
Wissenschaftliche Expertise „Sensomotorisches Training – Propriozeptives Training“

Klaus Pfeifer (Projektleiter)¹, Winfried Banzer², Frank Hänsel³, Markus Hübscher², Lutz Vogt² & Astrid Zech¹

¹Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg,
Institut für Sportwissenschaft und Sport

²Goethe-Universität Frankfurt, Abteilung für Sportmedizin

³Technische Universität Darmstadt, Institut für Sportwissenschaft

Einleitung

Unter verschiedenen Begriffen haben sich in den letzten Jahrzehnten Trainingskonzepte und Programme etabliert, die auf eine Verbesserung sensomotorischer Fähigkeiten im Sinne der Prävention, Rehabilitation bzw. der Steigerung sportlicher Leistungsfähigkeit abzielen. Die dabei angewandten Übungs- und Trainingsformen lassen sich in der Literatur unter den Bezeichnungen sensomotorisches, propriozeptives oder auch neuromuskuläres Training finden (Risberg et al., 2001). Aufgrund der unterschiedlichen Terminologie und Betrachtungsweisen liegen bislang keine einheitliche Definition und kein kohärentes Verständnis zu o. g. Übungs- bzw. Trainingsformen vor.

In der Praxis orientiert sich die inhaltliche Gestaltung des sensomotorischen Trainings (SMT) und die Auswahl einzelner Übungen – mangels wissenschaftlich abgesicherter Erkenntnisse zur Belastungsgestaltung – an subjektiven, erfahrungsgestützten Kriterien des Trainers oder Therapeuten. Entsprechend weisen auch die in der wissenschaftlichen Literatur beschriebenen Inhalte sensomotorischen Trainings eine hohe Variationsbreite auf.

Darüber hinaus zeigen die vorliegenden Studien zur Wirksamkeit sensomotorischen Trainings über alle Forschungsfelder hinweg (Prävention, Therapie/Rehabilitation, Leistungssteigerung) nur wenig Kohärenz hinsichtlich der gemessenen Outcome-Variablen.

Vor dem Hintergrund der Unterschiede von Trainingsinhalten und Belastungsnormativa, Untersuchungsmethoden und Zielparametern erscheint es nicht verwunderlich, dass bis heute keine konkreten Aussagen zur Wirksamkeit sensomotorischen Trainings abgeleitet werden konnten (Hewett et al., 2006). Darüber hinaus wird die aus der genannten heterogenen Studienlage hervorgerufene Interpretationsproblematik zusätzlich durch große Ungleichheiten der methodischen Studienqualität verstärkt.

Die Übersichtsarbeit gliedert sich in zwei Teilbereiche. Die Zielsetzung des ersten Teils bestand in einer systematischen Bewertung der Evidenz zur Wirksamkeit sensomotorischen Trainings im Rahmen der

- a) Prävention von Sportverletzungen,
- b) Therapie und Rehabilitation von Sportverletzungen und
- c) Veränderung der (sport)motorischen Leistungsfähigkeit.

Neben der prinzipiellen Frage nach der Wirksamkeit sensomotorischen Trainings in den unterschiedlichen Anwendungsfeldern aus medizinischer oder biomechanischer Sicht sind auch psychologische Aspekte von Interesse. So wird der Annahme wohl kaum widersprochen werden, dass die Berücksichtigung emotionaler, motivationaler und kognitiver Prozesse eines Trainierenden ebenso sinnvoll ist wie die Förderung der Trainingseffektivität durch spezifische Lern- und Übungsprozesse. In der Praxis des sensomotorischen Trainings sind Auffassungen, wonach etwa ein Trainierender aktiv einzubinden oder seine Aufmerksamkeit auf bestimmte Aspekte zu lenken sei, fast schon als ubiquitär zu bezeichnen. Allerdings ist nach Kenntnis der Autoren bisher nicht systematisch berichtet worden, (1) welche personenspezifischen psychologischen Faktoren in welchem Ausmaß Einfluss auf das sensomotorische Training nehmen (differentialpsychologische Perspektive) und (2) welche Aspekte der Übungs- und Lerngestaltung zu einer Förderung der Effektivität oder Effizienz des sensomotorischen Trainings beitragen (lernpsychologische Perspektive).

Ziel des zweiten Teils der vorliegenden Arbeit war deshalb die systematische Zusammenstellung und Bewertung von empirischen Studien, die das sensomotorische Training aus einer differential- oder lernpsychologischen Perspektive untersuchen.

Teil I: Systematisches Review zur Wirksamkeit des sensomotorischen Trainings

Methodik

Literatursuche, Auswahl und methodische Bewertung der Primärstudien erfolgte systematisch durch zwei unabhängige Gutachter (M. Hübscher, Universität Frankfurt; A. Zech, Universität Erlangen-Nürnberg). Unstimmigkeiten hinsichtlich Studieneignung und -qualität wurden per Diskussion gelöst. Im Falle weiterhin bestehender Unstimmigkeiten erfolgte die Klärung im Rahmen eines Konsensusmeetings der gesamten Arbeitsgruppe.

Für den Review berücksichtigt wurden randomisiert kontrollierte (RCT) und quasi-randomisierte (CT) Studien, die das sensomotorische Training (allein oder in Kombination mit anderen Trainingsinhalten) entweder mit einer anderen Trainingsform oder mit einer Kontrollgruppe ohne Interventionen verglichen.

Literatursuche / Suchstrategie

Recherchiert wurde in den BISP-Datenbanken (1960 bis 01. Oktober 2007), „Cochrane Bone, Joint and Muscle Trauma Group Register“ (Stand Oktober 2007), SCOPUS (1960 bis 01. Oktober 2007), MEDLINE (1966 bis 01. Oktober 2007), EMBASE (1974 bis 01. Oktober 2007) und PEDro (1960 bis 01. Oktober 2007) nach

folgenden Schlagworten in unterschiedlichen Kombinationen: “neuromuscular”, “sensorimotor”, “kinaesthetic”, “proprioceptive”, “prevention”, “injury/ies”, “training”, “exercise”, “program”, “wobble board”, “plyometric”, “balance”, “jumping”, “postural control”, “perturbation”, “balance board”, “proprioception”, “coordination”, “jump” (plus den entsprechenden deutschen Schlagworten). Zudem wurde in den Literaturreferenzen relevanter Studien gesucht.

Beurteilung der methodischen Studienqualität

Geeignete Arbeiten wurden in Anlehnung an van Tulder (2003) einer Überprüfung der methodischen Qualität unterzogen (Randomisierung, verdeckte Zuordnung, Gruppenhomogenität, Untersucher-Verblindung, Kointerventionen, Compliance, Drop-out-Quote, vergleichbare Messzeitpunkte, Intention-to-treat-Analyse). Die Bewertung der Evidenz zur Wirksamkeit von SMT erfolgte auf Grundlage der eingeschlossenen Studien. Da der Grad der internen Validität maßgeblich über die Aussagefähigkeit einer wissenschaftlichen Untersuchung entscheidet, wurden in Anlehnung an van Tulder (2003) zunächst nur Studien in den Review eingeschlossen, die mindestens 50 % der Validitätskriterien erfüllten (best evidence). Existierten keine qualitativ hochwertigen Studien, wurden auch Arbeiten in die Evidenzbewertung einbezogen, die weniger als 50 % der definierten Validitätskriterien erfüllten (secondary evidence).

Ergebnisse Prävention von Sportverletzungen

Die Literaturrecherche führte zur Identifikation von 28 relevanten Publikationen, die in die Volltextanalyse einbezogen wurden. Letztendlich erfüllten vier Studien (RCTs) die zuvor definierten Einschluss- und Validitätskriterien.

Die Stichprobengröße lag im Mittel bei 912 Probanden (Minimum: N = 127; Maximum: N = 1837). Das Probandenkollektiv setzte sich in allen Studien aus jugendlichen und erwachsenen Sportlern im Alter zwischen 12 und 19 Jahren zusammen. Alle Probanden betrieben regelmäßig organisierten Schul- (High School) oder Vereinssport. Zu den ausgeübten Sportarten zählten Basketball, Volleyball, Fußball, Handball und Hockey.

Das SMT beinhaltete sowohl isolierte Balanceübungen als auch kombinierte Balance-, Lauf-, und Kraftübungen. In allen Studien wurde in den Prüfgruppen das Sensomotorische Training parallel zum regulären Vereins- bzw. Schulsport durchgeführt. In den Vergleichsgruppen erfolgte ausschließlich die Teilnahme am regulären Vereins- bzw. Schulsport.

Die 4 als hochwertig eingestuft RCTs berichten von einer signifikant niedrigeren Inzidenz von Sportverletzungen in der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Reduktionen des relativen Risikos reichten von RRR = 0,29 bis 0,8.

Ergebnisse Therapie und Rehabilitation von Sportverletzungen

Nach der Literaturrecherche wurden 37 geeignete Studien für eine Volltextanalyse berücksichtigt. Bei 31 dieser Studien lag entweder ein randomisiert kontrolliertes (RCT) oder ein quasi-randomisiertes (CT) Untersuchungsdesign vor. Nach Durchsicht wurden acht Studien wegen inadäquater Kontrollgruppe, drei Studien aufgrund fehlender Beschreibung der Interventionen und drei weitere Studien wegen

unangemessener Interventionen in der Behandlungsgruppe bzw. der Kontrollgruppe ausgeschlossen, so dass insgesamt 14 RCT's und drei CT's für die Bewertung der methodischen Qualität herangezogen wurden. Bei 14 von diesen Untersuchungen handelte es sich um Patienten mit Sprunggelenksinstabilitäten und drei Studien lagen zu vorderen Kreuzbandverletzungen vor. Keine geeignete Studie konnte hingegen zu Schulterverletzungen gefunden werden.

Bei der Bewertung der methodischen Qualität nach van Tulder (2003) erreichten vier RCT's der 17 relevanten Studien die notwendige Mindestpunktzahl für eine Einstufung auf hohem qualitativen Niveau.

Zu Sprunggelenksverletzungen lagen insgesamt eine methodisch hochwertige Studie und 13 weitere Untersuchungen mit einem van Tulder Score von < 5 Punkten vor. Auf dieser Grundlage konnte für die Verbesserung der sportmotorischen Gewandtheit eine moderate Evidenz für die Effektivität sensomotorischen Trainings angegeben werden. Keine bessere Wirksamkeit sensomotorischen Trainings (moderates Evidenzlevel) wurde hingegen für die Zielparameter Gleichgewichtsfähigkeit, Sprunggelenksfunktionalität und Maximalkraft der Sprunggelenkspronatoren nachgewiesen. Eine widersprüchliche Evidenz liegt für die Wirksamkeit im Vergleich zu keinen Trainingsmaßnahmen hinsichtlich der Muskelreaktion und des Gelenksstellungsinns vor.

Von den drei hochwertigen RCT's zur Effektivität sensomotorischen Trainings bei Kreuzbandverletzungen untersuchten zwei Studien Patienten mit konservativer Therapie und eine Studie Patienten nach operativer Rekonstruktion des Kreuzbandes. Für die konservativ behandelten Patienten konnte bezüglich der alltagsbezogenen Kniegelenksfunktionalität eine starke Evidenz und hinsichtlich der Sprungleistung und des Muskelreaktionsverhaltens eine moderate Evidenz angegeben werden, dass das sensomotorische Training effektiver ist als ein reines Krafttraining bzw. kombiniertes Kraft- und Ausdauertraining. Keine Wirksamkeit (moderates Evidenzlevel) erzielte das sensomotorische Training bei der konservativen Behandlung von Kreuzbandpatienten für die Zielparameter Knielaxität, Maximalkraft der Kniestrecker und sportartspezifischen Kniefunktionalität.

Für die operativ behandelten Kreuzbandpatienten, wurde weder bezüglich der alltagsbezogenen Kniefunktionalität, der Sprungleistung noch bei der Gelenkbeweglichkeit eine bessere Wirksamkeit sensomotorischen Training im Vergleich zum Krafttraining festgestellt (moderates Evidenzlevel). Die Gruppe mit dem Krafttraining schnitt hinsichtlich der Kniefunktionalität und der Sprungleistung sogar signifikant besser ab als die Gruppe mit den sensomotorischen Übungen.

Ergebnisse Veränderungen der Motorischen Leistungsfähigkeit

Bezüglich des sensomotorischen Trainings zur Verbesserung der motorischen Leistungsfähigkeit konnten insgesamt 99 Studien herangezogen werden. Nach Ausschluss von 26 Studien aufgrund unkontrollierten Studiendesigns, fehlender adäquater Kontrollgruppe, nicht ausreichender Beschreibung, inadäquaten Interventionen sowie fehlender Quasi-Randomisierung wurden 61 RCTs und 12 CTs hinsichtlich ihrer methodischen Qualität bewertet.

Der mittlere van Tulder Score zur Bewertung der methodischen Qualität lag bei allen bewerteten Studien bei 3 ± 1 Punkten (Minimum: 1; Maximum: 7). Von den 73 ausgewerteten Studien erreichten acht die notwendige Punktzahl von mindestens 5 Punkten und wurden somit zur weiteren Datenextraktion herangezogen.

Die gemessenen Outcomes wiesen in den eingeschlossenen Studien eine hohe Variabilität auf und ließen nur selten eine eindeutige Unterscheidung zwischen Haupt- und Nebenzielparametern erkennen.

Im Anwendungsfeld der sportmotorischen Leistungsfähigkeit waren die sensomotorischen Trainingsinhalte bei der Verbesserung der Laufökonomie, der Schnellkraftfähigkeit sowie der Gleichgewichtsfähigkeit wirksam, während für die Sprung- und Sprintleistung, die maximale Sauerstoffaufnahme sowie für die Muskelaktivierung ausgewählter Muskelgruppen keine Effekte festgestellt wurden.

Teil II: Psychologische Aspekte sensomotorischen Trainings

Methode

Erste Literaturrecherchen: Sensomotorisches Training

Insgesamt wurden drei Literaturrechen durchgeführt, bei denen die Suchstrategien sukzessive erweitert wurden.

Die erste Recherche basierte auf den Ergebnissen der beschriebenen Literaturrecherche (siehe Seite 30). Dabei wurde in Orientierung an den Empfehlungen der „Cochrane Bone, Joint and Muscle Trauma Group“ in den einschlägigen medizinischen und sportwissenschaftlichen Literaturdatenbanken nach Studien zum *sensomotorischen Training* gesucht.

In einer Reanalyse wurden alle 239 Studien, die in die Vorauswahl eingingen, nach empirischen Hinweisen und Berichten zu (1) psychologischen Faktoren (differentialpsychologische Perspektive) und zu (2) Effekten der Trainingsgestaltung (lernpsychologische Perspektive) im Rahmen sensomotorischen Trainings begutachtet. Die Extraktion relevanter Studien erfolgte anhand der Volltextversionen.

Zweite Literaturrecherche: Sensomotorik und Intervention

In dieser Recherche wurde die Suche auf Literaturdatenbanken aus der Psychologie und der Sportwissenschaft ausgedehnt. Im Zeitraum von November 2007 bis Januar 2008 wurde in der sportwissenschaftlichen Datenbank SPORTDiscus, in den psychologischen Datenbanken PSYNDEXplus und PsycINFO sowie in der medizinischen Datenbank PubMed recherchiert. Da der Begriff des sensomotorischen Trainings in diesen Datenbanken nicht verschlagwortet ist, wurden die thesaurierten Schlagworte aus dem *Umfeld Sensomotorik* auf der einen Seite und aus dem *Umfeld Intervention* auf der anderen Seite kombiniert („neuromuscular or proprioceptive or sensorimotor or kinaesthetic and training or exercise or sports performance or program or learning or rehabilitation or therapy“). Ausgeschlossen wurden Studien an Probanden mit neuronalen und psychologischen Beeinträchtigungen sowie tierexperimentelle Studien. Bei der Datenbank PubMed wurde die Recher-

che über alle Datenbankfelder durchgeführt und aufgrund der hohen Trefferzahl nur Reviews der letzten zehn Jahre berücksichtigt. Die Extraktion relevanter empirischer Studien erfolgte anhand des Titels, der Schlagworte und der Zusammenfassung.

Dritte Literaturrecherche: Sensomotorik und psychologische Faktoren

In dieser Recherche wurde die Suche auf psychologisch relevante Schlagworte ausgedehnt. Es wurden die thesaurierten Schlagworte aus dem *Umfeld Sensomotorik* auf der einen Seite und aus dem *Umfeld Psychologie* sowie *Instruktion* auf der anderen Seite kombiniert („neuromuscular or proprioceptive or sensorimotor or kinaesthetic and psychology or stimulus processing or perception or awareness or vigilant or instruction or feedback“). Das weitere Vorgehen war identisch mit der zweiten Literaturrecherche.

Studienauswahl und -beschreibung

In der ersten Literaturrecherche wurden N = 239 Publikationen ausgewiesen. Nach Analyse und Auswertung der Volltextversionen verblieben 19 relevante Publikationen. Die Publikationen wurden absteigend nach ihrer forschungsmethodischen Relevanz für die differential- und lernpsychologische Perspektive beurteilt. Lediglich in zwei Studien wurden im Rahmen sensomotorischen Trainings psychologische Faktoren als unabhängige Variablen systematisch variiert (RCT).

Die zweite und dritte Literaturrecherche wiesen N = 1336 Publikationen und N = 447 Publikationen aus. Nach Analyse der Titel, Schlagworte und Zusammenfassungen verblieben 13 relevante Publikationen. Keine der Publikationen hatte das sensomotorische Training zum Gegenstand, vielmehr wurden Aspekte sensomotorischer Kontrolle und Lernens behandelt, beispielsweise im Rahmen der Auge-Hand-Koordination. Bei vier Publikationen handelte es sich um theoretische Analysen, bei einer Publikation wurden physiologische Faktoren der Sensomotorik untersucht und bei acht Studien wurden verschiedene Feedbackformen eingeführt oder kognitive Faktoren (z. B. Aufmerksamkeit) experimentell variiert (RCT).

Ergebnisse

Insgesamt ergibt die Reanalyse der zum sensomotorischen Training durchgeführten Literaturrecherche nur wenige Hinweise auf differential- oder lernpsychologische Aspekte. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen charakterisieren:

- In der Mehrzahl dieser Publikationen werden lernrelevante Faktoren zur Trainingsgestaltung (1) bei Untersuchungen im Bereich der neurologischen und koronaren Rehabilitation oder mit Älteren (2) lediglich erwähnt.
- Bei der Trainingsgestaltung wird thematisiert: (3) die visuelle Kontrolle (Wechsel zwischen offenen und geschlossenen Augen) oder (4) die Einführung eines zusätzlichen visuellen Feedbacks oder (5) die Einführung zusätzlicher Aufgaben oder (6) die Fokussierung der Aufmerksamkeit.
- Die Berücksichtigung differentialpsychologischer Faktoren ist (7) eher selten und (8) beschränkt sich auf die vereinzelt Erfassung emotionaler Aspekte im Bereich der Rehabilitation oder bei Älteren (Sturzangst, Depression, Belastungsintensität des Trainings).

- Am ehesten wird (9) die Sturzangst als Kontrollvariable berücksichtigt.
- Lediglich in zwei Studien werden lernrelevante Faktoren überhaupt (10) systematisch variiert.
- So untersuchen Waddington et al. (2000) bei N = 44 Footballspielern den Effekt eines achtwöchigen Trainings mit dem Wobble-Board gegenüber einem Sprunglandetraining und einer Kontrollbedingung auf die Diskrimination von Winkelstellungen des Sprung- und Kniegelenks. Das Training mit Wobble-Board führt zu einer signifikant höheren Diskrimination insbesondere des Sprunggelenkwinkels.
- Die Erweiterung der Suchstrategien in der zweiten und dritten Literaturrecherche verweist auf Studien, in denen nicht mehr das sensomotorische Training betrachtet wird, sondern der Einfluss psychologischer Aspekte auf sensomotorische Prozesse im Allgemeinen. Neben vier theoretischen Analysen und einer physiologisch orientierten Studie werden folgende Aspekte empirisch untersucht:
- intermodaler Bias, z. B. durch eine künstlich erzeugte Diskrepanz zwischen visuellem und kinästhetischem Feedback. So zeigen Sarlegna et al. (2007) eine Abweichung der motorischen Kontrolle bei einer Greifbewegung in Richtung des (falschen) visuellen Feedbacks.
- situative Modifikationen, insbesondere der Ausschluss von visuellem Feedback zur Beeinflussung der „sensomotorischen Repräsentation“. So zeigt die „Verblindung“ in der Regel einen positiven Effekt beim Erlernen bestimmter motorischer Aufgaben (z. B. vorgegebene Strecke gehen, Trampolinspringen, Zielbewegung).
- Modifikationen der Instruktion, insbesondere zur Beeinflussung der Aufmerksamkeit, Intention oder der Bewusstheit (awareness). So berichten Repp und Keller (2004) beispielsweise für eine Tappingaufgabe von dem Einfluss instruierter Vorgaben zur Aufrechterhaltung eines Rhythmus trotz eines Rhythmuswechsels in der auditiven Vorgabe.

Diskussion

Im Fazit konnte für die Wirksamkeit sensomotorischen Trainings in den verschiedenen Anwendungsfeldern festgestellt werden, dass nur wenige qualitativ hochwertige Studien vorliegen, anhand derer eine eindeutige Evidenzbewertung vorgenommen werden kann. Von diesen Studien konnte zudem nur für die Verletzungsprävention eine gute Effektivität der Interventionsmaßnahmen abgeleitet werden, während für die überwiegende Anzahl der erhobenen Outcomes in den Studien zur Therapie nach Sportverletzungen und zur Leistungsverbesserung keine Wirksamkeit festgestellt wurde. Nur wenige Studien lagen zudem für die psychologische Perspektive sensomotorischen Trainings vor, so dass empirisch gestützte Aussagen zu differential- oder lernpsychologischen Aspekten nach wie vor kaum möglich sind. Die Durchführung weiterer qualitativ hochwertiger Studien, die sich inhaltlich mit den Fragen der Wirksamkeit sensomotorischen Trainings bei vor allem therapeutischen Interventionen und dem Trainings sportmotorischen Fähigkeiten auseinandersetzen, erscheint demzufolge ebenso notwendig wie die Untersuchung von Aspekten der psychologischen Übungs- und Lerngestaltung zu einer Förderung der Effektivität oder Effizienz der Interventionen.

Literatur

- Hewett, T.E., Ford, K.R. & Myer, G.D. (2006). Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *American journal of sports medicine*, 34 (3) 490-498
- Olsen, O.-E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I. & Bahr, R. (2005). Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: Cluster randomised controlled trial. *British Medical Journal*, 330 (7489), 449-452
- Repp, B. & Keller, P. E. (2004). Adaptation to tempo changes in sensorimotor synchronization: Effects of intention, attention, and awareness. *The-Quarterly-Journal-of-Experimental-Psychology-A:-Human-Experimental-Psychology*, 57A (3), 499-521.
- Risberg, M.A., Mork, M., Jenssen, H.K. & Holm, I. (2001). Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 31 (11), 620-63
- Sarlegna, F. R., Gauthier, G. M. & Blouin, J. (2007). Influence of feedback modality on sensorimotor adaptation: Contribution of visual, kinesthetic, and verbal cues. *Journal of motor behavior*, 39 (4), 247-258.
- Van Tulder, M., Furlan, A., Bombardier, C. & Bouter L. (2003). Updated Method Guidelines for Systematic Reviews in the Cochrane Collaboration Back Review Group. *Spine*, 28 (2), 1290–1299
- Waddington, G., Seward, H., Wrigley, T., Lacey, N. & Adams R. (2000). Comparing wobble board and jump-landing training effects on knee and ankle movement discrimination. *Journal of science and medicine in sport*, 3 (4), 449-459