



# Das Kleinhirn und das zerebropontozerebelläre System

**Kognitiv therapeutische Übungen nach Perfetti bei Patienten mit Läsionen im Bereich des Kleinhirns und der Pons**

## Teil 1: Theoretische Grundlagen

**Diese gemeinsame Arbeit der Autorinnen entstand im Rahmen der Fortbildung „Examenskurs 2006/2007 Corso di 1° livello. Die kognitiv therapeutische Übung nach Prof. Perfetti“. In diesem 1. Teil werden die theoretischen Grundlagen referiert, der 2. und 3. Teil widmen sich dem therapeutischen Vorgehen, Übungsvorschlägen und Patientenbeispielen.**

### Einleitung

Die Funktionen subkortikaler Strukturen wie der Basalganglien, des Thalamus und des Kleinhirns werden seit einigen Jahren in der Literatur neu diskutiert. Insbesondere dem Kleinhirn werden über seine Beteiligung an motorischen Funktionskreisläufen hinaus neue Aufgabenbereiche wie die Modifikation von kognitiven und affektiven Verhaltensweisen zugeschrieben. Die neuen Sichtweisen stützen sich dabei sowohl auf klinisch beobachtbare Symptome bei Läsionen des Kleinhirns, auf bildgebende Verfahren sowie auf neue Erkenntnisse der Anatomie des zerebrozerebellären Systems. Letztere wurden jedoch vorrangig von nicht menschlichen Primaten abgeleitet. Insgesamt ergeben die bisher vorliegenden Erkenntnisse nach Ansicht vieler Wissenschaftler noch kein einheitliches Bild und es wäre insofern verfrüht, ein umfassendes therapeutisches Konzept für Patienten mit zerebellären Läsionen abzuleiten. Dennoch kann es sinnvoll sein, einige der aktualisierten Grundsätze bei der Erstellung neuer Übungen zu berücksichtigen (Perfetti 2007).

Wir möchten die neuen Erklärungsansätze samt ihrer bisherigen Konsequenzen für das therapeutische Vorgehen erläutern und anschließend unsere Erfahrungen aus der Therapie mit Patienten mit zerebellären und pontinen Läsionen vorstellen. Dabei konzentriert sich unsere Arbeit auf sensomotorische und kognitive Aspekte. Auf die visuellen Beeinträchtigungen nach Kleinhirnschädigungen gehen wir nicht gesondert ein. Vorweg ein kurzer Überblick über das „klassische“ Verständnis der Funktionalität des Kleinhirns.

MAIKE DAUMÜLLER, Ergotherapie-Examen 1984 in München; war 7 Jahre im geriatrischen Bereich mit Schwerpunkt Gerontopsychiatrie tätig; seit 1992 in der Klinik für Neuropsychologie im Klinikum München GmbH – Bogenhausen; dort seit 1997 Mitarbeit an Studienprojekten zur Apraxie in der EKN; Perfettitheapeutin, Seminarleiterin



RENATE GÖTZE, Ergotherapie-Examen 1988; war in den Bereichen Sucht, Neurologie und geriatrischer Frührehabilitation tätig. Seit 1992 in der Klinik für Neuropsychologie im Klinikum München GmbH – Bogenhausen; Perfettitheapeutin, Seminarleiterin, Fachbuchautorin.



Kontakt: Klinikum München GmbH, Klinikum Bogenhausen, Klinik für Neuropsychologie, Ergotherapie, Engelschalkingerstr. 77, 81925 München

### Zur Funktionalität des Kleinhirns nach „klassischem“ Verständnis

Nach „klassischer“ Auffassung, die bis heute in vielen Lehrbüchern vertreten wird, hat das Kleinhirn als Funktionsbereiche die Feinabstimmung der Muskelkontraktionen, Zielsicherheit und eine flüssig-harmonische Gestaltung der Bewegungsausführung (Vorlesung Perfetti Innsbruck 2007).

Schadé beschrieb 1984: „Alle Impulse, die das Kleinhirn empfängt, haben in gewisser Weise mit der Motorik, der Körperhaltung oder dem Gleichgewicht zu tun. Die Fasern aus dem Großhirn kommen aus Gebieten, die motorische Funktionen haben. Es ist also begreiflich, dass das Kleinhirn eine bedeutende Aufgabe bei der Kontrolle der willkürlichen und unwillkürlichen Bewegung hat. Die Funktion des Kleinhirns kann zusammengefasst werden in Kontrolle und Regulation von Bewegungen, Körperhaltung und Muskeltonus.“ (Schadé 1984, S.69)

Wie einleitend erwähnt, beschränken sich die Beschreibungen der Kleinhirnfunktionen nicht nur in älteren Untersuchungen auf rein motorische Aufgaben. Haus (2005, S.73-75) listet die folgenden Funktionen auf:

- ▶ Stabilisierung der Blickmotorik auf ein Blickziel (Vestibulo-lookulärer Reflex)
- ▶ Steuerung und Korrektur der haltungsmotorischen Anteile (Tonus, Gleichgewicht)
- ▶ Harmonische Durchführung der vom Großhirn entworfenen Bewegungsprogramme, vor allem der Zielmotorik
- ▶ Koordination der Haltungsmotorik mit der Zielmotorik und Korrektur der Bewegungsabläufe

### Symptombeschreibung nach „klassischem“ Verständnis

Als neurologische Symptome bei Funktionsstörungen des Kleinhirns gelten laut Schugens et al. (2000, S.540):

- ▶ Beeinträchtigungen der Koordination von Willkürbewegungen, die sich in Extremitätenataxien äußern. Die in Kraft und Ausmaß unangepassten Willkürbewegungen (Dysmetrie) weichen von der beabsichtigten Zielrichtung ab (Hypo- oder Hypermetrie) oder werden nicht alternierend ausgeführt (Dysdiadochokinese).
- ▶ Gleichgewichts- und Gangstörungen bei Rumpfataxie bzw. bei Schädigung des vestibulären Systems
- ▶ Intentionstremor
- ▶ Zerebelläre Dysarthrie (verlangsamte silbische und unpräzise Sprechweise)
- ▶ Okuläre Dysmetrie (unkoordinierte Blickbewegungen).

Ohne Therapie zeigen Patienten mit Läsionen des zerebellären Systems als Kompensationsstrategien langsam ausgeführte Bewegungen und eine Reduktion der kinematischen Kette, indem sie „Bewegungen in kleinere Segmente (zerlegen), sodass die Freiheitsgrade geringer werden und die Bewegung dadurch leichter kontrolliert werden kann“ (Perfetti 2007, S.182).

### Therapie nach „klassischem“ Verständnis

In der Therapie steht laut Rössler et al. (1997) die Gelenkstabilisierung durch Auftrainieren der Muskulatur im Vordergrund. Dafür stellen die Autoren unterschiedliche therapeutische Konzepte zur Behandlung von Ataxien vor: Durch die Stabilisierung mittels erhöhter Widerstände komme es zur Verbesserung des ataktischen Gangbildes; dabei habe sich das Tragen von Gewichten (z.B. Bleiwesten, mit Sand gefüllte Gürtel, evtl. auch Skischuhe) bewährt. Ziel der Behandlung nach Vojta ist beispielsweise, die Reflexaktivitäten zu nutzen, um unkoordinierte, zittrige Muskelanspannungen zu hemmen und danach gezielt Bewegungen anzubahnen. Ein weiterer Ansatz ist die isometrische Anspannung, bei der quasi durch Kokontraktionen gezieltere Bewegungen/Aktivitäten erreicht werden. Bei der Propriozeptiven Neuromuskulären Fazilitation (PNF) sollten alle Bewegungen gegen z.B. maximalen Widerstand oder Führungswiderstand des Therapeuten durchgeführt werden. Auch Haus (2005) schlägt vor, um die propriozeptiven Informationen an das

Spinocerebellum zu verstärken, in der Therapie z.T. Arm- bzw. Gewichtsmanschetten zur Ausführung zielgerichteter Bewegungen zu verwenden.

## Das Kleinhirn und seine Einbindung in das zerebropontozerebelläre System

### Anatomische Erkenntnisse

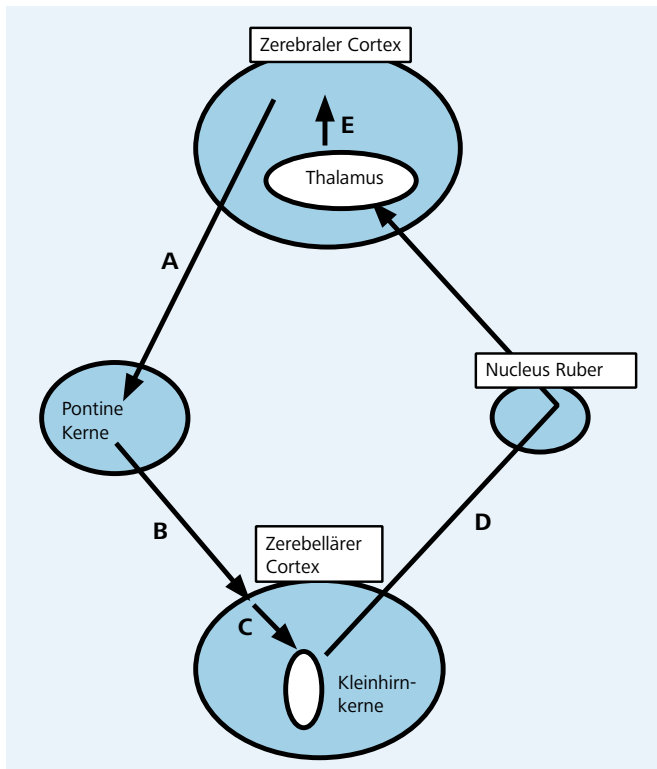
Funktionell gliedert sich das Kleinhirn in das Vestibulozerebellum, das Spinozerebellum und das Neozerebellum oder laterales Zerebellum, deren Fasern jeweils auf einen der drei Kleinhirnerkerne projizieren. Diese verschiedenen Bereiche des Kleinhirncortex sind für unterschiedliche Aufgaben zuständig: Das Spinozerebellum verarbeitet Afferenzen aus dem Rückenmark (somatosensorische Rückkoppelungen aus den Gelenk- und Muskelrezeptoren) sowie Projektionen vom zerebralen Cortex und projiziert auf den Ncl. interpositus. Das laterale Zerebellum erhält vorrangig die Bahnen aus dem zerebralen Cortex über die Brückenkerne und leitet seine Efferenzen zum Ncl. dentatus. Der Ncl. fastigius erhält seine Informationen vor allem aus dem Vermis und vom Lobus flocculonodularis und ist für die Gleichgewichtsverarbeitung zuständig (Schmahmann 1997).

In den letzten Jahren wurde das zerebrozerebelläre System mit der anatomischen Struktur seiner Projektionsbahnen zunehmend genauer erforscht.

Ca. 90% seiner Afferenzen erhält das Kleinhirn von der Großhirnrinde (Thier 2003). Nach Schmahmann (1997, S.32) ist das Kleinhirn in einen komplexen neuronalen Kreislauf mit den zerebralen Hemisphären eingebunden (s. Abb. 1). Dieser enge Kontakt besteht sowohl vom zerebralen Cortex zum Kleinhirn („feedforward“-Verbindung) als auch vom Kleinhirn zurück zu den zerebralen Hemisphären („feedback“-Verbindung). Dabei werden Projektionen aus den verschiedensten Arealen der Großhirnrinde über die innere Kapsel zum Pons und dessen Kernen im Hirnstamm geleitet; von dort erreichen sie über die mittleren Kleinhirnstiele das Kleinhirn. Die Rückprojektionen erfolgen über die entsprechend zugeordneten Kleinhirnerkerne. Diese projizieren über die oberen Kleinhirnstiele auf Hirnstammkerne (Nucleus Ruber, untere Olive etc.) und anschließend zum Thalamus (Schmahmann 1997, S.32). Von dort verlaufen die Bahnen offensichtlich zurück zu den gleichen zerebralen Arealen, aus denen die Projektionen stammen. „Mit anderen Worten, weite Teile des Groß- und des Kleinhirns scheinen über geschlossene Schleifen miteinander verbunden zu sein“ (Thier 2003, S.42-43).

Bereits seit einigen Jahren wurden zerebropontozerebelläre Bahnen erforscht, die von den sensomotorischen Arealen der Großhirnrinde (genauer vom primär motorischen, prämotorischen, supplementär-motorischen Areal sowie vom primär-somatosensorischen Areal) zum Pons verlaufen. Darüber hinaus berichtet Schmahmann (1997, S.33) von direkten und reziproken Faserverbindungen über den Pons zum Kleinhirn, die von Assoziationsfeldern im präfrontalen

## ■ NEUROLOGIE



**Abb. 1:** Diagramm des zerebrozerebellären Kreislaufes.

**Feedforward:** (A) Kortikopontine Verbindung, die assoziative, paralimbische, sensorische und motorische Informationen vom zerebralen Cortex zu den Neuronen der ventralen Brücke vermittelt; (B) Axone aus diesen pontinen Neuronen erreichen den Cortex des Kleinhirns über die pontozerebelläre Verbindung.

**Feedback:** (C) Der zerebelläre Cortex ist mit den tiefen zerebellären Kernen verbunden, die über den Nucleus Ruber zum Thalamus projizieren → die zerebelläre-thalamische Projektion (D); (E) der Thalamus projiziert zurück zum zerebralen Cortex. Zeichnung modifiziert nach Schmahmann 1997, S.32.

Kortex und der hinteren Parietalregion entstammen – also aus nicht sensomotorischen Arealen, die für höhere kognitive Funktionen zuständig sind. Ferner beschreibt er Projektionen aus Rindengebieten, die dem limbischen System zugeordnet werden, wie z.B. dem Parahippocampus und dem Gyrus cinguli. Diese Projektionsbahnen bilden gemeinsam die Grundlage für die Hypothese, dass das Kleinhirn auch in einen nicht-motorischen neuronalen Kreislauf eingebunden ist und neben motorischen, auch kognitive und affektive Verhaltensweisen moduliert.

Wie die Informationen im Kleinhirn verteilt werden, ist nicht vollständig bekannt. Gleiches trifft auf die zerebellären Efferenzen Richtung zerebraler Assoziationsfelder zu, allerdings konnten zumindest bei nicht menschlichen Primaten bereits einige Prinzipien der Organisation innerhalb des Kleinhirns und des Thalamus aufgedeckt werden (z.B. die Zusammenarbeit der jeweiligen Kleinhirnareale mit den entsprechenden Kleinhirnkernen, s.o.). Diese werden Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten sein, um die Organisation der kognitiven und affektiven Funktionen besser zu verstehen (Schmahmann 1997).

### Erkenntnisse aus klinischen Studien im Hinblick auf „Kognition und Kleinhirn“

Klinische Studien geben Hinweise darauf, dass Schädigungen des Kleinhirns mit dysexekutiven Störungen (wie

z.B. der Aufmerksamkeitssteuerung, des Planens und des Problemlöseverhaltens) und Defiziten des motorischen, impliziten Lernens einhergehen (Zoppelt & Daum 2003; Schmahmann 1998). Andere Autoren nennen Beeinträchtigungen bei Gedächtnisprozessen (Arbeitsgedächtnis, räumliches Gedächtnis) und der visuell-räumlichen Informationsverarbeitung (Schugens et al. 2000).

Weiterhin spielt das Kleinhirn in Verbindung mit dem präfrontalen Cortex eine wichtige Rolle bei der zeitlichen Kodierung von Reizen und Handlungen. Schugens et al. (2000) weisen darauf hin, dass Defizite bei der Verarbeitung zeitlicher Informationen gut belegt sind: „(...) in einer Reihe von neuropsychologischen Untersuchungen konnte übereinstimmend nachgewiesen werden, dass Patienten mit zerebellären Läsionen sowohl bei motorischen wie auch bei perzeptiven Leistungen beeinträchtigt sind, wenn die Aufgabe die Verarbeitung zeitlicher Informationen erfordert“ (S.542).

Die bisherigen Untersuchungen über die kognitiven Funktionen des Kleinhirns ergeben aber nach Meinung vieler Wissenschaftler noch kein konsistentes Bild. Sie kritisieren den großen Anteil von Studienteilnehmern mit degenerativen zerebellären Erkrankungen und fordern vermehrte Untersuchungen an Patienten mit umschriebenen Kleinhirnläsionen. Schugens et al. (2000) halten die Entwicklung eines differenzierteren Testmaterials zur Abklärung der räumlichen Leistungen für erforderlich. Zudem bedürfe es weiterer Klärung, was unter dem Begriff „kognitiv“ in Bezug auf das Kleinhirn zu verstehen sei (Perfetti 2007).

### Ergebnisse bildgebender Verfahren

Funktionelle bildgebende Verfahren bestätigen die klinischen Befunde; sie zeigen beispielsweise eine zerebelläre Aktivierung bei Sprachtests, kognitiven Aufgaben mit Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis, bei der Bewegungsvorstellung, bei Planungsaufgaben oder in der Anfangsphase beim motorischen Lernen.

Perfetti (2007) weist jedoch darauf hin, dass eine Aktivierung des Kleinhirns bei kognitiven Aufgaben nicht bedeutet, dass das Kleinhirn für die Generierung dieser kognitiven Funktionen zuständig sei.

### Hypothesen zum motorischen Lernen

Wie bereits erwähnt, wird dem Kleinhirn eine große Bedeutung in der Anfangsphase des motorischen Lernens zugeschrieben. Im Folgenden werden deshalb aktuelle Hypothesen in Bezug auf das motorische Lernen dargestellt.

### Beteiligungen des Kleinhirns bei der Adaption von Verhaltensweisen

Nach Schugens et al. (2000) gibt es bei Patienten mit zerebellären Läsionen übereinstimmende empirische Berichte zu Beeinträchtigungen unterschiedlicher Formen des motorischen Lernens. Der Funktion des Kleinhirns wird u.a. die Adaption von Verhaltensweisen zugesprochen. So gelingt Patienten mit zerebellären Läsionen bei einem Aus-

fall des vestibulookulären Reflexes keine Adaptation ihrer Sehleistungen: Bei Bewegungen des Kopfes kann der Hintergrund nicht mehr fixiert werden, sondern bewegt sich mit. Des Weiteren haben diese Patienten Beeinträchtigungen bei einfachen Formen des motorischen Lernens wie der klassischen Konditionierung. So konnte aufgezeigt werden, dass der Lidschlussreflex von einem bedingten Reiz wie z.B. einem Luftstoß nicht auf einen unbedingten Reiz wie z.B. einen Ton übertragen werden konnte (Perfetti 2007).

### Motorisches Lernen und die motorische Kontrolle

Konczak (2003) schreibt, dass der Begriff des motorischen Lernens irreführend sei. Es müsse vielmehr „sensomotorisches Lernen“ heißen, da kein motorisches Lernen ohne sensorischen Input bzw. sensorisches Feedback möglich sei.

Des Weiteren geht er davon aus, dass „motorisches Lernen nicht losgelöst von den Eigenschaften und Fähigkeiten des motorischen Kontrollsystems betrachtet werden kann“ (Konczak 2003, S.670). Er beschreibt als hypothetischen Mechanismus zwei verschiedene Prozesse der motorischen Kontrolle, die im menschlichen Hirn parallel ablaufen: die „Steuerung“ („feedforward control“) und die „Regelung“ („feedback control“). Dabei erstelle die neuronale Steuerung den motorischen Plan; als Grundbausteine dafür werden sog. invers dynamische Modelle vermutet, die die physikalischen Eigenschaften des Körpers und der auf ihn wirkenden Kräfte abbilden. Die „Regelung“ ist für die Anpassung und Veränderung zuständig. Sie „(...) benötigt einen oder mehrere sensorische Eingänge, um eine bestimmte Istgröße (z.B. räumliche Abweichung von einem zu ergreifenden Gegenstand) einer vorgegebenen Sollgröße anzugleichen“ (Konczak 2003, S.670). Die invers dynamischen Modelle seien adaptive neuronale Repräsentationen des Muskel-Skelett-Systems und somit „Repräsentationen der Dynamik des Körpers“, die sowohl die Veränderungen des Körpers als auch die ständig wechselnden Kräfte, die auf den Körper einwirken, widerspiegeln. Entsprechend dem zugrunde liegenden Modell fungieren sie als „Kontroller, der garantiert, dass motorischer Plan und Ausführung übereinstimmen.“ Fehlerhafte invers dynamische Modelle führten zu Dyskoordination und verhinderten den Erwerb von Fertigkeiten. Diese invers dynamischen Modelle würden im Kleinhirn und im motorischen Cortex vermutet, wobei Konczak betont, dass es kein neuroanatomisch lokalisiertes Zentrum motorischen Lernens gebe, vielmehr sei dies „(...) ein neuroanatomisch verteilter Prozess“ (S.676). Innerhalb dieses Systems der Voraussage und Anpassung (Prädiktion und Adaptation) wird dem Kleinhirn eine bedeutende Rolle vor allem in der Initialphase des Lernprozesses zugeschrieben. Es erhalte vom Großhirn eine „Efferenzkopie“ der motorischen Kommandos an die spinalen Neurone, also der geplanten Bewegung. Gleichzeitig erhalte das Kleinhirn bereits verarbeitete Informationen aus fast allen sensorischen Arealen des Großhirns und über die spinalen Afferenzen Informationen über die aktuelle Position und Geschwindigkeit der Gliedmaßen. Letztere werden über die Olive mittels

Kletterfasern projiziert. Die Art der Verknüpfung der entsprechenden Fasern untereinander scheint den Kletterfasern einen Kontrollmechanismus über die Purkinjezellen des zerebellären Cortex zu ermöglichen. Dadurch können sie die große Masse an Informationen aus dem zerebralen Cortex adaptieren. Die auf diese Art und Weise angepassten bzw. modulierten Informationen werden anschließend über den bereits beschriebenen Weg via Thalamus zu den zerebralen Arealen zurückprojiziert.

Vermutlich kann diese Hypothese der Verhaltensadaptation mit dem von Panté (2006) vorgestellten Modell des Aktionsakzeptators von Anochin verglichen werden: Um eine zielgerichtete Handlung auszuführen (z.B. ein Objekt ergreifen), wird eine Afferenzsynthese aus den eingeholten Informationen vom eigenen Körper (Position des Körpers und der Gliedmaßen im Raum) und von der Umwelt bzw. dem Objekt (Position im Raum; Eigenschaften wie Form, Oberflächenbeschaffenheit, Gewicht) gebildet. Diese Informationen werden zu einem Bewegungsplan verarbeitet, der dann als efferentes Integral in die Peripherie zur Ausführung der Tätigkeit geleitet wird. Parallel bildet der Aktionsakzeptator – analog der perzeptiven Hypothese – eine Vorhersage/Erwartungshaltung über sämtliche Aspekte der auszuführenden Bewegung aus. Diese antizipierte Bewegung wird mit den Rückafferenzen aus der Peripherie, die die tatsächlich ausgeführte Bewegung rückmelden, verglichen. Bei Diskrepanzen leitet der Aktionsakzeptator Anpassungsreaktionen ein. Er hat somit die Funktion der Kontrolle und leitet eine Adaptation des Verhaltens ein. Bildet der Patient keinen adäquaten Aktionsakzeptator oder keine Rückafferenzen, bzw. gelingt der Vergleich zwischen beiden nicht, haben diese Patienten Schwierigkeiten bei der Vorstellung einer Bewegung (motorische Imagination, Bildung der perzeptiven Hypothese) oder sie können Bewegungsqualitäten nicht erkennen. In der Folge entstehen Beeinträchtigungen in der Bewegungsausführung.

Zur Beteiligung des Kleinhirns bei diesen Prozessen schreiben Zoppelt und Daum (2003, S.549): „Motorisch steuert das Kleinhirn die Ausführung von Handlungssequenzen durch einen fortlaufenden Vergleich mit den kortikalen motorischen Programmen und mit den Motoneuronen des Rückenmarks.“ Konczak (2003, S.676) betont, die Bedeutung des Kleinhirns für das motorische Lernen sei unbestritten: „Die Vorausberechnung der an den Gelenken wirkenden Kräfte und die Interaktionen dieser Kräfte bei Mehrgelenkbewegungen sind entscheidend für eine koordinierte Bewegungsausführung. Bei Patienten mit Kleinhirnläsionen ist diese Art der Vorhersage (Prädiktion) gestört und es kommt zu ataktischen Bewegungen, besonders bei schnellen Bewegungen.“ Inwieweit das Kleinhirn über diese Adaptationsfähigkeit hinaus auch am Erlernen komplexerer motorischer Aufgaben beteiligt ist, scheint jedoch fraglich zu sein.

### Therapierelevante Erkenntnisse aus neueren Studien

Um eine Rehabilitationstheorie mit geeigneten Übungen für Patienten mit Schädigungen des pontozerebellären Systems

erstellen zu können, bedarf es laut Perfetti (2007) weiterer wissenschaftlicher Forschungsarbeiten. Gleichwohl wurden seiner Ansicht nach bereits einige für die Therapie relevante Aspekte deutlich:

Als wichtige Studienergebnisse hebt er u.a. die von Decety et al. (1990) und Bower et al. (1997) hervor. Decety et al. baten Probanden um die Durchführung von zwei Aufgaben: Die erste war eine Kopfrechenaufgabe; in der zweiten sollten sie sich nur vorstellen, wie sie eine Zielscheibe mit einem Ball treffen, den sie mit einem Tennisschläger abschlagen. Diese Studie konnte aufzeigen, dass das Kleinhirn auch bei der reinen Bewegungsimagination aktiv ist, also ohne beabsichtigte Bewegung. Dabei zeigte das Kleinhirn die stärkste Aktivierung aller beteiligten Hirnregionen. Zudem war es auch bei der Lösung der Kopfrechenaufgabe aktiv, also bei einer Aufgabe, die keine mentale Bewegungsvorstellung verlangte. Die Ergebnisse werden unterschiedlich interpretiert: als die Aktivierung kognitiver Prozesse, oder aber als das Ergebnis ausschließlich motorischer Imagination (auch bei der Lösung der Rechenaufgabe). Nach Perfetti wird von einigen Autoren die motorische Imagination als die Voraussicht zukünftiger Handlungen interpretiert, wonach die Imagination der Simulation einer Problemlösung gleichkomme. Diese Ansicht könnte laut Perfetti bei der Erarbeitung einer Übung nützlich sein, da – analog seiner früheren Ausführungen – die motorische Imagination mit der Bildung einer perzeptiven Hypothese teilweise gleichgesetzt werden könne.

Perfetti (2007, S.193) betont, dass die bisherigen Studien über das motorische Lernen aufzeigen, „dass das Kleinhirn nicht als Speicherplatz für motorische Schemata oder Repräsentationen angesehen werden kann (...)“, die – falls überhaupt vorhanden – vermutlich auf viele zerebrale Strukturen aufgeteilt wären.

Die Studien stimmten darin überein, dass eine Aktivierung des Kleinhirns nicht von der Komplexität der auszuführenden Bewegung abzuhängen scheinen, sondern eher „von der Komplexität des zu lösenden Problems“ (Parson et al. 1997). Zudem sei das Kleinhirn vor allem in der Initialphase des Lernprozesses einer Bewegung eingeschaltet; bei einem fortgeschrittenen Lernprozess mit einer eher automatisierten Bewegungsdurchführung gehe die Aktivität des Kleinhirns deutlich zurück. Weitere Übereinstimmung hinsichtlich der Aktivierung des Kleinhirns liege vor, wenn kognitive Probleme zu bearbeiten sind – sogar unabhängig von einer motorischen Beteiligung.

Perfetti verweist hier auf Bower et al. (1997), der nach Studien an Ratten einen hypothetischen Funktionsmechanismus des Kleinhirns für die taktile Perzeption aufstellte. Demnach wäre die Aufgabe des Kleinhirns, die Daten zu kontrollieren, die von anderen Strukturen des Zentralnervensystems im Hinblick auf ein gestelltes Problem erhoben wurden. Um das Problem optimal zu lösen, rege das Kleinhirn die kortikalen motorischen Zentren an, durch Fragmentierung der zuständigen Rezeptoroberflächen die Qualität der Datenerhebung zu verbessern. Dabei scheint das Kleinhirn die

Aufmerksamkeit auf die Daten zu lenken, die für die Ausführung der Aufgabe am wichtigsten zu sein scheinen und die einer genaueren Bearbeitung bedürfen (Akshoomoff et al. 1997)

Weitere Studien, die die Beteiligung des Kleinhirns an unterschiedlichen Aufgabenstellungen vergleichen, bestätigen: Das Kleinhirn wird bei rein motorischen Anforderungen kaum aktiv, selbst wenn sie sehr komplexe Bewegungen beinhalten wie das Greifen und Manipulieren kleiner Objekte. Vielmehr zeigt sich eine sehr hohe Aktivierung, wenn Problemstellungen beispielsweise in Form von Erkenntnisprozessen gelöst werden sollen (z.B. Unterscheidung der Form von Objekten in der rechten und der linken Hand, Gao et al. 1996). Auch diese Autoren sehen die Aufgabe des Kleinhirns darin, die vorhandenen sensomotorischen Daten zu analysieren und eine Optimierung zu organisieren.

Perfetti (2007, S.200) fasst zusammen: „(...) je mehr eine Handlung mit einem Erkennungsproblem verbunden ist, desto stärker ist die Aktivierung des Kleinhirns.“ Dabei „(...) sorgen die Assoziationsfelder des Kortex (...) über die kortiko-pontinen Fasern dafür, dass das Kleinhirn über die (...) Qualität jener Informationen unterrichtet wird, die für die Lösung des Erkennungsproblems verbessert werden müssten“. Auf der Basis dieser Informationen veranlasse das Kleinhirn wiederum den motorischen Cortex, die Rezeptoroberfläche entsprechend zu fragmentieren. Somit solle letztlich die Problemlösung herbeigeführt werden, die durch die perzeptive Hypothese vorgesehen war.

Verschiedene Autoren weisen auf Sensibilitätsstörungen bei Patienten mit zerebellären Läsionen hin. Sie zeigen Schwierigkeiten der Patienten auf, Gewichte zu erkennen und zu vergleichen, oder die Reizdauer und Reizgeschwindigkeit in den MCP-Gelenken korrekt wahrzunehmen (Grill et al. 1994). Andere Forscher bezweifeln jedoch das Vorhandensein elementarer Sensibilitätseinbußen, zumindest von Einbußen in einem Ausmaß, das Verhaltensänderungen bewirken könne (Shimansky et al. 1997). Sie zeigen auf, dass das visuelle Wiedererkennen von Objekten beeinträchtigt ist, die zuvor – durch Nachfahren ihrer Form – kinästhetisch erfasst wurden. Diese Autoren stellen die Hypothese auf, dass Patienten mit zerebellären Läsionen zwar ausreichend wahrnehmen, diese Informationen jedoch nicht nutzen können, um eine kinästhetische Darstellung der Außenwelt zu bilden.

### **Schlussfolgerungen für ein verändertes therapeutisches Vorgehen**

Die beschriebenen Erkenntnisse legen die Notwendigkeit des Umdenkens bezüglich des bisher gängigen therapeutischen Vorgehens nahe. Nach Perfetti (2007) lassen sich Kriterien ableiten, die in der Kognitiven Therapie mit Patienten mit Läsionen des Kleinhirns bzw. Läsionen des zerebropontozerebellären Systems relevant sind. Bei der Erarbeitung von Übungen ist nach seiner Auffassung Folgendes zu beachten:

- ▶ Die Trennung zwischen motorischen und sensiblen Anteilen ist aufzuheben; beide Aspekte würden vielmehr ineinander greifen bei der vorrangigsten Aufgabe, dem Einholen und Konstruieren von Informationen.
- ▶ Nicht die kinesiologische Komplexität ist relevant; vielmehr ist die kognitive Komplexität der Aufgabenstellung von Bedeutung, nach der jede Übung ein Problem darstellen muss, das der Patient nur durch die Fragmentierung des eigenen Körpers lösen kann.
- ▶ Statt einfache, geübte, oder gar automatisierte Bewegungen zu wiederholen, betont Perfetti die Notwendigkeit, den Patienten mit immer wieder neuen Situationen zu konfrontieren; nur diese würden Problemsituationen darstellen, die ein Ausarbeiten von Regeln und ein Korrigieren von Fehlern erforderlich machten.
- ▶ Das Üben eingelenkiger Bewegungen solle ersetzt werden durch fragmentierte Bewegungen über mehrere Gelenke. Die Reduktion der kinesiologischen Kette entspreche der als „Asynergie“ beschriebenen Kompensationsstrategie zerebellärer Patienten, ihre Bewegungen zu kontrollieren.
- ▶ „Bewegungen unterschiedlicher Art müssen durch Anforderungen unterschiedlicher Art wieder hergestellt werden“ (Perfetti 2007, S.201): z.B. Fingerbewegungen für Manipulationsaufgaben versus Handgelenksbewegungen für Greifbewegungen.
- ▶ Auch passive Bewegungen aktivieren das Kleinhirn, solange die Bewegungen mit Erkenntnisprozessen verbunden sind und damit Informationen eingeholt werden müssen (Gao et al. 1996).
- ▶ Die perzeptive Hypothese und die motorische Imagination als Simulation einer schwierigen Bewegung sollten Bestandteile der Übungen sein. Bei der motorischen Imagination ist das Kleinhirn die neurologische Struktur mit der größten Aktivierung. Sie könnte „ein Instrument darstellen, um die zerebellären Mechanismen der antizipatorischen Informationsgewinnung leichter zu aktivieren“ (Akshoomoff 1997, zit. n. Perfetti 2007, S.201). Da die „perzeptive Hypothese ein grundlegender Mechanismus für die Auswahl der Informationen ist, die für die Lösung des Erkennungsproblems notwendig sind“ (Perfetti 2007, S.202), könne man vermuten, dass an dieser Phase der Übungen die Kleinhirnstrukturen beteiligt seien. ■

## Literatur

- Akshoomoff N, Courchesne E, Townsend J. Attention, coordination and anticipatory control. *International Review of Neurobiology*. 1997, 41, 575-598
- Bower JM. Control of sensory data acquisition. *International Review of Neurobiology*. 1997, 41, 489-513
- Decety I, Sjöholm H, Ryding E, Sternberg G, Ingvar DH. The cerebellum participates in mental activity: tomographic measurements of regional cerebral blood flow. *Brain Research*. 1990, 535, 313-317
- Gao JH, Parson L, Bower JM. Cerebellum implicated in sensory acquisition and discrimination rather than in motor control. *Science*. 1996, 272, 545
- Grill S, Hallett M, Marcus C, Mc Shane L, Ugurbil K. Disturbances of kinaesthesia in patients with cerebellar disorders. *Brain*. 1994, 114, 1433-1447
- Haus KM. *Neurophysiologische Behandlung bei Erwachsenen*. Heidelberg: Springer Verlag, 2005
- Konczak J. Motorisches Lernen. In: Karnath HO, Thier P, Hrsg. *Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer Verlag, 2003, 669-676
- Panté F. Funktionelles System der Manipulation des Greifens. Vorlesung, gehalten im Rahmen des „Examenskurs 2006/2007 Corso di 1° livello: Die kognitiv therapeutische Übung nach Prof. Perfetti“, München, 2006
- Parsons LM, Bower J, Gao J, Xiong J. Lateral cerebellar hemisphere activity support sensory acquisition and discrimination rather than motor control. *Learning and Memory*. 1997, 4, 49-62
- Perfetti C. Die Behandlung zerebellärer Störungen. In: Perfetti C. *Rehabilitieren mit Gehirn*. München: Pflaum, 2007, 174-224
- Rößler A, Schettler E, Welter FL. Physiotherapie. In: Welter FL, Schönle PW, Hrsg. *Neurologische Rehabilitation*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1997, 81-99
- Schadé JP. Einführung in die Neurologie. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1984
- Schmahmann J. The cerebrotocerebellar System. *International Review of Neurobiology*. 1997, 41, 31-60
- Schmahmann J, Sherman J. The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain*. 1998, 121, 561-579
- Schugens M, Ackermann H, Daum I. Neuropsychologische Defizite nach Kleinhirnläsionen. In: Sturm W, Herrmann M, Wallech C-W, Hrsg. *Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie*. Lisse: Swets & Zeitlinger, 2000, 539-544
- Shimansky Y, Saling M, Wunderlich DA, Bracha V, Stelmach GE, Boedel JR. Impaired capacity of cerebellar patients to perceive and learn two-dimensional shapes based on kinesthetic cues. *Learning and Memory*. 1997, 4, 36-48
- Thier P. Cerebellum. Beiträge subkortikaler Strukturen zu kognitiven Leistungen. In: Karnath HO, Thier P, Hrsg. *Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer Verlag, 2003, 536-540
- Zoppelt D, Daum I. Exekutive und mnestiche Funktionen. In: Karnath HO, Thier P, Hrsg. *Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer Verlag, 2003, 542-550

### info plus

#### Teil 2 in Ausgabe 4/2008

- Praxis – Therapeutisches Vorgehen, Übungsbeispiele, Patientenvorstellung (Zustand nach Kleinhirnläsion)

#### Teil 3 in Ausgabe 5/2008

- Praxis – Zweites Patientenbeispiel (Zustand nach Ponsläsion)

## Tonbrennofen

ALFORN  
VERTRIEB

www.alforn.de

Telefon 040-71486080  
Di - Fr 10:00 - 15:30

Primus 70 Liter\*  
230 Volt

€ 895,- Preis inkl. MwSt.

\*Stromverbrauch nur  
ca. € 3,35 pro Brand



Energiesparofen von GFC

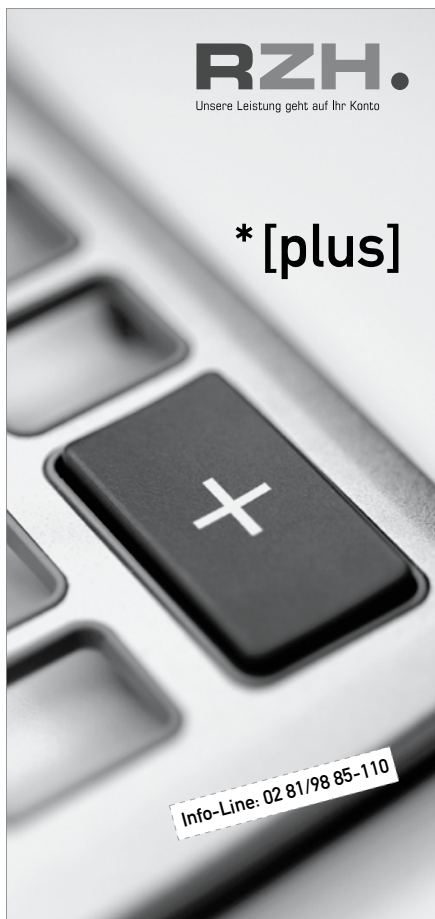
### Prof-Schutz

#### Spezielles Versicherungskonzept für Ergotherapeuten/innen

**Berufshaftpflichtversicherung** 1 Inhaber jährlich **72,- €**, Privathaftpflicht für Inhaber 40,- €, jeweils zzgl. Versicherungssteuer. Praxis-Ausfall- u. Einrichtungsversicherung, Rechtsschutz-, Renten-, Berufsunfähigkeits-, Kranken- u. private Versicherungen, Fondsanlagen

Inhaber: Holger Ullrich • Marsportengasse 6 • D-50667 Köln  
Telefon (02 21) 35 66 69 - 0 • Telefax (02 21) 35 66 69 - 29  
ergotherapie@ullrich-versicherung.de • www.ullrich-versicherung.de

ULLRICH  
RECHTSANWÄLTE UND FINANZBEREITER



## Abrechnung und mehr\*

**Wir rechnen ohne Risiko für Sie ab, da können Sie ganz sicher sein. Sie profitieren von umfassendem Service mit Know-how – schneller Abwicklung und kostenfreier Online-Überweisung zu fairen Preisen sowie flexiblen Einsendeterminen. Weitere Vorteile für Sie:**

- ▶ Mit Datenträgeraustausch vermeiden  
Sie Rechnungskürzungen bis zu 5 %!
- ▶ Variable Auszahlungstermine
- ▶ Aussagekräftige Dokumentationen sorgen für den absoluten Durchblick
- ▶ Feste Ansprechpartner
- ▶ Software zur Abrechnungsvorbereitung
- ▶ Abrechnung auch mit Branchensoftware/Kooperationspartnern und Schnittstellen möglich

RZH Rechenzentrum für Heilberufe GmbH  
Am Schornacker 32 · D-46485 Wesel  
Telefon 02 81/98 85-0 · Telefax 02 81/98 85-120  
www.rzh-online.de · info@rzh-online.de



## Zusammenfassung

**Das Kleinhirn und das zerebropontozerebelläre System  
Kognitiv therapeutische Übungen nach Perfetti bei Patienten mit Läsionen im Bereich des Kleinhirns und der Pons, Teil 1: Theoretische Grundlagen**

Dem Kleinhirn werden in neueren Studien über seine motorischen Funktionen hinaus auch Beteiligungen an kognitiven Prozessen und affektiven Verhaltensweisen zugeschrieben. Diese neuen Erkenntnisse geben wichtige Anstöße für veränderte Vorgehensweisen in der Therapie sensomotorischer Beeinträchtigungen nach Kleinhirn- oder Ponsläsionen. So fordert Perfetti (2007), die Trennung zwischen motorischen und sensiblen Anteilen einer Bewegung aufzuheben. Vielmehr sollten alle Übungen einen Erkenntnisprozess beinhalten und ein Problem darstellen, das nur durch fragmentierte Bewegungen zu lösen sei. Kriterien wie das Arbeiten über mehrere Gelenke, der Einsatz der motorischen Imagination und das Konstruieren immer neuer Problemstellungen seien bei der Planung und Durchführung der Therapie beachtenswert.

**Schlüsselwörter:** ♦ Kleinhirn ♦ Pons ♦ Zerebropontozerebelläres System ♦ Perfetti ♦ Kognition ♦ motorisches Lernen ♦ perzeptive Hypothese ♦ motorische Imagination

## Summary

**The Cerebellum and Cerebral Pontocerebellar System  
Perfetti's cognitive therapeutic exercises for patients with lesions in the cerebellum and pons, Part I**

In recent studies the cerebellum has been attributed, beyond its motor functions, with involvement in cognitive processes and emotional behaviour. These new findings encourage a change in the approach to the therapy used to treat sensomotor deficiencies resulting from cerebral or pontile lesions. Thus Perfetti (2007) demands that the separation between the motor and sensory parts of a movement be done away with; every exercise should be a learning experience presenting a problem that can only be solved by fragmented movements. Criteria such as working on several joints, using motor imagination and constantly constructing tasks in new ways are noteworthy elements in the planning and execution of therapy.

**Key words:** ♦ cerebellum ♦ pons ♦ cerebral pontocerebellar system ♦ Perfetti ♦ cognition ♦ motor learning ♦ perceptive hypothesis ♦ motor imagination

## Résumé

**Le cervelet et le système cérébro-ponto-cérébelleux  
Exercices thérapeutiques cognitifs d'après Perfetti auprès de patients cérébrolésés dans la région du pont et du cervelet, 1ière partie : Données de bases théoriques**

Selon de nouvelles études, on attribue au cervelet, en plus de ses fonctions motrices, une participation aux processus cognitifs, ainsi qu'aux comportements affectifs. Ces nouvelles constatations donnent d'importantes impulsions pour un changement de procédé dans le traitement de troubles sensomoteurs lors de lésions du cervelet et du pont. C'est ainsi que Perfetti (en 2007) demande de cesser de séparer les parties motrices et celles sensibles d'un mouvement. Bien plus, tous les exercices devraient contenir un procédé de constatation et présenter un problème, que seul la fragmentation des mouvements pourraient résoudre. Il faudrait tenir compte de critères tels que le travail de plusieurs articulations, l'intervention de l'imagination motrice et la construction incessante de nouvelles poses de problèmes lors de la planification et de l'application du traitement thérapeutique.

**Mots clefs:** ♦ cervelet ♦ pont ♦ système cérébro-ponto-cérébelleux ♦ Perfetti ♦ cognition ♦ apprentissage moteur ♦ hypothèse ♦ imagination motrice

# Diskussionsforum

**Fragen, Unterstützung und fachlicher Austausch mit BerufskollegInnen!**

Herzlich willkommen im neuen Diskussionsforum!  
Hier können Sie Fragen stellen, Kommentare abgeben,  
sich austauschen über fachspezifische Interessen etc. etc.  
Schauen Sie doch mal rein!

[www.forum-ergotherapie.de/talke](http://www.forum-ergotherapie.de/talke)

Das Gesundheitsforum