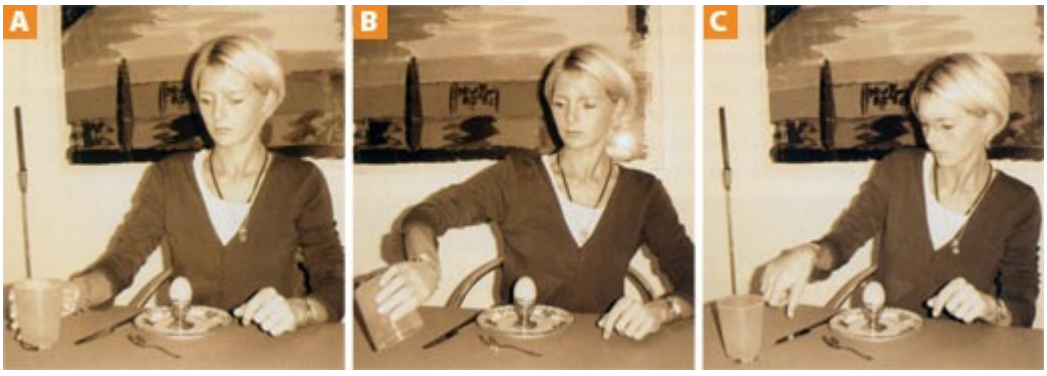


*Abb. 1a bis c: Situationsangepasstes Greifen. 1a: Das Glas steht aufrecht und wird mit Dorsalextension der Hand, Supination des Unterarmes und Aussenrotation der Schulter gegriffen. 1b: Das Glas steht auf dem Kopf und wird mit Volarflexion der Hand, Pronation des Unterarmes und Innen rotation der Schulter gegriffen. 1c: Kompensationsstrategie bei Schmerz, Schwäche und/oder Koordinationsverlust. Das aufrecht stehende Glas wird mit Volarflexion der Hand, Pronation des Unterarmes und Innenrotation gegriffen.*

PNF ist ein Fazilitationskonzept, das sich mit der Bahnung von Bewegungsmustern befasst [7, 8, 9]. Der Therapeut setzt gezielte Reize, um die gewünschten Muskelketten zu aktivieren. Da sensorischer Input als primärer Stimulus genützt wird, um die Bewegung anzubahnen, ist es auch hier fraglich, ob ohne Kontext mit einer zielorientierten Handlung ein Lerneffekt erzielt werden kann.

Taktile Reize, ob in der manuellen Therapie oder beim PNF, bekommen nur eine informative Rolle, wenn sie innerhalb einer zielmotorischen Handlung appliziert werden. Diese sollten dort wo nötig, solange wie nötig, jedoch so wenig wie möglich appliziert werden, um die grösstmögliche Selbstständigkeit des Patienten zu fördern und die bestmögliche Ökonomie und Sicherheit zu gewährleisten.

Daraus ergibt sich, dass Gelenke manuell mobilisiert und Muskeln fazilitiert werden sollten während der Ausführung von Aufgaben innerhalb einer relevanten Umweltsituation. Erst die Integration einer strukturellen Behandlung mit der Ausführung einer zielorientierten Aktivität ermöglicht das Lernen. Im Folgenden wird ein neues Paradigma in der Rehabilitation diskutiert. Die Kernaussage ist die Integration neuro-orthopädischer Behandlungsansätze und neurobiologischer Aspekte darüber, wie das zentrale Nervensystem Bewegungen organisiert im Bezug zum einzigartigen Individuum.

Innerhalb des N.A.P.®)-Konzepts ist die strukturelle Behandlung nicht als eine Voraussetzung für Funktion zu sehen, sondern sie wird integriert in die Funktion.

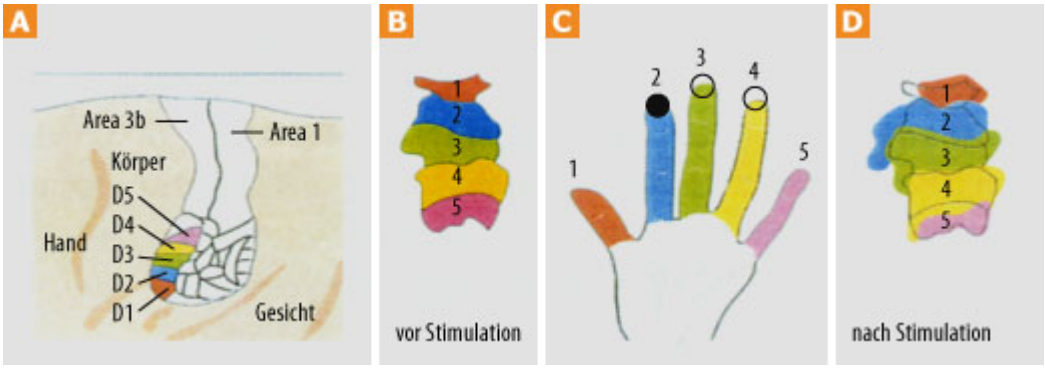


*Abb. 2: Veränderung der kortikalen Repräsentation der Finger beim Affen. Die Finger (Zeige-, Mittel- und Ringfinger), die mehr benützt wurden, übernehmen die Areale der weniger genützten Finger (Daumen und Kleinfinger) [12].*

# Methode

## Neurophysiologische Mechanismen

Behandlungsprinzipien und Mechanismen für das Behandlungskonzept der N.A.P.® in der Rehabilitation sind:

**Neurale Plastizität**

Plastizität ist die Adaptionsfähigkeit auf funktionelle Anforderungen. Wenn Aufgaben sich ändern oder die Umwelt sich verändert, müssen sowohl sensorische als auch motorische Verbindungen ebenfalls variabel sein. Damit Lernen erfolgen kann, muss die Effizienz der neuronalen Verbindungen auch veränderbar sein [10].

Muskelsynergien, die zur Ausführung einer funktionellen Aufgabe benötigt werden, bezeichnet man als Willkürsynergien oder funktionelle Synergien [11]. Bernstein beschrieb bereits 1967 das „Problem der Freiheitsgrade“ und stellte die Frage, wie das zentrale Nervensystem diese organisiert. Heute geht man davon aus, dass Synergien variabel organisiert werden nach den Erfordernissen der Aufgabe und der Umwelt. Shumway-Cook und Woollacott [3] definieren Synergie als eine funktionelle Kopplung von Muskelgruppen, die als Einheit zusammenwirken (Synonym: Koordinative Struktur).

Wenn man ein Glas, welches mit der Öffnung nach oben auf einem Tisch steht, nehmen möchte, um sich etwas einzuschenken, wird eine andere Muskelsynergie aktiviert, als wenn das Glas umgedreht steht (Abb. 1a, 1b). Wird in beiden Situationen die gleiche Synergie aktiviert, könnte man denken, dass diese Bewegung „unnormal“ oder „unphysiologisch“ ist. Diese Vorgehensweise wäre unter Umständen jedoch sehr normal, wenn die Person Schwächen oder Schmerzen hätte und diese Strategie die einzige wäre, mit der sie ihr Ziel erreichen könnte (in diesem Fall wird gewöhnlich die andere Hand bevorzugt) (Abb. 1c). Je nach Gebrauch zeigen Rezeptoren Plastizität. Dies führt dazu, dass die synaptische Übertragung stärker oder schwächer wird. Wenn bestimmte Körperteile nicht benützt werden wegen Schwäche, Schmerz oder sogar aus Angst vor der Bewegung, verändern sich die kortikalen Repräsentationsareale im Gehirn. Merzenich et al. [12] haben bei Untersuchungen mit Affen gezeigt, dass in diesem Falle benachbarte Hirnareale diese Repräsentationsareale übernehmen (Abb. 2). Ramachandran [13] zeigte, dass Menschen mit Handamputationen ihre einzelnen Finger im Gesicht spüren. Phantomschmerzen können durch dieses Phänomen erklärt werden, da afferente Informationen missinterpretiert werden. Ramachandran entwickelte eine Schachtel, in die amputierte Patienten ihre intakte Hand hineinführten. In der Schachtel war ein Spiegel angebracht, so dass es beim Ansetzen des amputierten Armes so aussah, als wären zwei Hände vorhanden. Auf diese Weise konnten Phantomschmerzen gelindert werden. Die Visualisierung von Körperteilen fördert offensichtlich die kortikale Repräsentation. Sogar die mentale Vorstellung von Muskelkontraktionen kann zu einer Zunahme der Willküraktivität führen [14].

**Muskuläre Plastizität**

Je nach funktioneller Anforderung und Gebrauch verändern sich auch Muskeln und andere Weichteilstrukturen. Wenn Muskeln nicht benützt werden, atrophieren sie. Ihre Grösse verändert sich durch Training. Auch der Fasertyp kann sich hierbei verändern. Bei zunehmendem Alter beispielsweise werden Muskelfasern tonischer. Einige Erkrankungen führen auch dazu, dass sich der Muskelfasertyp verändert [15]. Lange Zeit ist man davon ausgegangen, dass sich tonische Fasern durch Training nicht in phasische umwandeln können. In neuster Zeit jedoch ist man auf unerwartete Untersuchungsergebnisse bei Sprintern gestoßen. Während ihrer Krafttrainingsperiode hat die Anzahl ihrer phasischen Muskelfasern abgenommen. Zwei Monate nach Beendigung des Krafttrainings hat die Anzahl der phasischen Muskelfasern wieder zugenommen, so dass das Ursprungsniveau wieder erreicht war. Erstaunlich jedoch war, dass sie insgesamt drei Monate nach Beendigung ihres Krafttrainings zweimal so viele phasische Muskelfasern hatten wie zu Beginn [16] (Abb. 3).

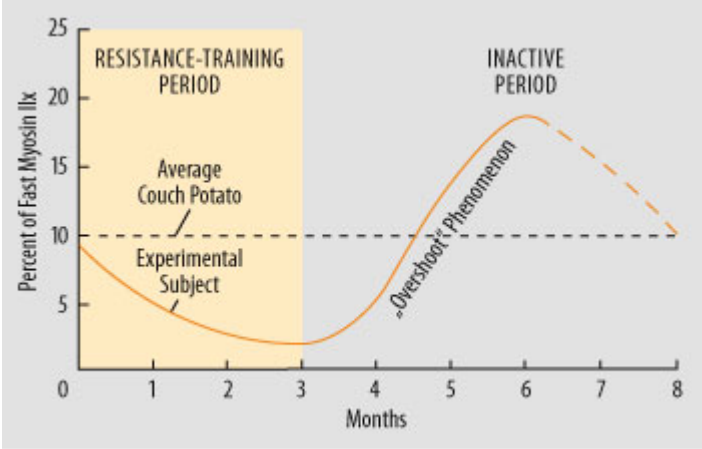


Abb. 3: Veränderung der Anteile der phasischen Muskelfaseranteile nach Training. Während der Krafttrainingperiode nehmen die phasischen Muskelfaseranteile ab. Nach Beendigung des Krafttrainings ist zwei Monate später das Ursprungsniveau wiederhergestellt. Drei Monate nach Beendigung des Krafttrainings erhöht sich die Anzahl der phasischen Muskelfaseranteile auf das Zweifache [16].

Muskeln müssen ihre Länge je nach Anforderungen der Aufgabe und der Umwelt verändern können. Ausreichende strukturelle Elastizität ist eine Voraussetzung für exzentrische Aktivitäten, die für die posturale Kontrolle benötigt wird.

Immobilität führt zu Steifigkeit, die verursacht wird durch Veränderungen der Sehnen und des Bindegewebes. Wasserverlust und Kollagendeposition sind hierfür verantwortlich zu machen [17]. Tierversuche haben gezeigt, dass Ruhigstellung in angenäherter Position zu einer Abnahme von Sarkomeren führt. Dies verursacht wiederum mehr Steifigkeit und Kontrakturen [18, 19, 20].

Muskelsteifigkeit wird als die Kraft, die benötigt wird, um die Länge eines sich in Ruhestand befindenden Muskels zu verändern, definiert [21].

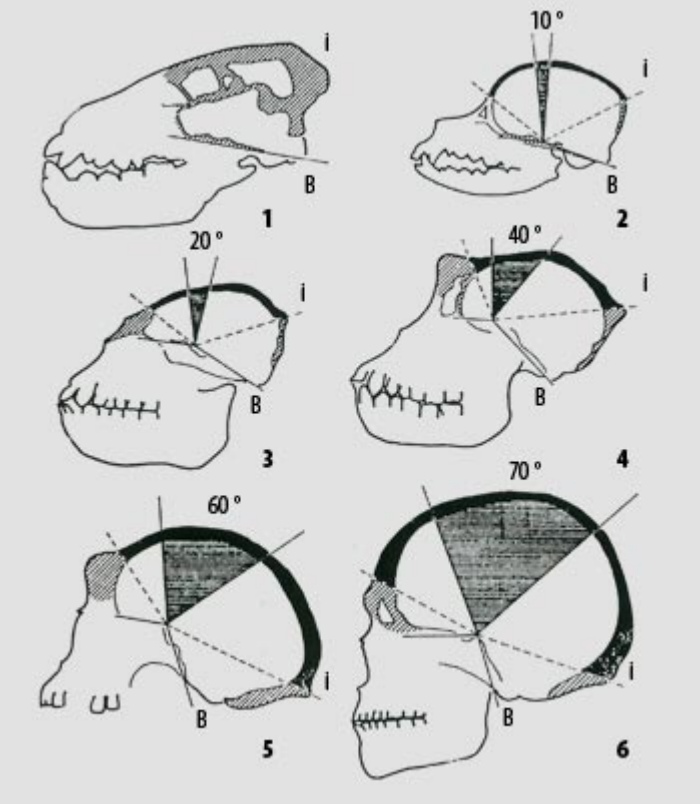


Abb. 4: Veränderung des Schädels im Laufe der Evolution. Der Kiefer ist kleiner geworden und das Broca Areal, wo die Feinsteuerung der Zungen-, Gesichts-, und Fingermuskulatur kontrolliert und koordiniert wird, ist größer geworden [23].

Koordinierte, geschickte Bewegungen verlangen eine aufgaben spezifische Aktivierung von Muskulatur sowie eine angepasste Rekrutierung der Agonisten. Wenn jedoch die kortikale Repräsentation wegen Nicht-Gebrauchs verändert ist, ist dies vielleicht nicht möglich. Als Kompensationsstrategie, mit der Absicht mehr Kontrolle zu gewinnen, kann es zu übermässiger Kokontraktion kommen. Dies führt zu einem weiteren Verlust der motorischen Kontrolle und vermehrter Steifigkeit.

**Arthro-ossäre Plastizität**

Je nachdem welchen Belastungen Knochen ausgesetzt werden, kommt es zu einer Veränderung der Knochenmasse. Astronauten, die längere Zeit im Weltraum verbracht haben, verlieren Knochenmasse [22]. Bei einer Zunahme der Druckverhältnisse bilden sich Osteophyten. Sogar die Größe und Form unseres Schädels hat sich im Laufe der Evolution verändert. Der Kiefer ist kleiner geworden und das Broca-Areal, wo die Feinsteuerung der Zungen-, Gesichts- und Fingermuskulatur kontrolliert und koordiniert wird, ist größer geworden [23] (Abb. 4). Die funktionellen Anforderungen haben sich im Laufe der Zeit verändert, was wiederum die Notwendigkeit für strukturelle Veränderungen bestimmt hat.

Strukturen können nur die Funktion steuern, für die sie trainiert wurden. Knochen können nur Belastungen übernehmen, die sie gewohnt sind. Externe Weichteil kräfte bilden Reize, die zum Wachstum und zur Remodulierung führen [24]. Deshalb ist es so

wichtig, dass der Therapeut weiss, welche Aktivitäten der Patient in seinem Alltag und Berufsleben vollziehen muss. Es ist ein Unterschied, ob motorische Strategien im Sitzen oder während schweren Hebebelastungen benötigt werden.

**Schutzmechanismen**

Das limbische System wird alarmiert, wenn dem Organismus eine Gefahr droht. Eine Reihe von automatischen Reaktionen wird durch das vegetative Nervensystem gesteuert, was wiederum in Verbindung zum Mandelkern (Amygdala) des limbischen Systems steht. Dieser Vorgang hat das Ziel, den Organismus zu schützen [25].

Wie schon erwähnt, verändern Muskeln ihre Aktivität je nach Anforderungen. Wenn ein Körperteil geschützt werden muss, damit es heilen kann, dann versuchen die Muskeln dieses Körperteils „einzufrieren".

Es kommt auch zu biochemischen Veränderungen, die zum Ziel haben, schmerzhafte Körperareale ruhigzustellen. Die Konzentration von Hyaluronsäure nimmt ab, was zu einer Abnahme des Gelenkspiels führt. Die Matrixproduktion nimmt ab, dies führt zu einer Einschränkung der Beweglichkeit der Gelenkkapseln. Das Bindegewebe verliert an Mobilität wegen der Zunahme der Aktivität der Myofibroblasten. Auch im Blut kommt es zu einer Verschiebung des Ph-Wertes. Die Sauerstoff-Konzentration nimmt ab und die COrKonzentration nimmt zu [71]. Da Nerven sehr viel Sauerstoff brauchen, führt diese Veränderung wiederum zu mehr Schmerz, es entsteht ein Circulus vitiosus. Auch Schmerzmediatoren (Bradykinin, Prostaglandine, Serotonin, u.a.) werden produziert und innerhalb des Nervensystems via den axoplasmatischen Fluss transportiert [25, 26].

Dieser Prozess wird aufrechterhalten, solange der Organismus wiederholt schädigenden Reizen ausgesetzt wird. Sogar die Angst vor schädigenden Stimuli kann zu einer Hypersensitivität des gesamten Nervensystems führen [27]. Serotonin ist ein wichtiger Neurotransmitter für das Langzeitgedächtnis [25, 26]. Diese Tatsache könnte erklären, warum Schutzmechanismen gelernt werden, das heisst sämtliche Strategien, die zu dem Zeitpunkt einer Verletzung benötigt wurden, auch später beibehalten werden, obwohl Heilung erfolgt ist.

**Inhibition und Habituation**

Je nachdem wie Reize erfahren werden, wirken sie fazilitierend oder inhibierend [3]. Wenn der Patient viel Schmerz erfährt oder erfahren hat bei der Ausführung einer Bewegung, wird an Stelle der Inhibition eine Fazilitation oder Hypersensitivisierung erfolgen, wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben.

Habituation wird definiert als Abnahme der Reizantwort auf wiederholte, nicht schmerzhafte (oder gefährdende) Stimuli [3]. Biochemische Veränderungen der synaptischen Verbindungen sind die Folge von wiederholten Stimuli, die nicht gefährlich sind oder keine Angst auslösen. Der Organismus gewöhnt sich an diese Stimuli und es kommt zur Habituation [10]. Es kommt zu einer Desensitivierung des zentralen Nervensystems. Allergische Patienten werden oftmals mit homöopathischen

Dosen des Allergens behandelt, das zu einer Überreaktion des Immunsystems führt. Diese kleinen Mengen ermöglichen es dem Organismus, sich an diese Stimuli zu gewöhnen und zu adaptieren. Wenn bisher schmerzhafte Bewegungen in „homöopathischen Dosen“ durchgeführt werden auf eine Art und Weise, die es dem Patienten erlaubt, ohne Angst eine positive Bewegungserfahrung zu machen, dann wird sich der Patient daran gewöhnen und diese Bewegungen wieder organisieren können. Hier führt also die wiederholte Fazilitation der Zielbewegung letztendlich zur Inhibition der schmerzauslösenden Mechanismen.

**Reziproke Innervation**

Reziproke Innervation ist aufgabenspezifisch [28]. Bei schnellen zielorientierten Bewegungen kommt es zu einer zentral gesteuerten tri-phasischen Muskelaktivierungsreihenfolge [29, 30]. Zuerst feuern die Agonisten, um die Bewegung zu beschleunigen. Kurz vor dem Erreichen des Ziels kontrahieren die Antagonisten, um die Bewegung abzubremsen. Zum Schluss feuern die Agonisten erneut, um das Ziel stabil zu erreichen. Bei der Ausführung einer Zielbewegung müssen die Antagonisten „wissen“, was zu tun ist. Abhängig von der Aufgabe müssen sie entweder entspannen oder co-aktiv sein. Die Einwirkung der Schwerkraft ist entscheidend, ob die Antagonisten exzentrische Kontrolle gewährleisten müssen.

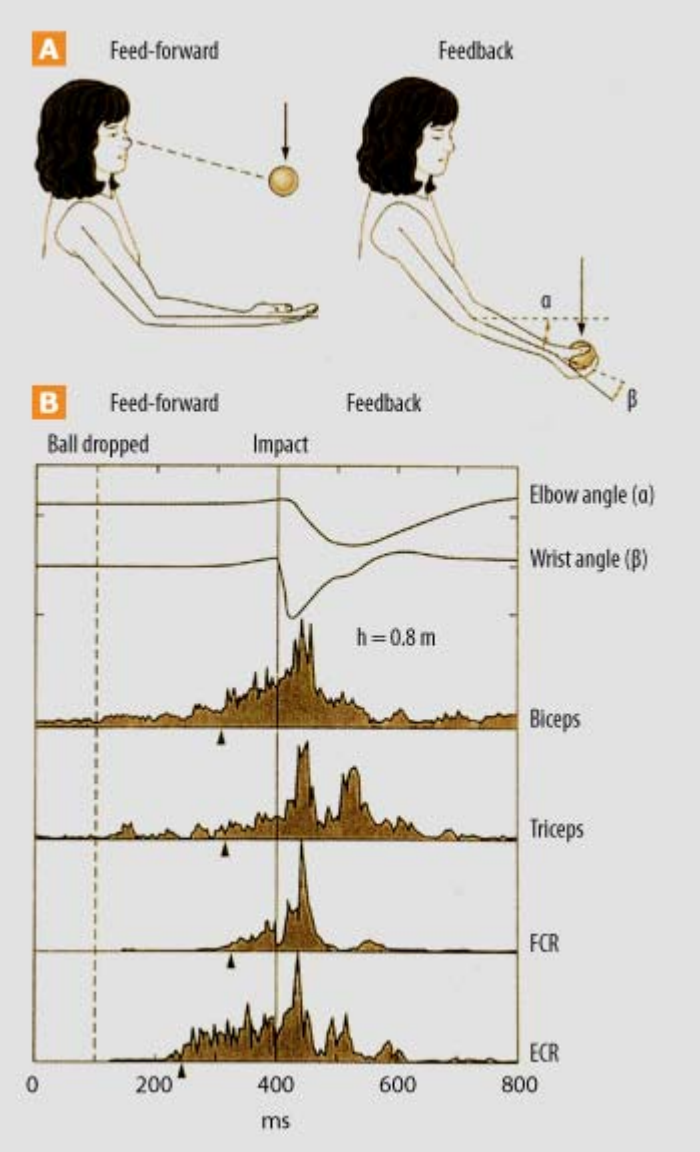


Abb. 5: Reziproke Innervation wird durch die Aufgabe bestimmt. Durch Feedforward und Feedbackmechanismen wird beim Auffangen eines Balles eine Ko-kontraktion der gelenkumgebenden Muskulatur benötigt. Diese Ko-kontraktion wird sowohl vor dem Auftreffen des Balles als auch nachdem der Ball einen Dehnreiz für die Beugesynergie erzeugt, benötigt, um Stabilität zu gewährleisten (34].

Verschiedene Bewegungen erfordern unterschiedliche Informationen. Schnelle Bewegungen benötigen mehr Vorinformationen (Feedforward). Dies ist ein komplexer neuraler Prozess. Das Gehirn entwickelt einen Bewegungsplan [31]. Hier ist keine Zeit für ein Feedback. Auch wenn die sensorische Information nicht benötigt wird, um komplexe Bewegungen zu initiieren, ist sie jedoch wichtig für das Erstellen des Bewegungsplans. Sensorisches Feedback trägt auch zum Erwerb von neuen motorischen Fähigkeiten bei [32]. Feedback wird dazu benötigt, Korrekturen vorzunehmen, insbesondere wenn unvorhergesehene Änderungen während der Bewegungsausführung auftreten. Bemerkenswert ist auch, dass dieselbe sensorische Information unterschiedliche Aktivitäten erzeugen kann, je nach Kontext [33].

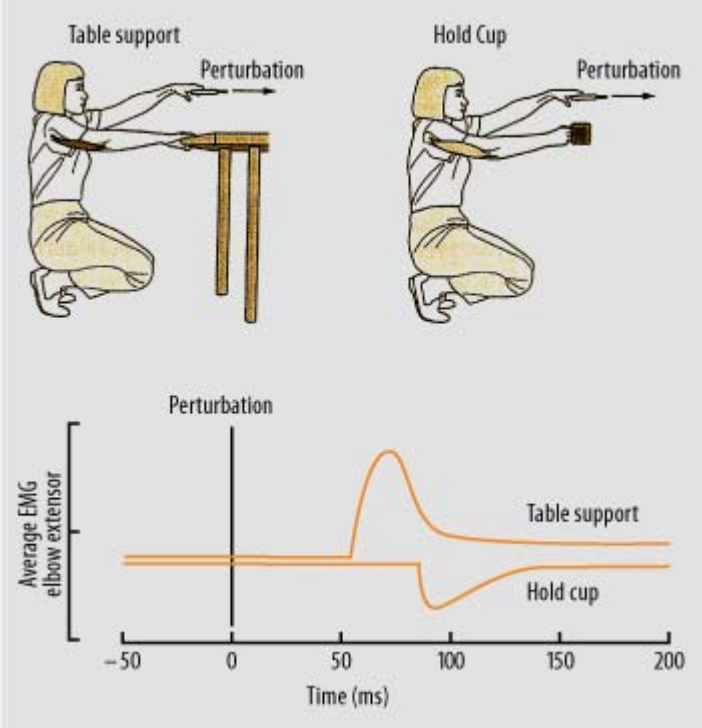


Abb. 6: Kleinste Veränderungen der Umwelt verändern die Aktivität des Antagonisten. Der Arm, der auf dem Tisch aufgestützt ist, zeigt Aktivität vom M. triceps, wenn der contra laterale Arm destabilisiert wird. Wenn hingegen eine Tasse gehalten wird, ist der M. triceps entspannt beim Destabilisieren des contra lateralen Armes. Ansonsten sind alle Bedingungen gleich [28].

Wenn die Hand zum Mund geführt wird, um etwas zu essen, kontrahiert der M. biceps brachii konzentrisch, währenddem der M. triceps brachii die Bewegung zulässt (reziproke Inhibition). Wenn man einen Ball auffängt, dann kontrahieren sowohl der M. biceps als auch der M. triceps, und zwar bevor der Ball aufgefangen wird sowie hinterher, obwohl nur der Biceps einen Dehnreiz erhält durch das Gewicht des Balles (Abb. 5) [34]. Diese Co-Aktivierung des M. biceps und M. triceps bevor der Ball aufgefangen wird, ist von visueller Information abhängig (Feedforward). Der Aufprall des Balles erzeugt proprioceptive Information, so dass der M. biceps reagieren kann (Feedback). Antizipation der Destabilisation verursacht, dass der M. triceps ebenfalls kontrahiert. Die Antagonisten erhalten ihre Information über Interneuronverbindungen auf Rückenmarksebene. Diese erhalten ihre Information wiederum über cortikospinale und andere absteigende Bahnen [28]. Also bestimmt das Ziel, wie die reziproke Innervation sein muss (inhibitorisch oder co-aktiv).

Verändern sich die Umweltbedingungen, ist die reziproke Innervation ebenfalls variabel. Wenn das Ziel ist, den Arm auf einem Tisch zu stabilisieren, währenddem der andere Arm destabilisiert wird, kontrahiert der M. triceps. Wenn es aber das Ziel ist, den Arm beim Halten einer Tasse in der Luft zu stabilisieren, dann kontrahiert der M. triceps nicht (Abb. 6) [28].

Folgende Hypothese ist denkbar; Antagonisten, die bei einer entsprechenden zielorientierten Bewegung normalerweise entspannt sein sollten, sind dann co-aktiv, wenn sie bisher schmerzhafte Bewegungen vermeiden/verhindern wollen. Auf diese Weise könnte der notwendige Schutz gewährleistet werden. Auch hier bestimmt das Ziel die Variabilität der reziproken Innervation.

**Subkortikale Aktivität im Verhältnis zur motorischen und kortikalen Kontrolle**

Das zentrale Nervensystem kontrolliert Bewegungen sowohl kortikal als auch subkortikal [34]. Distale Muskeln werden kortikal kontrolliert. Sie bewegen sich sozusagen zielorientiert und benötigen visuelle und/oder akustische Information. Dieser Unterschied spiegelt sich auch neuroanatomisch wieder. Bahnen für die distalen Muskeln verlaufen lateral durch das Rückenmark und haben sehr wenige synaptische Verbindungen. Deswegen können wir unsere Finger so schnell und geschickt bewegen. Zu einigen Fingermuskeln besteht manchmal nur eine synaptische Verbindung. Proximale Muskeln werden hingegen subkortikal gesteuert. Diese Bahnen verlaufen medial und haben sehr viele synaptische Verbindungen. Aus diesem Grund können Muskeln, die den Kopf kontrollieren, mit denen des Beckens und Sakrums zusammenwirken für ständige posturale Anpassungen. Da proximale Muskeln, wie auch exzentrische Kontrolle und Gleichgewichtsreaktionen, die für posturale Kontrolle benötigt werden, subkortikal gesteuert werden, brauchen sie proprioceptive Informationen. Proximale Muskeln werden proaktiv während zielorientierter Handlungen rekrutiert. Zum Beispiel muss der Rumpf stabil sein, bevor der Arm zu einem Objekt bewegt wird, wie auch der Kopf stabil sein muss, bevor die Zunge und der Mund bewegt werden können für Sprach- und Schluckfunktionen.

Die neuromuskuläre Kontrolle, die für die Gelenkstabilität benötigt wird, ist ebenfalls auf proprioceptive Information angewiesen. Bei Zunahme der Kapsel- und Bänderspannung werden Rezeptoren stimuliert, die diese Information aufnehmen und zum Rückenmark weiterleiten. Hierdurch wird ein spinaler Reflex ausgelöst. der die Muskeln, die zur Stabilisation des Gelenkes benötigt werden, unwillkürlich aktiviert [35]. Im Schultergelenk zum Beispiel arbeiten Bänder und Muskeln synergistisch, um es zu stabilisieren. Untersuchungen haben gezeigt, dass der N. axillares afferente Information aus der Gelenkkapsel aufnimmt und dies zur Aktivierung der Rotatorenmanschette führt. Wenn der Nerv durchtrennt wird, reagiert die Rotatorenmanschette nicht auf Stimulation [36].

*Abb. 7: Beim Anheben des Armes um die Haare zu bürsten, wird die Scapula in der ersten Phase der Armhebung am Angulus superior mit der linken Hand des Therapeuten zurückgehalten, währenddem die rechte Hand unterhalb des Processus coracoideus den M. pectoralis minor verlängert und die Scapula in anteriore Elevation fazilitiert. Die Information für die Hand ist zielorientiert, wobei die Information für die Scapula proprioceptiv und ohne verbale Anweisungen erfolgt. Abb. 8: Fazilitation der Aussenrotatoren der Schulter, die kurz vor dem Erreichen des Ziels aktiviert werden müssen. Da proximale Stabilität subkortikalorganisiert wird, ist die Information taktil in Form eines Tapes und Therabandes. Abb. 9: Um gelenkstabilisierende Muskeln zu aktivieren, muss die Patientin proprioceptive Information für die schwachen Aussenrotatoren erhalten. Damit die notwendige Ko-kontraktion organisiert werden kann, wird der Humerus nach aussen rotiert, kurz bevor der Stretch-Stimulus auf die Innenrotatoren appliziert wird. Abb. 10: Fazilitation der proximalen Stabilität bevor distal bewegt wird. Notwendige pprioceptive Information wird für die Schulter ohne verbale Anweisung appliziert. Bevor die Patientin ihre Hand in Volarflexion bewegt, rotiert die Therapeutin die Schulter nach aussen, um die Aussenrotatoren anzunähern.*

Entscheidend ist jedoch, dass proprioceptive Information nur dann zu einem Lerneffekt führt, wenn sie im Kontext mit einer willkürlichen Handlung erfolgt, zum Beispiel wird bei der klassischen Funktionsmassage der M. quadriceps in Richtung Ursprung manuell unter Längszug gebracht, während der Therapeut das Knie passiv beugt [6, 4]. Eine funktionelle Lösung, die auch einen Lerneffekt erzielt, wäre dem Muskel proprioceptive Information in Längsrichtung zu geben, während der Patient eine Treppenstufe hinuntergeht. Hierfür wird die Patella nach caudal mobilisiert. Die Schwerkraft unterstützt die Information, die benötigt wird zur Organisation der exzentrischen Kontrolle.

Proprioceptive Information alleine ist wertlos. Sensorischer Input (Hands on oder eine andere taktile Informationsquelle, dort wo nötig) muss integriert werden in einer motorischen Aufgabe! Es wurde schon besprochen, dass sensorischer Input nicht benötigt wird, um komplexe Bewegungen zu initiieren. Es reicht jedoch oftmals nicht aus ein Ziel zu haben, um eine adäquate motorische Strategie ausführen zu können. Insbesondere wenn sich Fehler einschleichen, die gravierend sind für die Sicherheit des Patienten (zum Beispiel Sturzgefahr), ist die Wahrnehmung der Abweichung von der geplanten Bewegung abhängig von sensorischem Feedback. Hier kann es nötig sein, dass der Patient taktile Unterstützung vom Therapeuten erhält.

Auch wenn Muskeln steif sind wegen längerer Phasen der Ruhigstellung und ihre Elastizität erforderlich ist zur Durchführung von Alltagsaktivitäten, müssen sie entsprechende Information bekommen. Exzentrische Kontrolle, die unwillkürlich gesteuert wird, bedarf proprioceptiver Information. Wiederholte exzentrische Kontraktionen führen zur Reorganisation von Aktin- und Myosinverbindungen sowie langanhaltender Kontraktionen in verlängerter Position der Muskulatur [37, 38, 39].

**Fazilitation versus Inhibition**

Wenn unerwünschte Kompensationsstrategien benützt werden und es laut Befund des Patienten anzunehmen ist, dass Potentiale der schwachen Körperteile vorhanden sind, dann müssen dominante Körperteile zurückgehalten werden, um den Gebrauch der nicht benützten Körperteile zu fördern [40, 41]. Nur so kann die kortikale Repräsentation von

nicht genützten Körperteilen wiederhergestellt und die Koordination von ökonomischen motorischen Strategien gefördert werden. Es geht hier nicht darum, unerwünschte Muskelaktivitäten auf struktureller Ebene zu hemmen. Die antagonistische Muskulatur muss lernen, welche Aktivität sie steuern muss während der Ausführung der zielorientierten Handlung. Bei schnellen zielorientierten Bewegungen haben wir gesehen, dass die Antagonisten gehemmt sind bis kurz vor dem Erreichen des Ziels, wenn sie feuern, um die Bewegung abzubremsen. Wenn die Antagonisten aufgrund von Schutzmechanismen anstattdessen in der Beschleunigungsphase ko-aktiv sind, müssen sie Informationen erhalten, wie sie sich verlängern können während der Ziel bewegung. Wenn zum Beispiel die Hand zum Kopf geführt wird, um die Haare zu kämmen, müssen die Schulterextensoren und -innenrotatoren sowie die Scapula-Elevatoren in der ersten Phase der Armhebung entspannt sein. Die reziproke Hemmung dieser Muskelsynergie kann nur erreicht werden, wenn die Person aufgefordert wird, die Hand zum Kopf zu bewegen. Dabei muss die Ausgangsstellung real sein und die Schwerkraft darf auf diese Synergie nicht einwirken. Besteht eine strukturelle Steifigkeit, kann der Therapeut den Strukturen durch Zug in Längsrichtung während der willkürlichen Bewegungsausführung die passende Information geben. Die dominanten Aktivitäten werden so zurückgehalten (Abb. 7). Wenn Antagonisten nicht genügend Stabilität gewährleisten beim Abbremsen einer schnellen Bewegung, kann die taktile Information mittels Theraband und Tape für diese Muskulatur gegeben werden, währenddem der Patient kurz vor dem Ziel (Wand) die Bewegung abbremst (Abb. 8).

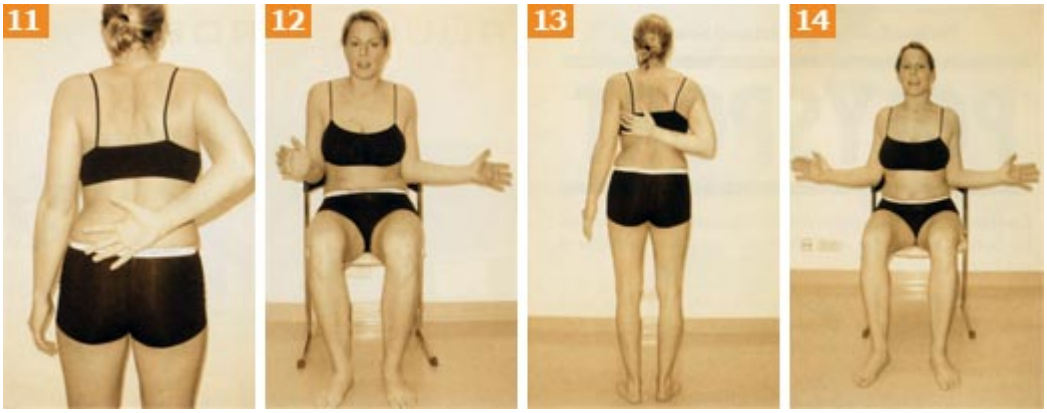


*Abb. 11, 12: Eingeschränkte Beweglichkeit vor der Behandlung. Abb. 13, 14: Verbesserte Beweglichkeit nach der Behandlung.*

Beim Auffangen eines Gegenstandes (Ball) haben wir vorher gesehen, dass eine Ko-aktivierung von Agonisten und Antagonisten erfolgt, bevor der Ball auf die Hand trifft sowie auch danach. Wenn die Antagonisten, zum Beispiel die Aussenrotatoren der Schulter, nicht ausreichend rekrutiert werden können infolge einer intra- und intermuskulären Koordinationsstörung, dann müssen diese durch taktile Information fazilitiert werden, indem diese Muskeln angenähert werden, und zwar sowohl bevor der Ball aufgefangen wird als auch danach. Um die Koordination zu fördern, die hierfür benötigt wird, kann der Therapeut einen Stretch-Stimulus auf die Hand geben (visuelle Information für die distale Komponente), so dass die Innenrotatoren der Schulter gestretched werden (proprioceptive Information für die proximale Komponente) (Abb. 9).

Eine weitere Situation, in der proximale Stabilität benötigt wird, ist beim Bewegen der distalen Körperteile. Hier muss überlegt werden, welche Muskelaktivitäten proximal benötigt werden, wenn distal in einer bestimmten Richtung willkürlich bewegt wird. Da diese proximale Aktivität vorher benötigt wird, muss die Information zuerst proximal erteilt werden. Bevor zum Beispiel die Hand in Volarflexion bewegt, müssen die Aussenrotatoren der Schulter stabilisierend widerlagernd aktiviert werden (Abb. 10). Diese Aktivität wird aufgebaut, indem der Therapeut die Aussenrotatoren annähert. Wie bereits erwähnt, würde das Applizieren von Widerstand in Innenrotation zu Ausweichmechanismen führen, da proximale Aktivität über Reflexbahnen automatisch und unwillkürlich gesteuert wird. In all diesen Beispielen geht es um die Fazilitation von sinnvollen Bewegungen und das gleichzeitige Applizieren von notwendigen Informationen für die antagonistische Muskulatur. Welche Aktivität die Muskulatur aufbringen oder ob die Aktivität gehemmt werden muss, hängt von der jeweiligen Aufgabe ab.

Das Üben von spezifischen Aufgaben führt nicht nur zu Veränderung der muskulären Strukturen, sondern auch zur Veränderung der Gelenkmechanik. Die im oben genannten Beispiel aufgeführte Patientin zog sich vor vier Jahren eine Schulterluxation beim Tennisspielen zu. Vor der Behandlung zeigt sie eine deutlich eingeschränkte Innen- und Aussenrotationsbeweglichkeit der rechten Schulter (Abb. 11, 12) im Vergleich zu nach der Behandlung (Abb. 13, 14). Daraus lässt sich schliessen, dass verbesserte Gelenkbeweglichkeit nicht nur auf strukturelle Veränderungen zurückzuführen ist. Wenn Informationen variabel appliziert werden, und zwar so wie sie im Alltag benötigt werden, können die Gelenke neuromuskulär anders gesteuert werden.

**Vermeidung von Angst**

Angst vor schmerzhaften Bewegungen oder die Erinnerung an solche Bewegungen kann hinderlich sein für die Fazilitation von Alltagsaktivitäten. Der Patient muss lernen, seinen Schmerz als Teil des Heilungsprozesses zu sehen. Fundierte fachliche Kenntnisse des Therapeuten ermöglichen, den Patienten aufzuklären, ob und wann er ohne Gefahr Strukturen belasten kann. Kommunikation zwischen Therapeut und Patient sowie gegenseitiger Respekt sind wichtig für den Heilungsprozess und Lernprozess sowie das Erleben von schmerzfreien sinnvollen Bewegungen. Es wurde schon diskutiert, dass die Repräsentation von schmerzhaften Körperteilen im sensorischen und motorischen Kortex abnimmt. Deshalb ist es ein wichtiges Therapieziel, die Repräsentation dieser Körperteile zu fazilitieren. Sinnlose Bewegungen ohne Kontext würden höchstwahrscheinlich zu Angst und weiteren Schutzmechanismen führen.

**Aktive versus passive Bewegungen**

Zur Vermeidung von Angst und den dazugehörigen Schutzmechanismen ist es sinnvoll, Bewegungen aktiv vom Patienten ausführen zu lassen. Auch wenn die aktive Ausführung wegen Schwäche und Koordinationsverlust nicht möglich ist, sollte der Patient möglichst die Bewegung mental mitmachen. Unterschiedliche Hirnareale werden aktiviert, je nachdem ob Bewegungen aktiv oder passiv durchgeführt werden.

Passive Bewegungen aktivieren den primären und sekundären sensorischen Kortex der contralateralen Seite. Durch aktive Bewegungen werden zudem Areale, die für die Bewegungsplanung und Koordination von funktionellen Synergien benötigt werden, stimuliert (Basalganglien, Kleinhirn und prämotorischer Kortex).

**Periphere und zentrale Mechanismen**

Da Immobilisation sehr viele unerwünschte Veränderungen verursacht, ist es wichtig, dass nicht länger als es für den Heilungsprozess nötig ist, ruhiggestellt wird. Steifigkeit und Kontrakturen zu verhindern, ist ein wichtiges Ziel. Dies ist eher ein peripheres Thema. Der Erhalt der kortikalen Repräsentation ist zu diesem Zeitpunkt ebenfalls ein wichtiges therapeutisches Ziel. Dies ist ein eher zentrales Thema. Bei der Heilung der Strukturen ist es notwendig, dass der Patient lernt, dass Schutzmechanismen nicht mehr benötigt werden. Somit haben alle Verletzungsmechanismen, seien sie primär zentral oder peripher, sowohl zentrale als auch periphere Konsequenzen.

# Zusammenfassung

Auf funktioneller Ebene soll der Patient lernen, zielorientierte Bewegungen zu organisieren mit soviel Unterstützung wie nötig, aber so wenig wie möglich, so dass Bewegungen positiv erlebt werden können. Dies fördert die Motivation und fördert das motorische Lernen [11]. Antagonisten, die wegen Angst, Kompensation für Schwäche oder wegen Schmerz reflektorisch aktiv und steif sind, müssen lernen, zielgerichtete Bewegungen zuzulassen. Da exzentrische Muskelarbeit eine intakte Tiefensensibilität wie auch strukturelle Elastizität voraussetzt, muss eventuell zunächst auf struktureller Ebene gearbeitet werden, jedoch immer unter Berücksichtigung der Funktion, die letztendlich erreicht werden soll. Hierbei müssen steife Strukturen entsprechende proprioceptive Information erhalten, zum Beispiel sich während der zielgerichteten Bewegung der Agonisten zu verlängern.

Auf struktureller Ebene soll bei Steifigkeit eine Umstrukturierung der Aktin- und Myosin-Verbindungen erreicht werden, was zur Förderung der Elastizität der Muskulatur führt. Dies führt ebenfalls zu einer Abnahme der Kompression der neuralen Strukturen. Andere Ausgangsstellungen können gewählt werden, wenn die Therapie auf funktioneller Ebene nicht möglich ist, zum Beispiel bei Belastungsinstabilität oder wenn der Patient wegen Schmerz oder Angst ausweicht oder Kompensationsstrategien durch den Therapeuten nicht kontrolliert werden können. Oftmals kann eine Schutzspannung gelöst werden in einer anderen Position, in der kein Schutz benötigt wird. Das Problem ist jedoch, dass, wenn die Ausgangsstellung wieder verändert wird, die Schutzspannungen wieder auftreten. Deshalb muss der Transfer in die Alltagsaktivität sobald wie möglich geübt werden. Es kann nicht erwartet werden, dass der Transfer in die Funktion automatisch erfolgt.

Da motorische Kontrolle durch die individuellen Bedürfnisse und Potentiale des Patienten sowie von den Erfordernissen der Aufgabe in unterschiedliche Umweltkontexte bestimmt wird, müssen Fazilitationsmittel variabel eingesetzt werden. Auch die Wahl der Ausgangsstellung sollte die biomechanische Situation berücksichtigen, die die motorische Aufgabe erfordert. Oftmals wird angenommen, dass eine niedrigere Ausgangsstellung für den Patienten einfacher ist. Wenn jemand zum Beispiel ein Glas in Seitenlage greift, wird die Schwerkraft auf die Elevatoren des Armes ausgeschaltet. Dies mag rein strukturell betrachtet einfacher für den Arm sein, aber neurophysiologisch betrachtet ist dies eine Erschwernis! Die Tatsache, dass die Schwerkraft ausgeschaltet wird, führt zu weniger proximaler Rumpfaktivierung im Sinne der posturalen Kontrolle. In Seitenlage muss der Rumpf nicht auf dieselbe Art und Weise Stabilität gewährleisten wie im Sitzen. Entscheidend bleibt, dass die motorische Aufgabe, die beübt wird, in einem realen Kontext stehen muss (Es ist selten, dass in Seitenlage getrunken wird).

Alle Massnahmen, die durchgeführt werden, um strukturelle Veränderungen zu erzeugen, sollten vorzugsweise während der Ausführung einer ziel motorischen Aufgabe erfolgen. Nur so können Strukturen motorische Kontrolle gewährleisten, was Grundlage der neuromuskulären arthro-ossären Plastizität (N.A.P.®) ist.