

# Prävention von Sprunggelenkverletzungen durch sensomotorisches Training

Markus Gruber

## 1 Einleitung

Neben den vielen „gesundheitspositiven“ Auswirkungen beinhaltet regelmäßiges Sporttreiben auch ein erhebliches Verletzungsrisiko. Neueste Zahlen belegen, dass Sportverletzungen ca. 10-19 % aller akuten Verletzungen ausmachen, dabei handelt es sich überwiegend um Sprunggelenk- bzw. Kniegelenkverletzungen (Bahr, Kannus, & Van Mechelen, 2003).

Aus biomechanischer Perspektive tritt eine Verletzung zu dem Zeitpunkt auf, an dem eine spezifische Struktur über ihre Belastbarkeit hinaus beansprucht wird. Ziel jeder präventiven Maßnahme muss es deshalb sein, die aktuelle Belastung einer spezifischen Struktur unter ihrer Beanspruchungsgrenze zu halten. Dabei bieten sich prospektiven Studien zu Folge zwei Interventionsmaßnahmen an: Eine passive Stabilisierung des Gelenks mittels externer Stabilisierungshilfen, bzw. eine verbesserte aktive Stabilisierung durch sensomotorisches Training (SMT) (Handoll, Rowe, Quinn & de Bie, 2001). Während die Wirkung externer Stabilisierungshilfen auf eine mechanische Sicherung des Gelenks zurückzuführen ist, kann über die präventiven Mechanismen eines SMT bisher nur spekuliert werden. Dieses Überblicksreferat beschreibt im ersten Teil die Möglichkeiten zur Prävention von Sprunggelenkverletzungen. Im zweiten Teil widmet es sich den neuromuskulären Anpassungen nach einem SMT und diskutiert deren Bedeutung im Hinblick auf die verletzungspräventive Funktion dieser Trainingsform.

## 2 Die Erforschung verletzungspräventiver Maßnahmen

Van Mechelen stellte 1992 ein vier Schritt Modell zur Erforschung verletzungspräventiver Maßnahmen vor, das auch heute noch als „Basismodell“ angesehen wird (Van Mechelen, Hlobil & Kemper, 1992; Bahr & Krosshaug, 2005). Im ersten Schritt wird ein Verletzungsproblem identifiziert und beschrieben. Als Parameter gelten dabei in erster Linie die Häufigkeit und die Schwere einer Verletzung. Im zweiten Schritt werden die Risikofaktoren und Verletzungsmechanismen festgestellt, um daraus im dritten Schritt entsprechend Interventionsstrategien entwickeln zu können. Im vierten Schritt müssen die entwickelten Interventionen schließlich einer Effizienzprüfung unterzogen werden. Diese Validierung der Intervention kann nur durch Wiederholung des ersten Schrittes realisiert

werden. Dabei gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten: In einer definierten Subpopulation wird das Auftreten einer vorher festgelegten Verletzung (z. B. Verletzung des Sprunggelenks) über einen definierten Zeitraum hinweg bestimmt. Nach Ablauf dieser Basismessung wird die Subpopulation mit der Interventionsmaßnahme konfrontiert (z. B. Orthese oder Training). Das Auftreten der Verletzung während (bzw. nach) der Intervention kann jetzt mit dem Auftreten der Verletzung davor verglichen werden. Dieses Studiendesign (Kohortenstudie) besitzt allerdings den großen Nachteil, dass sich über die zwingend notwendigen langen Messzeiträume hinweg andere intervenierenden Variablen ebenfalls systematisch ändern können (z. B. Regeländerungen, Materialänderungen, usw.). Die zweite Möglichkeit die Effizienz einer Intervention zu prüfen besteht in der Durchführung einer prospektiven randomisierten und kontrollierten Studie. Dieses Studiendesign zeichnet sich dadurch aus, dass in zwei vergleichbaren Subpopulationen Verletzungszahlen für einen bestimmten/definierten Zeitraum erhoben werden. Dadurch wirken Veränderungen in zusätzlich intervenierenden Variablen (s. o.) gleichzeitig auf Interventions- und Kontrollgruppe. Aus diesem Grund ist eine Kontrollstudie einer Kohortenstudie vorzuziehen, falls eine genügend große Fallzahl erreicht werden kann. Tabelle 1 fasst die bisher publizierten prospektiven Interventionsstudien (randomisiert oder quasi-randomisiert und kontrolliert) im Erwachsenenbereich zusammen. Die Einschlusskriterien wurden in Anlehnung an Handoll (Handoll et al., 2001) gewählt. Für die statistische Auswertung wurde die Cochrane Software benutzt (RevMan 4.2 – Cochrane Collaboration's Review Manager Software).

Die bisher durchgeführten prospektiv kontrollierten Interventionsstudien zeigen zwei effiziente Interventionsmaßnahmen. Eine passive Stabilisierung des Sprunggelenks mittels einer Orthese sowie die Durchführung eines sensomotorischen Trainings reduzieren beide die Verletzungshäufigkeit jeweils um ca. 50 %. Fasst man die vier Orthesen Studien aus Tabelle 1 in einer Metaanalyse zusammen ergibt sich ein relatives Risiko (RR) von 0,43 bei einem 95 %-igen Konfidenzintervall (CI) von 0,32-0,56. Nach SMT ergibt sich entsprechend ein RR von 0,53 bei einem CI (95 %) von 0,41-0,68. Damit ist die verletzungspräventive Funktion dieser beiden Interventionsmaßnahmen empirisch abgesichert. Während die Orthesenversorgung das Gelenk passiv sichert und ein Trauma durch eine Einschränkung der Gelenkbeweglichkeit verhindert sind die Wirkmechanismen eines SMT bisher nicht geklärt. Eine Aufklärung der präventiven Funktion dieser Trainingsmaßnahme ist jedoch Voraussetzung für eine theoriegeleitete Weiterentwicklung der Intervention mit dem Ziel einer Verbesserung ihrer verletzungspräventiven Funktion.

Tab. 1: Übersicht der bisher veröffentlichten prospektiven kontrollierten Interventionsstudien. Die Berechnungen des relativen Risikos (RR) sowie des 95 % Konfidenzintervalls (CI) wurden mit RevMan 4.2 – Cochrane Collaboration's Review Manager Software durchgeführt. Die Spalten INT und CON enthalten die Anzahl der Verletzungen / Anzahl der Teilnehmer für die Interventions- bzw. für die Kontrollgruppe.

Studie	Intervention	INT	CON	RR	CI (95 %)
Amoroso 1998	Sprunggelenk-Orthese	3/389	9/388	0,33	0,09-1,22
Barrett 1993	Hohe Schuhe	4/203	4/158	1,33	0,40-4,46
Bensel 1986	Einlage im Schuh	20/384	12/171	0,74	0,37-1,48
Ekstrand 1983	„Präventives Programm“	2/90	11/90	0,18	0,04-0,80
Olsen 2005	SMT + sonst.	31/958	47/879	0,61	0,39-0,94
Pope 1998	Dehnen	11/546	16/544	0,68	0,32-1,48
Pope 2000	Dehnen	19/735	27/803	0,77	0,43-1,37
Sitler 1994	Sprunggelenk-Orthese	11/789	35/812	0,32	0,17-0,63
Söderman 2000	SMT	13/62	14/78	1,17	0,59-2,30
Surve 1994	Sprunggelenk-Orthese	48/244	75/260	0,68	0,50-0,94
Tropp 1985	Sprunggelenk-Orthese	2/60	30/171	0,19	0,05-0,77
Tropp 1985	SMT	7/142	30/171	0,28	0,13-0,62
Verhagen 2004	SMT	29/641	41/486	0,54	0,34-0,85
Wedderkopp 1999	SMT	6/111	23/126	0,30	0,13-0,70

### 3 Anpassungen nach SMT

In verschiedenen Studien konnten nach einem vierwöchigen SMT Verbesserungen der dynamischen Standstabilität (Freeman, Dean & Hanham, 1965; Hoffman & Payne, 1995; Gauchard, Jeandel, Tessier & Perrin, 1999; Heitkamp, Horstmann, Mayer, Weller & Dick-

huth, 2001), Zuwächse in der Explosivkraft (Gruber & Gollhofer, 2004) sowie eine größere Gelenksteifigkeit des Kniegelenks (Gruber, Bruhn & Gollhofer, 2006) gemessen werden. Die Ergebnisse bezüglich der Auswirkungen dieser Trainingsform auf funktionelle Gelenkreflexe sind dagegen inhomogen. Am Sprunggelenk konnten während einem simulierten Inversionstrauma keine erhöhten Reflexantworten des M. peroneus nach einem acht wöchigen Training auf dem Therapiekreisel nachgewiesen werden (Sheth, Yu, Laskowski & An, 1997; Osborne, Chou, Laskowski, Smith & Kaufman, 2001). Die Autoren beschrieben jedoch sehr differenzierte Anpassungen des M. tibialis anterior und posterior. Während Sheth et al. eine verzögerte Aktivierung nach dem Training beobachteten, kam es in der Studie von Osborne et al. zu einer früheren Aktivierung der beiden Muskeln. Im Unterschied zu Sheth et al. untersuchten Osborne et al. Personen mit instabilen Sprunggelenken. Gruber et al. (2006) konnten am Kniegelenk erhöhte funktionelle Reflexantworten des M. biceps femoris sowie des M. semitendinosus in Verbindung mit einer erhöhten Gelenksteifigkeit nach Barfuß-Training nachweisen, während sich diese Anpassungen nach einem Training mit Orthese, bzw. mit Skischuh nicht zeigen ließen. Interessanterweise kommt es durch Variation der reizauslösenden Kraft zu einer Veränderung der Anpassung. Bei sehr langsamer Krafteinleitung führt dies zu einer Aktivitätserhöhung der Hamstrings nach einem Training mit Skischuh, während für diese Reizkonfiguration keine Veränderungen nach einem Barfuß-Training stattfanden (Gruber, Bruhn, Alt, Lohrer & Gollhofer, 2003). Die kontroversen Ergebnisse lassen aufgabenspezifische neuronale Anpassungen vermuten und deuten auf sehr spezifische und differenzierte Wirkmechanismen von SMT hin.

#### 4 Verletzungsprävention durch SMT

Keine der oben beschriebenen Anpassungen kann für sich allein die präventive Funktion eines SMT's bezüglich der Sprunggelenkverletzungen erklären. Alle biomechanisch messbaren Veränderungen scheinen jedoch auf einer grundlegenden neuronalen Umstrukturierung zu beruhen (vgl. Gollhofer, 2003). In neuesten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass spinale Reflexe (Dehnreflexe und H-Reflexe) in Ruhe gehemmt waren (Gruber et al., 2005). Durch transkranielle Magnetstimulation in Kombination mit elektrischer peripherer Nervreizung ist man in der Lage den aktuellen Aktivierungszustand von direkten kortikospinalen Bahnen zu bestimmen (Nielsen, Petersen, Deuschl & Ballegaard, 1993). Interessanterweise deuten die bisher durchgeführten Trainingsstudien mit dieser Methode auf eine aufgabenspezifische Anpassung supraspinaler Zentren hin. Bei einer posturalen Aufgabe waren direkte kortikospinale Bahnen nach dem SMT gehemmt (Taube, Gruber, Schubert, Beck & Gollhofer, 2005), während sie bei einer willkürmotorischen Aufgabe gebahnt waren (Gruber et al., 2005). Diese Studien weisen eindeutig supraspinale Anpassungen nach SMT nach. Supraspinale Zentren projizieren über absteigende Bahnen einerseits direkt auf den Motoneuronenpool, andererseits regulieren sie periphere Reflexbahnen über im Rückenmark lokalisierte Interneurone. Damit sind diese Neuronen-

verbände in der Lage Reflexe zu bahnen oder zu hemmen sowie den Aktivierungszustand von Motoneuronen direkt zu beeinflussen.

Aus diesen Befunden kann man auf folgende Theorie der Trainingswirkungen eines SMT schließen. In Folge einer verstärkten Einflussnahme supraspinaler Zentren kommt es zu einer verbesserten motorischen Kontrolle der gelenkumgreifenden Muskulatur und damit zu einer situationsadäquateren Muskelaktivierung. Dieser Zugewinn an neuronaler Kontrolle führt zu einer verbesserten inter- und intramuskuläre Koordination der gelenkumgreifenden Muskulatur.

Zwei mögliche präventive Wirkungen eines SMT lassen sich ableiten: 1.) die Anzahl potentieller Verletzungssituationen wird reduziert: z. B. durch die situationsadäquate Voreinstellung der gelenkstabilisierenden Muskulatur. 2.) in einer potentiellen Verletzungssituation kommt es zu einer schnelleren aktiven Gelenkstabilisation: z. B. durch eine verbesserte Koordination der gelenkstabilisierenden Muskeln.

## Literatur

- Amoroso, P.J., Ryan, J.B., Bickley, B., Leitschuh, P., Taylor, D.C. & Jones, B.H. (1998). Braced for impact: reducing military paratroopers' ankle sprains using outside-the-boot braces. *J Trauma*, 45, 575-580.
- Bahr, R., Kannus, P., & Van Mechelen, W. (2003). Epidemiology and Prevention of Sports Injuries. In M. Kjaer, M. Krogsgaard, P. Magnusson, L. Engebretsen, H. Roos, T. Takala & S.L.Y. Woo (Eds.), *Textbook of Sports Medicine* (pp. 299-314). Malden: Blackwell Science.
- Bahr, R. & Krosshaug, T. (2005). Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br. J Sports Med.*, 39, 324-329.
- Barrett, J.R., Tanji, J.L., Drake, C., Fuller, D., Kawasaki, R.I. & Fenton, R.M. (1993). High- versus low-top shoes for the prevention of ankle sprains in basketball players. A prospective randomized study. *Am. J Sports Med.*, 21, 582-585.
- Bensel, C. & Kaplan, D.B. (1986). *Wear test of boot inserts* (Rep. No. STRNC-ICH). US Army Natick Research & Development Laboratories.
- Ekstrand, J., Gillquist, J. & Liljedahl, S. O. (1983). Prevention of soccer injuries. Supervision by doctor and physiotherapist. *Am. J Sports Med.*, 11, 116-120.
- Freeman, M.A., Dean, M.R. & Hanham, I.W. (1965). The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surg.Br.*, 47, 678-685.
- Gauchard, G.C., Jeandel, C., Tessier, A. & Perrin, P.P. (1999). Beneficial effect of proprioceptive physical activities on balance control in elderly human subjects. *Neurosci. Lett.*, 273, 81-84.
- Gollhofer, A. (2003). Proprioceptive Training: Considerations for Strength and Power Production. In P.V.Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (2nd ed., pp. 331-342). Oxford, UK: Blackwell.

- Gruber, M., Bruhn, S., Alt, W., Lohrer, H. & Gollhofer, A. (2003). Der Einfluss eines sensomotorischem Trainings auf die neuromuskuläre Kontrolle der Gelenkstiffness am Knie beim unverletzten Sportler. In J. Krug & T. Müller (Eds.), *Messplätze, Messplatztraining, Motorisches Lernen* (9 ed., pp. 78-84). Academia Verlag.
- Gruber, M., Bruhn, S. & Gollhofer, A. (2006). Specific adaptations of neuromuscular control and knee joint stiffness following sensorimotor training. *Int. J Sports Med.*, (in print).
- Gruber, M. & Gollhofer, A. (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur. J Appl.Physiol*, 92, 98-105.
- Gruber, M., Schubert, M., Gruber, S., Taube, W., Beck, S., Amtage, F. et al. (2005). Spinal and corticospinal adaptations following sensorimotor training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 37, S192.
- Handoll, H.H., Rowe, B.H., Quinn, K.M. & de Bie, R. (2001). Interventions for preventing ankle ligament injuries. *Cochrane.Database. Syst.Rev.*, CD000018.
- Heitkamp, H. C., Horstmann, T., Mayer, F., Weller, J. & Dickhuth, H.H. (2001). Gain in strength and muscular balance after balance training. *Int. J Sports Med.*, 22, 285-290.
- Hoffman, M. & Payne, V.G. (1995). The effects of proprioceptive ankle disk training on healthy subjects. *J Orthop. Sports Phys.Ther.*, 21, 90-93.
- Krosshaug, T., Andersen, T.E., Olsen, O.E., Myklebust, G. & Bahr, R. (2005). Research approaches to describe the mechanisms of injuries in sport: limitations and possibilities. *Br. J Sports Med.*, 39, 330-339.
- Nielsen, J., Petersen, N., Deuschl, G. & Ballegaard, M. (1993). Task-related changes in the effect of magnetic brain stimulation on spinal neurones in man. *J Physiol*, 471, 223-243.
- Osborne, M.D., Chou, L.S., Laskowski, E.R., Smith, J. & Kaufman, K.R. (2001). The effect of ankle disk training on muscle reaction time in subjects with a history of ankle sprain. *Am. J Sports Med.*, 29, 627-632.
- Pope, R., Herbert, R. & Kirwan, J. (1998). Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in Army recruits. *Aust. J Physiother.*, 44, 165-172.
- Pope, R.P., Herbert, R.D., Kirwan, J.D., & Graham, B.J. (2000). A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32, 271-277.
- Sheth, P., Yu, B., Laskowski, E.R. & An, K.N. (1997). Ankle disk training influences reaction times of selected muscles in a simulated ankle sprain. *Am. J Sports Med.*, 25, 538-543.
- Sitler, M., Ryan, J., Wheeler, B., McBride, J., Arciero, R., Anderson, J. et al. (1994). The efficacy of a semirigid ankle stabilizer to reduce acute ankle injuries in basketball. A randomized clinical study at West Point. *Am. J Sports Med.*, 22, 454-461.

- Söderman, K., Werner, S., Pietila, T., Engstrom, B. & Alfredson, H. (2000). Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee. Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 8, 356-363.
- Surve, I., Schweltnus, M.P., Noakes, T. & Lombard, C. (1994). A fivefold reduction in the incidence of recurrent ankle sprains in soccer players using the Sport-Stirrup orthosis. *Am. J Sports Med.*, 22, 601-606.
- Taube, W., Gruber, M., Schubert, M., Beck, S. & Gollhofer, A. (2005). Neural mechanisms responsible for enhanced balance control after sensorimotor training assessed by TMS. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 37, 419.
- Tropp, H., Askling, C. & Gillquist, J. (1985). Prevention of ankle sprains. *Am. J Sports Med.*, 13, 259-262.
- Van Mechelen, W., Hlobil, H. & Kemper, H.C. (1992). Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med.*, 14, 82-99.
- Verhagen, E., Van der Beek, A., Twisk, J., Bouter, L., Bahr, R. & Van Mechelen, W. (2004). The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains: a prospective controlled trial. *Am. J Sports Med.*, 32, 1385-1393.
- Wedderkopp, N., Kaltoft, M., Lundgaard, B., Rosendahl, M. & Froberg, K. (1999). Prevention of injuries in young female players in European team handball. A prospective intervention study. *Scand. J Med. Sci. Sports*, 9, 41-47.