



Auszug aus Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 02/2010, Süddeutscher Verlag onpact GmbH, München

Palm HG, Laufer C, Achatz G, von Lübken F, Friemert B

Verbessern Kniebandagen die posturale Standfähigkeit bei Meniskusverletzungen?

*Can Knee Braces improve Postural Stability
in Patients with Meniscus Injuries?*

Unfallchirurgische Forschungsgruppe,
Bundeswehrkrankenhaus Ulm

Palm HG, Laufer C, Achatz G, von Lübken F, Friemert B

Verbessern Kniebandagen die posturale Standfähigkeit bei Meniskusverletzungen?

Can Knee Braces improve Postural Stability in Patients with Meniscus Injuries?

Unfallchirurgische Forschungsgruppe, Bundeswehrkrankenhaus Ulm

ZUSAMMENFASSUNG

Problemstellung: Bewegungen mit plötzlicher Kniegelenksbelastung oder kombiniertem Rotations-Flexionsmanöver führen bei vielen Patienten mit Meniskusverletzungen zur Beschwerdezunahme. Bei diesen Kombinationsbewegungen ist besonders die posturale Kontrolle von Muskeltonus und Reflex-Muskel-Koordination zum Erhalt des stabilen Standes und Ganges gefordert. Obwohl von Sportärzten oft eine subjektive Stabilitätszunahme durch das Tragen einer funktionellen Bandage beobachtet wird, wurde bisher noch nicht der Einfluss von Bandagen auf die posturale Stabilität bei Meniskusverletzungen untersucht. **Methoden:** An der Studie nahmen 27 Patienten mit arthroskopisch gesicherter, unilateraler Meniskusläsion teil. Präoperativ wurde die Balancefähigkeit im Einbeinstand mittels Computerunterstützter Dynamischer Posturographie von beiden Beinen mit und ohne Bandage gemessen und der Stabilitätsindex berechnet. Um Gruppenunterschiede zu ermitteln wurde der t-Test, bzw. die univariate ANOVA verwendet. **Ergebnisse:** Durch das Tragen einer Bandage verbesserte sich die Gesamtstabilität beim erkrankten Bein von $3,6 \pm 1,2^\circ$ auf $3,0 \pm 1,1^\circ$ um 16,7% ($p < 0,01$). Die gesunde Seite wies eine 17,1 - prozentige Zunahme der posturalen Stabilität von $3,5 \pm 0,9^\circ$ auf $2,9 \pm 0,8^\circ$ ($p < 0,01$) auf. Signifikante Unterschiede im Vergleich „krankes Bein“ vs. „gesundes Bein“ ergaben sich nicht. **Diskussion:** Wir konnten erstmalig nachweisen, dass die Anwendung einer funktionellen Kniebandage zu einer signifikanten Steigerung der posturalen Stabilität bei Patienten mit Meniskusläsion führt. Da eine stabilere Standfähigkeit mit Bandage ebenfalls auf der gesunden Seite festgestellt werden konnte, muss man aber von einer verletzungsunspezifischen Wirkungsweise funktioneller Bandagen ausgehen.

Schlüsselwörter: posturale Stabilität, Posturographie, Meniskus, Knie, Bandage.

EINLEITUNG

Meniskusverletzungen führen zu eingeschränkter Gelenkpropriozeption

Meniskusläsionen zählen zu den häufigsten Verletzungen in der Sporttraumatologie. Leider bleibt oft nur die arthroskopische Resektion, da selbständiges Remodelling und Reparaturvorgänge der größtenteils avaskulären Menisken kaum möglich sind (2). Dabei haben Menisken zahlreiche Aufgaben im gesunden Kniegelenk (1,12). Neben Kniegelenksstabilität, Schockabsorption und Stressreduktion gewährleisten die Menisken optimale Kraftverteilung und Gelenkkongruenz (32). Als weitere Aufgabe sei die Gelenkpropriozeption genannt. Hierunter versteht man den

SUMMARY

Background: Many patients with meniscus injuries report increasing complaints after movements that suddenly place stress on the knee or after combined rotation and flexion movements. Maintaining postural and gait stability after combined movements requires especially control of muscle tone and reflex/muscle coordination. Patients often report a subjective increase in stability when wearing a functional knee brace. The influence of knee braces on postural stability in patients with meniscus injuries has, however, not yet been investigated.

Methods: Twenty-seven patients with arthroscopically-confirmed unilateral meniscal lesions took part in the study. Their ability to maintain balance in the one-leg stance was assessed preoperatively using dynamic posturography. Both sides were tested with and without a knee brace. Moreover, stability index scores were calculated. Groups were compared using Student's t-test or one-way ANOVA.

Results: Using a knee brace was associated with an increase in overall stability index scores from $3.6^\circ \pm 1.2^\circ$ to $3.0^\circ \pm 1.1^\circ$ (16.7%) on the injured side ($p < 0.01^*$) and from $3.5^\circ \pm 0.9^\circ$ to $2.9^\circ \pm 0.8^\circ$ (17.1%) on the healthy side ($p < 0.01^*$). The differences between injured and uninjured legs were not significant.

Discussion: We showed for the first time that the use of a functional knee brace leads to a significant increase in the postural stability of patients with meniscal lesions. Since functional knee braces also improved postural stability on the healthy side, however, their effects are likely to be independent of meniscus injury.

Key Words: postural stability, posturography, meniscus, knee, brace

Sinn für Position und Bewegung von Extremitäten, wobei diese als Ergebnis sensorischer Eingänge von Muskulatur, Haut und Gelenkstrukturen zu verstehen ist (26). Freie Nervenendigungen (Nozizeptoren) und korpuskuläre Mechanorezeptoren (3,6,7,34), nämlich schnell adaptierende Pacini-Körperchen, langsam adaptierenden Ruffini-Endigungen und Golgi-Sehnenorgane, ermöglichen die hierfür notwendige Innervation. Sie lassen sich u. a. in Meniskusvorder- und hinterhörnern finden (3,36). V.a. bei endgradiger Flexion/Extension vermitteln sie so eine afferente Rückkopplung und induzieren durch Signale über den aktuellen Kompressions- oder Spannungszustand zentrale Korrekturbewegungen (12,27). Eine verminderte Gelenkpropriozeption tritt durch traumatische/degenerative Meniskusverletzungen ein, ins-

besondere wenn nur die Resektion des betroffenen Meniskusanteils bleibt (13,19).

Propriozeption, visuelles System und Vestibularapparat sind wichtige Regulatoren der posturalen Kontrolle

In diesem Zusammenhang taucht der Begriff der posturalen Stabilität auf, die dem aufrechten Stand und Gang dient. Diese ist ein dynamischer Prozess, der ständig zahlreiche Afferenzen aus vestibulären, visuellen und propriozeptiven Rezeptoren zentral verarbeitet (25). Und gerade die von Patienten beklagten Kombinationsbewegungen wie der rasche Wechsel von Ent- zur Belastung, vom Zwei- zum Einbeinstand, offenen zu geschlossenen Augen oder plötzliche Gewichtsverlagerungen fordern die Gelenkpropriozeption, die wiederum zu einer erhöhten Aktivität posturaler Kontrollmechanismen führt. (34,35,36).

PROBLEM- UND ZIELSTELLUNG

Oft wird eine subjektive Schmerzreduktion und Erhöhung der empfundenen Gelenkstabilität durch das Tragen einer Kniegelenksbandage geäußert. Daher vermuteten wir, dass eine Propriozeptionssteigerung z.B. durch Bandage ebenfalls zu verbesserter Standstabilität führt. Auch wenn zur Veränderung der Propriozeption bei Meniskusverletzungen Untersuchungen insbesondere mit Winkelreproduktions-tests durchgeführt wurden, ist dieser ganzheitliche Ansatz mit Blick auf die Gesamtstatik bisher völlig unklar (29).

Zentrale Fragestellung unserer Studie war daher, ob Kniegelenksbandagen bei Meniskusläsionen zu einer Verbesserung der posturalen Stabilität führen. Falls eine Zunahme der Standstabilität mittels Computerunterstützter Dynamischer Posturographie demnach erstmalig objektivierbar wäre, könnte Patienten mit hoher subjektiver Instabilität und nur relativer Operationsindikation (geringer meniskaler Schaden, Kontraindikationen für eine Operation) nachweislich geholfen werden.

PATIENTEN UND METHODEN

Probanden

Teilnehmer waren 27 Patienten, davon 23 Männer und 4 Frauen (36,8 ± 17,8 J, 177,7 ± 9,4 cm, 82,5 ± 11,3 kg). Alle Probanden hatten bis auf eine unilaterale Innen- oder Außenmeniskusverletzung keine Erkrankung des orthopädischen, neurologischen, vestibulären oder optischen Systems. Zur Statuserhebung wurde neben der Anamnese eine körperliche Untersuchung durchgeführt. Bandverletzungen und Ruheschmerzen waren Ausschlussgründe.

Die präoperative Verdachtsdiagnose wurde stets im Rahmen der therapeutischen Arthroskopie verifiziert. Patienten ohne Arthroskopie oder sich im Anschluss nicht bestätigter Meniskusläsion wurden ausgeschlossen. Die Studie war durch die Ethikkommission der Universität Ulm (Antrag-Nr. 323/08) genehmigt worden. Die Rechte der Studienteilnehmer waren gemäß der Erklärung von Helsinki geschützt.

Messapparatur

Bei dem verwendeten Balancetrainingsgerät (Biodex Balance System*, Shirley, USA) handelt es sich um eine Plattform, die freie Beweglichkeit in mediolateraler, sowie anterioposteriorer Achse

aufweist und bei einer Messgenauigkeit auf 0,1° genau bis zu 20° abkippen kann. Die durchschnittliche Auslenkung im zeitlichen Verlauf wird als mediolateraler Stabilitätsindex (MLSI), anterioposteriorer Stabilitätsindex (APSI) und gesamter (overall) Stabilitätsindex (OSI) berechnet (Einheit: Winkelgrad). Neben einem stabilen Level lassen sich zwölf dynamische Level einstellen, bei denen sich die Platte passiv auslenken kann. Die Standfestigkeit nimmt von Level 1 bis Level 12 kontinuierlich zu. Wir wählten zur besseren Vergleichbarkeit unserer Experimente das mittlere Level 8, da dieses in vielen Studien üblicherweise verwendet wird. Zur realitätsnahen Prüfung der Standstabilität wurde der Bildschirm verdeckt und der Blick des Teilnehmers war frei geradeaus bei geöffneten Augen.

Durchführung des Versuchs

Die Teilnehmer konnten sich im Rahmen eines Probedurchgangs mit der Apparatur vertraut machen. Während der Messung trugen alle Personen ihre eigenen Turnschuhe und der jeweilige Fuß stand in Neutralposition auf der Plattform. Die Messungen erfolgten je Bein 3x20s. Die Reihenfolge wurde zur Gewährleistung von Strukturgleichheit mittels Briefwahl randomisiert: Es gab dabei folgende vier Modalitäten: 1. Erkranktes Knie ohne Bandage, 2. Gesundes Knie ohne Bandage, 3. Erkranktes Knie mit Bandage, 4. Gesundes Knie mit Bandage. Auch wenn ein Trainingseffekt unwahrscheinlich war (30), wurde die Untersuchungsreihenfolge der Modi randomisiert. Durch die Studie von Hoffman et al. (16) war außerdem gezeigt worden, dass die Seitendominanz eines Beines die posturale Stabilität nicht beeinflusst, so dass wir nur von „erkrankter“ und „gesunder“ Extremität sprechen. Als Kniegelenksbandage wurde die kassenübliche Fixationsbandage StabuloGen® (BORT, Weinstadt, Deutschland) verwendet, die laut Hersteller v.a. auch bei Patellainstabilität, Gelenkergüssen, Schwellungen, Arthrose und Arthritis, postoperativen Reizzuständen und Bandschwäche eingesetzt wird. Der operative Eingriff wurde grundsätzlich am Folgetag durchgeführt.

Statistik

Es wurde neben deskriptiver Statistik computerunterstützt der Stabilitätsindex [Winkelgrad] berechnet. Der Fallzahlplanung lagen Daten bisheriger Reliabilisierungsstudien zugrunde. Für Zweigruppenvergleiche wurde der Student-t-Test eingesetzt. Mittels einfacher ANOVA erfolgte der Mehrgruppenvergleich aller vier Modi (Signifikanzniveau $p < 0,05$). Die statistischen Analysen wurden mit dem Statistikpaket SPSS gemacht.

ERGEBNISSE

Probanden und Verletzungsmuster

Bei den Probanden handelte es sich vorwiegend um Männer, was v.a. in der geschlechtsspezifischen Häufigkeit von Meniskusverletzungen begründet ist. Mögliche Einflüsse bezüglich Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht konnten jedoch bei dieser Evaluation vernachlässigt werden, da bei jedem die gesunde Seite als Kontrolle diente. Dieses Vorgehen ist mit unserer bisher in Teilen publizierten Reliabilisierungsstudie der Computerunterstützten Dynamischen Posturographie mit ca. 100 Probanden konform (28).

17 Patienten hatten eine Innenmeniskus- und acht eine Außenmeniskusverletzung. Zwei Patienten wiesen sowohl eine In-

Tabelle 1: Arthroskopisch diagnostizierte Verletzungsmuster.

Meniskusläsion (n=27)	Innenmeniskus (n=17)	Vorder-/Hinterh. (n=14) Pars intermedia (n=3)
	Außenmeniskus (n=8)	Vorder-/ Hinterhorn (n=7) Pars intermedia (n=1)
Keine Meniskusläsion (n=6)	Innen- und Außenmeniskus (n=2)	
	VKB-Ruptur (n=1)	
	Reizsynovialitis (n=1)	
	Plica medio/infrapatellaris (n=3)	
	Sklerosierte Hoffazotten (n=1)	

Tabelle 2: Zusammenfassung der berechneten Stabilitätsindizes von OSI (Overall Stability Index; Gesamtstabilitätsindex) APSI (Anterior Posterior Stability Index; Anteriposteriorer Stabilitätsindex) und MLSI (Medial Lateral Stability Index; Mediolateraler Stabilitätsindex) bei krankem und gesunden Bein jeweils ohne und mit Bandage. Neben Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SA) wurden die Grenzen des 95%-Konfidenzintervalls (KI) sowie die gemessenen Minimal- und Maximalwerte (Min/Max) des Kollektivs aufgeführt.

		MW	SA	95% KI unt. Grenze	95% KI ob. Grenze	Min	Max
OSI	Läsion, ohne Bandage	3,6	1,2	3,1	4	1,8	6
	keine Läsion, ohne Bandage	3,5	0,9	3,2	3,9	2	5,4
	Läsion, mit Bandage	3	1,1	2,6	3,4	1,6	5,5
	keine Läsion, mit Bandage	2,9	0,8	2,6	3,2	1,5	4,9
APSI	Läsion, ohne Bandage	2,6	1	2,2	3	1	4,9
	keine Läsion, ohne Bandage	2,7	0,9	2,3	3,1	1,2	4,7
	Läsion, mit Bandage	2,2	0,8	1,8	2,5	1	4,4
	keine Läsion, mit Bandage	2,1	0,8	1,8	2,4	1	3,6
MLSI	Läsion, ohne Bandage	2,1	1	1,7	2,5	0,9	4,9
	keine Läsion, ohne Bandage	2	0,8	1,7	2,3	1	4,3
	Läsion, mit Bandage	1,9	0,7	1,6	2,1	0,7	3
	keine Läsion, mit Bandage	1,8	0,7	1,5	2,1	0,7	3,4

nen- als auch Außenmeniskusläsion auf (Tab. 1). Sechs weitere Patienten mussten nach durchgeführter Arthroskopie aufgrund fehlender Meniskusläsion oder Begleitverletzungen ausgeschlossen werden.

Signifikante Verbesserung der posturalen Stabilität mit Bandage

Die posturale Stabilität ist um so höher, je niedriger der Stabilitätsindex ist. Für den Gesamtstabilitätsindex (OSI) lag der Wert des verletzten Kniegelenks ohne Bandage bei $3,6 \pm 1,2^\circ$ und mit Bandage bei $3,0 \pm 1,1^\circ$, was einer Erhöhung der posturalen Stabilität von 16,7% ($p < 0,01$) entsprach. Für das gesunde Bein wurde ein Gesamtindex von $3,5 \pm 0,9^\circ$ (ohne Bandage) registriert, welcher sich mit Bandage um 17,1% auf einen Wert von $2,9 \pm 0,8^\circ$ ($p < 0,01$) verbesserte. Vergleicht man die Indizes beider Gelenke, so fällt auf, dass weder ohne ($p = 0,85$) noch mit Bandage ($p = 0,56$) ein signifikanter Unterschied zwischen dem kranken und gesunden Bein bestand. Die Nebenzielgrößen anteriposteriorer Stabilitätsindex (APSI) und mediolateraler Stabilitätsindex (MLSI) und deren Signifikanzen können Tab. 2 und Abb. 1-3 entnommen werden.

DISKUSSION

Formulierung des Studienziels

Ziel unserer Studie war es zu untersuchen, ob das Tragen von Kniegelenksbandagen bei Meniskusläsionen zur Verbesserung der posturalen Stabilität führt. Bei gänzlich fehlender Datenlage zum Einfluss von Bandagen auf die Standstabilität bei Meniskuspatienten wurde zudem die gesunde Seite untersucht. Damit sollten wichtige Rückschlüsse über die spezifische Wirkungsweise der Bandagen gewonnen werden.

Wir konnten zeigen, dass funktionelle Gelenkbandagen zu einer starken Verbesserung der posturalen Standfähigkeit führen – und zwar unabhängig von einer vorliegenden Meniskusverletzung.

Die Prüfung und Verbesserung der Gelenkpropriozeption ist Gegenstand zahlreicher Studien

Zur Steigerung der Gelenksensation stehen operative und konservative Möglichkeiten zur Verfügung. So wurde eine Erhöhung des Gelenkstellungssinns gemessen mit dem Biodex System 3 Dynamo-

meter* durch Allografttransplantation bei Meniskuläsionen erzielt (33). Auch wenn ungeklärt war, wie ein transplantiertes Meniskus reinnerviert wird, führte man die Steigerung der Propriozeption auf eine erhöhte Anzahl im Gelenk befindlicher Mechanorezeptoren zurück, welche mit dem neuen Ersatzmeniskus implantiert worden waren. Auch eine Meniskusresektion führte bei Jerosch (22,33) zur verbesserten Kniegelenkspropriozeption. Neben operativen Techniken kann eine kurzfristige Besserung der Propriozeption auch durch elastische Kniegelenksbandagen beobachtet werden. Perlau (29) untersuchte den Effekt einer Bandage bei Gesunden und zeigte eine Verbesserung der Propriozeption. Der Benefit von

Bandagen wurde auch bei Rupturen des vorderen Kreuzbandes und rezidivierenden posttraumatischen Patellaluxationen und Gonarthrose unterstrichen (8, 18, 19, 20).

Die Posturographie ermöglicht eine realitätsnahe Funktionsprüfung der unteren Extremität

Neben der oft subjektiv wahrgenommenen Steigerung der Gelenksensibilität wurde in den aufgeführten Studien versucht, die Effektivität von Bandagen mittels kinesthetischer Tests zu objektivieren. Hierzu zählen Gelenkbewegungs- und Gelenkstellungstests. Bei differierenden Messprotokollen waren die Ergebnisse nicht immer einheitlich: Gemäß Beynon und Renström (4) beeinflusst nämlich nicht nur die gemessene Gelenkposition die kinästhetische Wahrnehmung; für die Gelenksensibilität ist weiterhin relevant, ob die Gelenkbewegung aktiv oder passiv durchgeführt wird, oder ob z.B. zusätzliche axiale Belastung mit verstärkter Aktivierung von Mechanorezeptoren auf die Gelenke einwirkt.

Die unspezifische Erhöhung der posturalen Stabilität durch Bandagen bestätigt frühere Untersuchungen zur Propriozeption

Bei dem Gesamtindex (OSI) zeigte sich eine Verbesserung um ein Sechstel beim verletzten Bein (Tab. 1, Abb. 1). Dennoch trat die Erhöhung der Stabilität auch am gesunden Knie ein, so dass der Effekt unspezifisch für Meniskuläsionen war. Daher vermuten wir, dass meniskale Mechanorezeptoren für die Wirkung der Orthese belanglos sind. Vielmehr scheinen stattdessen die in der Gelenkkapsel gelegenen Ruffini-Rezeptorendigungen und die spezifischen Hautrezeptoren hierfür verantwortlich zu sein. Dies wurde auch bei Testung von Gelenkbewegung und -stellung beobachtet (13, 14, 15, 17, 23) und bestätigte sich nun in der Posturographie. So wurde auch beschrieben, dass bei vermehrter Gelenkflüssigkeit (Erguss) mit konsekutiv erhöhter Kapselspannung Besserungen von Stellungssinn und Ganganalyse eintraten (8), hingegen nach i.a. Injektion von Lokalanästhetika im Tierversuch Gangunregelmäßigkeiten auftraten (9). Auch Thijs (33) diskutierte interessanterweise in seiner Studie über Allografttransplantation von Menisken, ob für die gesteigerte Propriozeption nicht allein die im Transplantat lokalisierten Mechanorezeptoren, sondern auch die Wiederherstellung der ursprünglichen Kapselspannung (mit den dort befindlichen Mechanorezeptoren) verantwortlich sei. Schließlich trat die Verbesserung schon 6 Monate postoperativ auf. Der entscheidende Punkt ist also, dass durch das Transplantat die Gelenkhomöostase wiederhergestellt wird, da ein neuraler Anschluss der Mechanorezeptoren kaum zu vermuten ist.

Fazit für die Praxis

Wir haben erstmalig die Wirkung funktioneller Bandagen auf posturale Stabilität und Gesamtstatik bei Meniskusverletzungen untersucht. Aufgrund der unspezifischen Verbesserung der Standstabilität auch am gesunden Bein konnten wir die Wichtigkeit von Rezeptoren in Haut und Gelenkkapsel, nicht jedoch in den Menisken für die posturale Stabilität unterstreichen. Eine deutliche Verbesserung der Propriozeption und posturalen Stabilität ist von großem klinischen Interesse, da Defizite mit erhöhtem (Re-)Verletzungsrisiko assoziiert sind (11, 19, 24, 31), Bandagen aber zu einer reduzierten Verletzungshäufigkeit führen (5). Daher profitieren gerade Patienten mit subjektiv hohem Instabilitätsgefühl, relativer Operationsindikation/ Kontraindikationen oder assoziierter Kapselbandinstabilität von Gelenkbandagen.

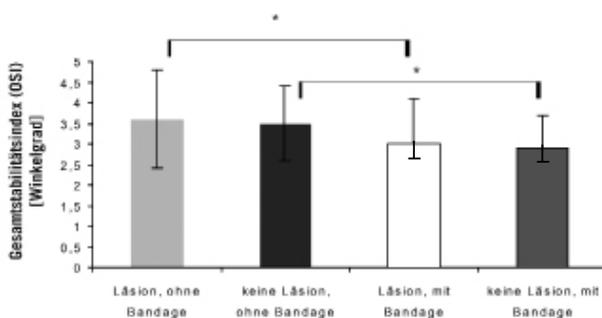


Abbildung 1: Die Abbildung zeigt die signifikanten Unterschiede des Gesamtstabilitätsindex (OSI) zwischen verletztem Bein ohne Bandage und verletztem Bein mit Bandage, bzw. gesundem Bein ohne Bandage und gesundem Bein mit Bandage. Mit Bandage stieg die posturale Stabilität bei beiden Beinen um ca. 17% an.

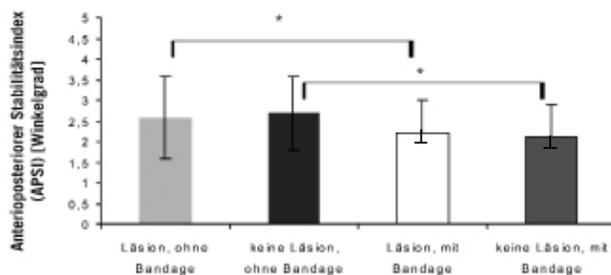


Abbildung 2: Auch beim Anterioposterioren Stabilitätsindex (APSI) konnte für beide Beine eine signifikante Besserung durch das Tragen einer Bandage aufgezeigt werden.

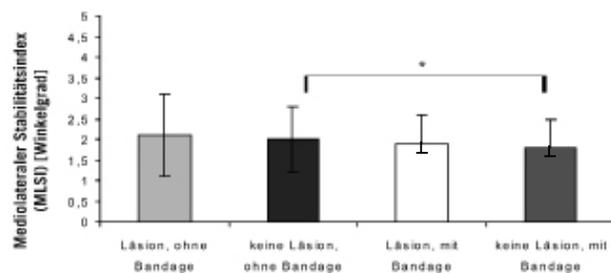


Abbildung 3: Für den Mediolateralen Stabilitätsindex (MLSI) war nur beim gesunden Bein eine Verbesserung durch Bandage zu registrieren. Wie auch bei den Abbildungen 1 und 2 zeigten sich zwischen verletztem Bein ohne Bandage und gesundem Bein ohne Bandage, bzw. verletztem Bein mit Bandage und gesundem Bein mit Bandage keine signifikanten Unterschiede.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.

LITERATUR

1. AAGAARD H, VERDONK R: Function of the normal meniscus and consequences of meniscal resection. *Scand J Med Sci Sports* 3 (1999) 134-140.
2. ARNOCZYK SP: Meniscal healing, regeneration and repair. *Advances Orthop Surg* 7 (1984) 244-252.
3. ASSIMAKOPOULOS AP, KATONIS PG, AGAPITOS MV, EXARCHOU EI: The innervation of the human meniscus (Review) *Clin Orthop* 75 (1992) 232-236.
4. BEYNNON, BD, RENSTROM PA: The effect of bracing and taping in sports. *Ann Chir Gynaecol* 2 (1991) 230-238.
5. BRANCH TP, HUNTER RE: Functional analysis of anterior cruciate ligament braces. *Clin Sports Med* 4 (1990) 771-797.
6. CALDWELL GL, JR., ALLEN AA, FU FH: Functional anatomy and biomechanics of the meniscus. *OpTechn Sports Med* 2 (1994) 152-63.
7. DAY B, MACKENZIE WG, SHIM SS, LENG G: The vascular and nerve supply of the human meniscus. *Arthroscopy* 1 (1985) 58-62.
8. ERGGELET CH: Wertigkeit von Bandagen und Orthesen zur Behandlung der Gonarthrose. *Dtsch Z Sportmed* 54 (2003) 196-198.
9. FERRELL WR, BAXENDALE RH, CARNACHAN C, HART IK: The influence of joint afferent discharge on locomotion, proprioception and activity in conscious cats. *Brain Res* 11; 1: (1985) 41-48.
10. FERRELL W, GANDEVIA S, MCCLOSKEY D: The role of joint receptors in human kinaesthesia when intramuscular receptors cannot contribute. *J Physiol* 386 (1987) 63-71.
11. FRIDEN T, ROBERTS D, AGEBERG E, et al.: Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture. *J Orthop Sports Phys Ther* 31 (2001) 567-576.
12. GRAY JC: Neural and vascular anatomy of the menisci of the human knee. *J Orthop Sports Phys Ther* 1 (1999) 23-30.
13. GRONBLAD M, KORKALA O, LIESI P, KARAHARJU E: Innervation of synovial membrane and meniscus. *Acta Orthop Scand* 56 (1985) 484-486.
14. HENNING CE, LYNCH MA: Current concepts of meniscal function and pathology. *Clin Sports Med* 4 (1985) 259-265.
15. HETTINGA DL: Normal joint structures and their reaction to injury. *J Orthop Sports Phys Ther* 1 (1979) 83-88.
16. HOFFMAN M, SCHRADER J, APPLGATE T, KOCEJA D: Unilateral Postural Control of the Functionally Dominant and Nondominant Extremities of Healthy Subjects. *J Athl Train* 4 (1998) 319-322.
17. HORIBE S, SHINO K, MAEDA A, NAHAMURA N, MATSUMOTO N, OCHI T: Results of isolated meniscal repair evaluated by second-look arthroscopy. *Arthroscopy* 2 (1996) 150-155.
18. JEROSCH J, PRYMKA M: Proprioceptive capacities of the healthy knee joint: modification by an elastic bandage. *Sportverletz Sportschaden* 3 (1995) 72-76.
19. JEROSCH J, PRYMKA M: Knee joint proprioception in normal volunteers and patients with anterior cruciate ligament tears, taking special account of the effect of a knee bandage. *Arch Orthop Trauma Surg* 3-4 (1996) 162-166.
20. JEROSCH J, PRYMKA M: Knee joint proprioception in patients with post-traumatic recurrent patella dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 4 (1996) 14-18.
21. JEROSCH J, PRYMKA M: Proprioception and joint stability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 3 (1996) 171-179.
22. JEROSCH J, PRYMKA M, CASTRO WHM: Proprioception of knee joints with a lesion of the medial meniscus. *Acta Orthop Belgica* 62 (1996) 41-45.
23. JEROSCH J, PRYMKA M: Proprioceptive deficits of the knee joint after rupture of the medial meniscus. *Unfallchirurg* 6 (1997) 444-8.
24. LEPHART SM, PINCIVERO DM, GIRALDO JL, et al.: The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J SportsMed* 1 (2000) 130-137.
25. MAURER C, MERGNER T, PETERKA RJ: Multisensory control of human upright stance. *Exp Brain Res* 2 (2006) 231-250.
26. MCLAUGHLIN J, DEMAIIO M, NOYES FR, MANGINE RE: Rehabilitation after meniscus repair. *Sports Med Rehab Series* 17 (1994) 463-471.
27. NYLAND J, BROSKY T, CURRIER D, et al: Review of the afferent neural system of the knee and its contribution to motor learning. *J Orthop SportsPhys Ther* 19 (1994) 2-11.
28. PALM HG, STROBEL J, ACHATZ G, VON LÜBKEN F, FRIEMERT B: The role and interaction and auditory afferents in postural stability. *Gait Posture* 30 (2009) 328-333
29. PERLAU R, FRANK C, FICK G: The effect of elastic bandages on human knee proprioception in the uninjured population. *Am J Sports Med* 2 (1995) 251-255.
30. PINCIVERO DM, LEPHART SM, HENRY T: Learning effects and reliability of the Biodex Stability System. *J Athl Train* 30 (1995) 48.
31. POWELL JW, BARBER-FOSS KD: Sex-related injury patterns among selected high school sports. *Am J Sports Med* 3 (2000) 385-391.
32. RANGGER C, KATHREIN A, KLESTIL T, GLÖTZER W: Partial meniscectomy and osteoarthritis. Implications for treatment of athletes. *Sports Med* 23 (1997) 61-68.
33. THJYS Y, WITVROUW E, EVENS B, COOREVITS P, ALMQVIST F, VERDOU-TE R: A prospective study on knee proprioception after meniscal allograft transplantation. *Scand J Med Sci Sports* 3 (2007) 223-9.
34. WILSON AS, LEGG PG, MCNEUR JC: Studies of the innervation of the medial meniscus in the human knee joint. *Anat Rec* 165 (1969) 485-491.
35. YOCUM LA, KERLAN RK, JOBE FW, CARTER VS, SHIELDS CL JR, LOMBARDO SJ, COLLINS HR: Isolated lateral meniscectomy. A study of twenty-six patients with isolated tears. *J Bone Joint Surg* 61A (1979) 338-342.
36. ZIMNY ML: Mechanoreceptors in articular tissues. *Am J Anat* 182 (1988) 16-32.

Korrespondenzadresse:**Dr. med. Hans-Georg Palm****Abteilung für Unfallchirurgie und Orthopädie****Bundeswehrkrankenhaus Ulm****Oberer Eselsberg 40****89081 Ulm****E-Mail: HansGeorgErichPalm@Bundeswehr.org**