

Entwicklung eines sensomotorischen Feedbacktrainingsgerätes für den begleitenden Einsatz in der neuronalen Rehabilitation

C. Raschner
S. Lemberg
E. Mildner
H.-P. Platzer
C. Patterson

Zusammenfassung

Neuronale Erkrankungen oder Defizite infolge eines Unfalles resultieren häufig in verminderten Gleichgewichtsleistungen. Sensomotorisches Training auf instabilem Untergrund ist dabei zu einem wichtigen Bestandteil in der Bewegungstherapie dieser Patienten geworden. Mit dem MFT S3 Check existiert seit geraumer Zeit ein evaluiertes Testverfahren zur funktionalen Bewertung der Körperstabilität und sensomotorischen Regulationsfähigkeit im beidbeinigen Stand. Dieses Testverfahren stellt die Ausgangsbasis für ein neu entwickeltes sensomotorisches Feedback-Trainingsgerät (Coordi) dar. Wissenschaftliche Studien belegen, dass visuelles Feedback die Motivations- und Informationsebene bereichert und dadurch die Optimierung des Zusammenspiels der sensorischen und motorischen Fähigkeiten positiv beeinflusst. Das angesprochene Assessment-Verfahren stellt an den Patienten sowohl quasi statische als auch dynamische Bewegungsaufgaben. Fünf unterschiedliche Schwierigkeitslevel und die Möglichkeit, eigene Trainingsprotokolle zusammenzustellen, ermöglichen es dem Therapeuten, das Training dem jeweiligen Leistungsstand und den Bedürfnissen des Patienten anzupassen und ein individuelles und effektives Training durchzuführen. Die Anwendung des Coordi als Testgerät bei sensomotorischen Eingangsdiagnosen und Verlaufskontrollen ermöglicht eine differenzierte Auswertung der erbrachten Leistungen bei den verschiedenen Bewegungsaufgaben.

Stichworte: Gleichgewicht, sensomotorisches Feedbacktraining, Diagnostik

► Einleitung

Eine optimale Erstversorgung und stetig verbesserte medizinische Behandlungsmethoden, ermöglichen vielen Menschen, nach schweren Schädigungen des Nervensystems zu überleben. In weiterer Folge werden Behandlungsformen in Anspruch genommen, die auf eine mehr oder weniger erfolgreiche Wiederherstellung ver-

loren gegangener oder beeinträchtigter Bewegungsfunktionen abzielen. Letztendlich ist die Wiedereingliederung in das soziale Umfeld oder den beruflichen Alltag mittels interdisziplinärer Behandlungsmethoden anzustreben. Speziell bei Schlaganfallpatienten sind motorische Defizite sehr häufig zu beobachtende Symptome. Für nachhaltige Funktionsverbesserungen von Bewegungen des täglichen Lebens wird der neurologischen Frührehabilitation und nachfolgenden Trainingstherapie ein großer Stellenwert beigemessen. Aufgrund knapper werdender finanzieller Mittel verlangen immer mehr Kostenträger im Gesundheitswesen Effizienznachweise für

angewendete Maßnahmen [7]. Zur Qualitätssicherung des Rehabilitationsprozesses sind einerseits zuverlässige Assessment-Verfahren notwendig [30], andererseits sind möglichst effiziente Rehabilitations- und Trainingsmethoden anzuwenden. Hierbei ist die Adaptierung von wissenschaftlich abgesicherten Methoden aus dem Leistungssport an die spezielle Behandlungsform für Patienten anzustreben und stellt eine große Herausforderung für alle Beteiligten dar.

Eine gute Gleichgewichtsfähigkeit ist Grundvoraussetzung für fast alle Aktivitäten im täglichen Leben. Einschränkungen durch Alterserscheinungen oder neuronale Erkrankungen (z. B. Schlaganfall, Parkinson) resultieren häufig in einem höheren Sturzrisiko und damit verbundenen Folgeverletzungen [24, 29]. Durch die Plastizität unseres Gehirns bestehen dabei durchaus berechtigte Hoffnungen einer teilweise oder gar vollständigen Rückbildung motorischer Defizite [20]. Dem sensomotorischen Training ist unter diesem Gesichtspunkt bei Patienten mit neuronalen Beeinträchtigungen ein hoher Stellenwert in der Ergo-, Physio- und Sporttherapie einzuräumen. Therapiegeräte, die eine instabile Unterstützungsfläche generieren und somit die Dynamik vieler Alltagssituationen simulieren, kommen in der Rehabilitation verstärkt zum Einsatz. Der Vorteil eines Trainings unter instabilen Bedingungen basiert auf neuromuskulären Adaptationen [1]. Mehrfach wurden höhere Muskelaktivitäten im Vergleich zu stabilen Bedingungen nachgewiesen [9, 15, 32]. Gruber und Gollhofer [9] führen dies auf zusätzliche reflektorische Antworten der Muskulatur zurück. Dabei führen sowohl spinale als

Institut für Sportwissenschaft,
Universität Innsbruck

Eingegangen: 21.06.2008
Angenommen durch Review: 19.09.2008

auch supraspinale Mechanismen zu einer verbesserten Ansteuerung der Muskulatur [9]. In diesem Zusammenhang sind auch verbesserte Kraftfähigkeiten infolge sensomotorischen Trainings zu sehen [8, 11, 17]. Vorteile einer gut ausgebildeten Sensomotorik konnten zudem in einer Vielzahl an Studien aus den Bereichen Verletzungsprävention und -rehabilitation von Sprung- und Kniegelenksverletzungen nachgewiesen werden [6, 33, 22, 18].

Die Firma MFT (Multifunktionale Trainingsgeräte GmbH) ist Spezialanbieter für, je nach Zielgruppe unterschiedlich, modular aufgebaute Gleichgewichts-Discs. Das Konzept umfasst neben einem individuellen, progressiv gestalteten Training ein Testsystem (S3Check) zur Verlaufskontrolle von Training und Therapie.

Ziel des vorliegenden Projektes war die Entwicklung eines sensomotorischen Feedbacktrainingsgerätes. Positive Effekte eines visuellen Feedbacks wurden bereits mehrfach beschrieben und sollen den gewünschten Trainingserfolg unterstützen.

► Wissenschaftliche Erkenntnisse von Feedbacktraining

Zahlreiche Untersuchungen dokumentieren, dass adäquat angewandte Feedbackverfahren dem Erlernen und der Optimierung motorischer Fähig- und Fertigkeiten dienen. Ursächlich dafür scheint die Möglichkeit der Fokussierung auf den Bewegungs-Output. Dies wird in der Fachliteratur [25] als Vorteil im Bewegungslernen erachtet. Traditionell wird die Rolle von Feedback als Bereicherung der Motivations- und Informationsebene gesehen.

Trainer und Athleten setzen verschiedene Formen des Feedbacks gezielt im Techniktraining zum Erreichen eines Leistungsoptimums ein [16]. Im Leistungssport kommen sportartspezifische Simulationsgeräte zum Einsatz, die ein Training unabhängig von äußeren Bedingungen gestatten [14]. Diese eröffnen die Möglichkeit der Sofortinformation über relevante Leistungsparameter. Auch unter Feldbedingungen kommen Feedbackverfahren zum Einsatz. So beschreiben Smith und Loschner [28] ein System, das im Rudersport dem

Athleten und Trainer eine Sofortinformation über kinetische Parameter liefert.

Mittels Feedback konnten positive Effekte ebenso beim Training konditioneller Fähigkeiten nachgewiesen werden. Durch visuelle (z.B. Darstellung von Kraftkurven) und verbale Rückmeldungen gelang es bei Maximalkraftübungen, die Leistung signifikant zu erhöhen [5, 13]. Metsios et al. [19] wiesen zudem bessere Ergebnisse infolge gezielter Rückmeldung bei kardiorespiratorischen Fitnesstests nach. In diesem Zusammenhang scheint die Erhöhung der Muskelaktivität durch verschiedene Formen des Feedbacks zu stehen [10, 12].

Von besonderem Interesse sind computergestützte Rückmeldeverfahren im therapeutischen Bereich. In der Literatur wird mehrfach vom feedbackgestützten Gleichgewichtstraining gesprochen. Die Ziele liegen in einer gesteigerten Standstabilität, einer Senkung der Asymmetrien und einer Förderung der dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit. Häufig wird dieses Training mit Kraftmessplatten durchgeführt, die ein visuelles Feedback des Körperschwerpunktes ermöglichen und somit zu einer Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit führen [21]. Eine diesbezügliche Besserung bei funktionellen Alltagsaufgaben konnte bei Patienten mit Rückenmarks- bzw. Kopfverletzungen [2], bei Schlaganfallpatienten [26, 31] und Altersheimbewohnern [27] nachgewiesen werden.

Des Weiteren berichten Brettmann et al. [3] vom Erfolg feedbackorientierter Interventionsverfahren (verbale Instruktion, Videofeedback und Therapiespiegel beim Gehtraining) zur Verbesserung des Gangbildes nach hüftendoprothetischer Versorgung.

► Trainingsmethodische Hinweise zur Entwicklung eines sensomotorischen Feedbacktrainingsgerätes

Die Bewegungskoordination wird als eine Basisfähigkeit mit positiver Ausstrahlung auf viele Aktivitäten des täglichen Lebens angesehen. Gibt es etwa im Ausdauertraining exakte Vorgaben für die Verbesserung der Grundlagenausdauer oder im Krafttraining unterschiedliche Methoden, um die Maximal- oder Schnellkraft zu verbessern, mangelt es aufgrund der Vielfalt

an Einflussfaktoren im Koordinationstraining noch in vielen Fällen an wissenschaftlich evaluierten Methoden und Richtlinien.

Die physiologische Grundlage der Bewegungskoordination bildet das sensomotorische System mit neuromuskulären Signalen von Wahrnehmungsrezeptoren zur optimalen Informationsaufnahme und Verarbeitung [4]. Ein wesentlicher Inhalt des sensomotorischen Trainings sind Übungen auf instabilem Untergrund. Die Anzahl an vorhandenen Geräten ist groß, wengleich dem Training in den wenigsten Fällen ein methodisch ausgereiftes Konzept zugrunde liegt. Speziell die sukzessive Zunahme von Freiheitsgraden in Form der Bewegungsachsen stellt aus Sicht der Autoren eine sinnvolle Voraussetzung dar. Neben der modularen Erweiterung der Bewegungsachsen könnte während der Übungsausführung auch dem Aspekt Rhythmisierung vs. Stabilisierung mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Gemeint ist damit der planmäßige Wechsel von Wippbewegungsphasen und Stabilisationsphasen.

► Entwicklung eines sensomotorischen Feedbacktrainingsgerätes – Coordi

Hardware

Ausgangsbasis des neu zu entwickelnden Feedbacktrainingsgerätes war der MFT S3Check, ein evaluiertes Testverfahren zur funktionalen Bewertung der Körperstabilität und sensomotorischen Regulationsfähigkeit im beidbeinigen Stand [23]. Mehrere dieser Hardwarekomponenten fanden im neuen Gerät, dem Coordi, Verwendung. Die runde Standplatte misst im Durchmesser 530mm und ist durch vier Gummipuffer mit einer stabilen Bodenplatte verbunden. Die Anordnung der Gummielemente erfolgte im Zentrum der runden Platten in quadratischer Ausrichtung. Dadurch ist einerseits eine spürbare Achsenpräferenz gegeben, andererseits ein Kippen der Standplatte in alle Ebenen möglich. Der maximale Kippwinkel beträgt 12°. Verlagert die auf dem Coordi stehende Person ihren Körperschwerpunkt bzw. übt sie einseitigen Druck auf die Standfläche aus, führt dies zu einem

Kippen der Standplatte. Diese Plattenbewegungen werden von einem dreidimensionalen Neigungssensor erfasst. Der Messbereich des Sensors beträgt 20° , bei einer Messgenauigkeit von $0,5^\circ$ und einer Abtastrate von 100Hz. Über eine USB-Schnittstelle werden die Messwerte in eine Software eingelesen. Ein optimales visuelles Feedback erzielt man, wenn der Computerbildschirm in Schulterhöhe vor dem Übenden positioniert wird. Zur Sicherheit der trainierenden Personen befinden sich seitlich Haltebügel, die ein Aufsteigen auf die Standplatte erleichtern bzw. bei etwaigem Verlust des Gleichgewichtes ein sofortiges Festhalten mit den Händen ermöglichen.

Software

Nach Abschluss von Überlegungen hinsichtlich eines, für eine möglichst breite Zielgruppe geeigneten, Feedbacktrainings wurde von Seiten der Firma MFT die Programmierung in Auftrag gegeben. Die Erstversion umfasst bei Programmstart die Menüpunkte „Warm up, Training und Spiele“. Ein virtueller Trainer, genannt Coordi, begleitet durch das Programm und gibt im Punkt „Warm up“ Tipps zum richtigen Aufwärmen. Generell ist beim Training ein grüner Kreis (Steuerkreis) über Kippungen der Standplatte in einen roten Zielkreis zu steuern. Das Bewegungsausmaß des Zielkreises wird über einen, in der Größe konstant gehaltenen,

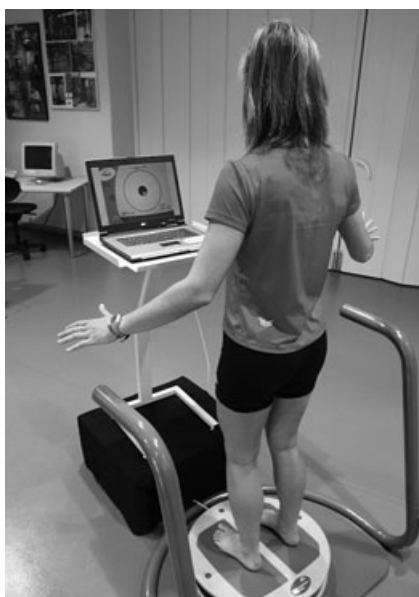


Abb. 1 Coordi

Begrenzungskreis definiert. Gelingt es der trainierenden Person, den Steuerkreis in den Zielkreis zu bewegen, verändert der grüne Steuerkreis die Farbe, und Bonuspunkte (Scorepunkte) beginnen hoch zu zählen. Das Trainingsprogramm beinhaltet fünf Schwierigkeitsstufen von sehr leicht (Level 1) bis sehr schwer (Level 5).

Die fünf Schwierigkeitsstufen unterscheiden sich in:

- Anzahl an vorgegebenen Übungen und demnach der Übungsdauer
- Größe des Zielkreises, in den der Steuerkreis bewegt werden muss
- Präzisionsanforderung, wie vollständig der Steuerkreis im Zielkreis liegen muss

Am Bildschirm werden die jeweils verbleibende Dauer der Übung, eine Übersicht der Gesamtpunkte (Aufsummierung der einzelnen Scorepunkte pro Übung) und die verbleibende Gesamtübungszeit angezeigt. Zwischen den einzelnen Bewegungsaufgaben ist eine standardisierte Pause vorgegeben. Nach Abschluss aller, im jeweiligen Level vorgegebenen Übungen, wird von der Software eine Auswertung bereitgestellt. Diese unterteilt sich in statisch und dynamisch erreichte Leistungen, ausgegeben in Prozent der maximal möglichen Scorepunktzahl. Die dynamisch absolvierten Übungen werden dabei einzeln aufgelistet.

Übungsdurchlauf Feedbacktraining am Coordi – Level 1: Als Basisübungen werden im Level 1 seitliche Kippbewegungen (Side-Wipp's), Kippbewegungen vor/zurück (Front-Wipp's) und Rotationen (Turn-Around's) vorgegeben. Beim Side-Wipp muss die Standplatte kontrolliert nach rechts und links gekippt werden. Beim Front-Wipp erfolgt die Kippbewegung nach vorn und nach hinten. Der Turn-Around wird mittels dynamischer Kreisbewegungen der Standplatte durch wechselnde Belastung der Beine, verbunden mit einem Beckenkreisen im und gegen den Uhrzeigersinn, durchgeführt. Nach jeweils zwei dynamischen Übungen folgt die Aufgabe des Stabilisierens. Der Körperschwerpunkt muss dabei möglichst zentral über der Platte gehalten werden. Wie in Abbildung 2 dargestellt, beginnt das Feedbacktraining mit der Vorgabe, den Steuerkreis möglichst schnell in den

rechts und links abwechselnd erscheinenden Zielkreis zu bewegen. Nach einer kurzen Pause folgt die gleiche Übungsaufgabe, nur erscheint jetzt der Zielkreis jeweils oben und unten. Nach einer neuerlichen Pause sollte der Übende während des Stabilisierens den Steuerkreis möglichst ruhig im Zentrum halten.

Danach werden erneut dynamische Übungen vorgegeben (Abb. 3). Ein horizontal bewegter Kreis muss mit dem Steuerkreis möglichst exakt verfolgt werden. Anschließend wechselt der Steuerkreis in eine vertikale Richtung. Die Übung „Stabilisieren“ bildet erneut den Abschluss.

Als nächstes rotiert der Zielkreis gleichmäßig am Begrenzungskreis im und nachfolgend gegen den Uhrzeigersinn (Abb. 4). Durch gute sensomotorische Regulationsbewegungen sollte möglichst genau mit dem Steuerkreis dem Zielkreis gefolgt werden. Nach erfolgter Rotation bildet die Stabilisationsübung das Ende des Trainings in Level 1. Zur Analyse erscheinen anschließend am Bildschirm die erbrachten Leistungen.

➤ Möglichkeiten der Anwendung des Coordi als Assessment-Verfahren

Neben dem mit Patienten durchgeführten sensomotorischen Feedbacktraining bietet der Coordi dank dreidimensionaler elektronischer Erfassung der Standplattenbewegungen auch die Möglichkeit der Eingangsdiagnose, Verlaufskontrolle und Abschlusstestung.

Gegenüber bestehenden Assessment-Verfahren beinhaltet eine Testung am Coordi die für Alltagsbewegungen so wichtigen quasi statisch als auch dynamisch durchzuführenden Bewegungsaufgaben. Dadurch wird eine differenziertere Beurteilung sensomotorischer Defizite getesteter Patienten erreicht. Der Testleiter kann aus unterschiedlichen Schwierigkeitslevels wählen oder, wenn nötig, eigene Testprotokolle zusammenstellen. Die vorhergehende Prüfung der Reliabilität ist dabei für die wissenschaftliche Aussagekraft der Diagnostik unbedingt anzustreben. Hinweise zu notwendigen Gewöhnungsversuchen vor der eigentlichen Testung (sofern der Patient das Programm noch nicht kennt) sowie der



Abb. 2 Level 1 – Übungen links/rechts auftauchend, oben/unten auftauchend und stabilisieren.

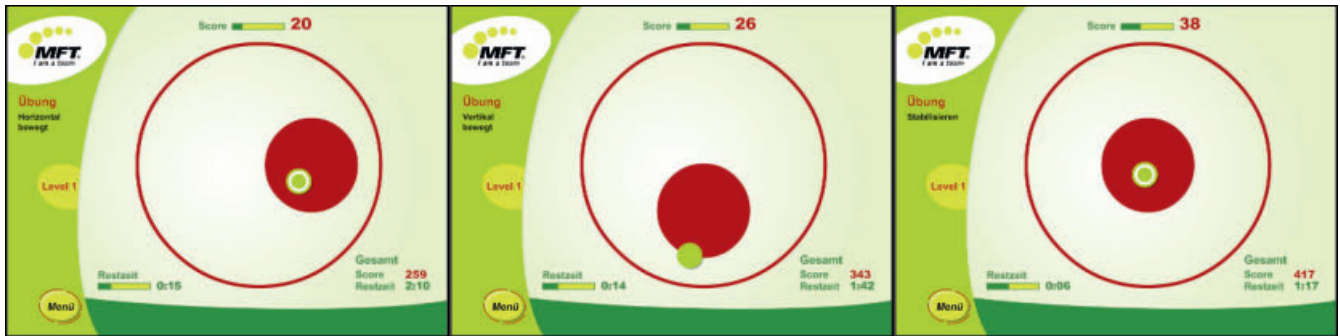


Abb. 3 Level 1 – Übungen horizontal bewegt, vertikal bewegt und stabilisieren.



Abb. 4 Level 1 – rotieren im Uhrzeigersinn, rotieren gegen den Uhrzeigersinn und stabilisieren.

Anzahl an Testdurchläufen dienen zudem der besseren Standardisierung. Hat der Patient alle Übungen einer Testung absolviert, erscheint die Auswertung zu den erbrachten Leistungen mittels einer Gesamtscorepunktzahl. Diese berechnet sich aus der Addition der erbrachten Scorepunkte der einzelnen Übungsaufgaben im gewählten Schwierigkeitslevel. Bei jeder einzelnen Übung – dynamisch gefolgt von quasi statisch – können maximal 100 Punkte erreicht werden. Im Schwierigkeitslevel 1 beträgt demnach die maximal mögliche Gesamtscorepunktzahl 900. Zusätzlich erfolgt eine getrennte Auswertung nach quasistatischen und dyna-

mischen Aufgaben. Um die Ergebnisse noch differenzierter betrachten zu können, wird das Resultat jeder einzelnen Übung aufgelistet. Dabei wird der prozentuale Anteil der Gesamtübungsdauer angegeben, bei dem der Patient die Testaufgabe erfüllt hat und den Steuerkreis in den Zielkreis lenken konnte. 100% entsprechen dabei der gesamten Übungsdauer. Diese detaillierte Auswertung der Testung ist besonders bei Verlaufsanalysen hilfreich, um die Therapie stets an die aktuellen Bedürfnisse des Patienten anzupassen. So können z.B. die Genauigkeit und Qualität der Bewegungsausführung gegen den Uhrzeigersinn bei der Rotationsübung bestehende Seitigkeiten auf-

zeigen. Der Vergleich mit Normwerten, erhoben an gesunden Personen, sowie eine abgestufte Klassifizierung von Leistungen bei vorhandenen neurologischen Störungen wären für den behandelnden Arzt eine hilfreiche Unterstützung der nachfolgenden Interventionen. Verschiedene Assessment-Verfahren eröffnen den Therapeuten in der neuronalen Rehabilitation die Möglichkeit, die vielfältigen Komponenten des sensomotorischen Systems aufzudecken und vorhandene Defizite mit geeigneten rehabilitativen Maßnahmen zu reduzieren. Die Wiedereingliederung dieser Patienten in ihren ursprünglichen Lebensalltag sollte mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln versucht werden.

► Ausblick

Ziel des vorliegenden Projektes war die Entwicklung eines mobilen und kostengünstigen Trainingsgerätes für ein effizientes sensomotorisches Feedbacktraining und in weiterer Folge eines Assessment-Verfahrens. Erste Rückmeldungen ausgewählter Gruppen aus dem Leistungssport und Breitensport (Kinder bis Senioren) sind in Hinblick auf das Feedbacktraining vielversprechend. So wurde von allen Beteiligten über ein, im Gegensatz zu klassischen sensomotorischen Übungen, weitaus höheres Maß an Trainingsmotivation durch das unmittelbare Feedback berichtet. Die fünf Schwierigkeitslevels decken alle Leistungsgruppen ab und bieten eine effiziente Möglichkeit zur Leistungssteigerung. Inwieweit sich der Coordi auch in der stationären/ambulanten neuronalen Therapie bewährt, ist offen und sollte wissenschaftlich abgesichert werden. Grundsätzlich ergibt sich mittels einfacher Modifikationen der Einstellungen bzw. Bewegungsvorgaben eine patientengerechte Anpassung der Übungen. Diese lassen sich gegebenenfalls auch mit Festhalten an den seitlichen Griffen oder bei nicht stehfähigen Patienten mittels einer partiellen Körpergewichtsentlastung (Gurt) durchführen. Die Möglichkei-

ten, den Coordi nach Abschluss einer Rehabilitation oder auch therapiebegleitend als Heimtrainingsgerät einzusetzen, bedarf der Entwicklung einer zusätzlichen Hardware, um einen direkten Anschluss an einen Fernseher zu ermöglichen.

Die Möglichkeiten, den Coordi auch als Testgerät einzusetzen, erscheinen aufgrund der Erfahrungen mit dem MFT S3Check [23] von großem Interesse. Die Teststandardisierung für die betreffende Zielgruppe sowie die Überprüfung der Gütekriterien müssen folgen, bevor diesbezüglich weitere Aussagen gemacht werden können.

Die Literaturliste finden Sie im Internet unter www.thieme-connect.de/ejournals/toc/bug

Korrespondenzadresse

Ass. Prof. Dr.
Christian Raschner
Institut für Sport-
wissenschaft
Universität Innsbruck
6020 Innsbruck
Österreich
Tel.: 00 43/5 12/5 07 44 99
E-Mail: christian.raschner@uibk.ac.at



Summary

Development of a sensorimotor feedback training equipment for accompanying application in neurological rehabilitation

Neurological diseases or deficits after an accident often lead to balance dysfunction. Sensorimotor training on unstable surface is therefore an important aspect of gait therapy. MFT S3 Check offers an assessment method for the functional evaluation of body stability and sensorimotor regulation capability of both leg dexterity. The assessment method is the basis for newly developed training equipment for sensorimotor feedback (Coordi). According to scientific studies, visual feedback leads to an improvement in motivation and information reception and optimises the harmony between sensoric and motoric ability. The assessment method is made up of quasi-static and dynamic gait exercises for the patients. It also comprises of five different levels of difficulty and the possibility of putting together an individual training protocol. This gives the therapist the choice of adapting the training to the performance level and needs of each individual as well as carrying out an individualised and effective training. The application of Coordi as a test equipment in sensorimotoric initial diagnosis and progress control offers a differentiated evaluation of the performances of the various gait exercises.

Key words: Balance, sensorimotoric feedback training, diagnostics