

R. Schmidt¹, S. Benesch¹, C. Bertsch², S. Neller³, H. Gerngroß¹, L. Claes³

Der Einfluss anatomischer Bandreparationen auf den Sprunggelenkkomplex: eine in-vitro Untersuchung

Biomechanical consequences of anatomical reconstruction of the lateral ligaments to the ankle joint complex: an in-vitro investigation

1 Abteilung Chirurgie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm

2 Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

3 Institut für Unfallchirurgische Forschung und Biomechanik, Universitätsklinikum Ulm

Zusammenfassung

Die in-vitro Studie untersucht die dreidimensionale Kinematik des oberen und unteren Sprunggelenkes nach Durchtrennung des lateralen Bandapparates und nach drei unterschiedlichen anatomischen Bandoperationen: der direkten Naht, dem freien Brevissehnen-Transplantat und der Kohlefaserplastik.

Anatomische bandrekonstruktive Eingriffe am lateralen Bandapparat des oberen Sprunggelenkes, welche die natürlichen Insertionspunkte der Bänder sowie den physiologischen Bandverlauf respektieren, führten zu keiner Einschränkung der natürlichen dreidimensionalen Gesamtbewegung des Fußes. Somit lies sich mit einer anatomischen Bandrekonstruktion ein normales Bewegungsspiel im oberen und unteren Sprunggelenk erreichen. Hierbei zeigte die direkte Naht bzw. die knöcherne Reinsertion die besten Resultate. Bewegungseinschränkungen am oberen bzw. unteren Sprunggelenk wurden nicht beobachtet.

Die direkte Naht bzw. die knöcherne Reinsertion der Bänder wird als Methode der Wahl bei der Behandlung der mechanisch bedingten chronischen Instabilität empfohlen. Falls der Zustand der Bandreste keine direkte Naht erlaubt sollte ein anderes anatomisches Verfahren in Betracht gezogen werden.

Schlüsselwörter: in-vitro, chronische Sprunggelenkinstabilität, oberes Sprunggelenk, unteres Sprunggelenk, Tenodesen, anatomische Rekonstruktion, Kinematik

Einleitung

Die Läsion des lateralen Kapsel-Band-Apparates am Sprunggelenk ist die häufigste Verletzung in der Sportmedizin (14, 15). Gründe hierfür liegen sowohl in den anatomischen Gegebenheiten des Sprunggelenkes als auch in den Unfallmechanismen. Eine besondere Gefährdung besteht bei den sprungbetonten Ballsportarten (44). Nachdem die akute Bandverletzung heute allgemein konservativ therapiert wird, bestehen weiterhin Unklarheiten bezüglich des operativen Vorgehens bei der Behandlung der mechanisch bedingten chronischen Instabilität (4, 39, 40). In etwa 20% aller un-

Summary

The three-dimensional kinematics of both the ankle and the subtalar joint was examined after cutting and subsequent repairing the lateral ligaments using three anatomical procedures: direct repair, tendon graft and carbon-fibre implant. All procedures restored the original kinematics of the subtalar joint, except the plantar/dorsiflexion. For the talocrural joint, the tendon graft and the carbon fibre implant left a minimal laxity for the inversion/eversion and internal/external rotation movements. The direct repair procedure restored the physiologic kinematics almost completely and gave the best results, allowing almost complete restoration of the physiologic kinematics. Each procedure respected the insertion points and the directions of the original ligaments. However, the different results for direct repair and the other two anatomical procedures show that this condition alone is not sufficient to restore the kinematics of the talocrural and subtalar joints perfectly. None of the procedures caused a movement restriction.

Thus, we recommend direct repair of the ligaments as the method of choice. If the quality or the conditions of the ligaments do not allow direct repair, we recommend using another anatomical reconstruction.

Key words: in-vitro, chronic ankle instability, talocrural joint, subtalar joint, tenodesis, anatomical reconstruction, kinematics

fallchirurgischen und orthopädischen Kliniken werden Tenodesen als Verfahren der ersten Wahl angewendet (4). Um die biomechanischen Auswirkungen der Tenodesen auf den Sprunggelenkkomplex beurteilen zu können, wurden in-vitro Untersuchungen zu den am häufigsten angewandten Tenodesen nach Evans, Watson-Jones oder Chrisman-Snook durchgeführt (2, 36, 37). Diese Untersuchungen deuten darauf hin, dass ein erhöhter Gelenkverschleiß aufgrund der veränderten Gelenkinematik und einer damit in Verbindung stehenden Belastungsveränderung entstanden sein kann (2). Insbesondere im Subtalargelenk ist dies als eine Folge des biomechanisch ungünstigen Eingriffs anzusehen. Daraus

lässt sich die Forderung nach anatomisch korrekten Rekonstruktionsverfahren des lateralen Bandapparates ableiten. Anatomische bandplastische Verfahren wurden in den bisherigen in-vitro Experimenten allerdings noch nicht ausreichend berücksichtigt.

Bereits 1978 zeigten *Wirth et al.* mit Hilfe eines Fadenmodells an Leichenpräparaten, dass ausschließlich der direkte anatomische Ersatz der Außenknöchelbänder eine freie Beweglichkeit im oberen und unteren Sprunggelenk gewährleistet (47). Von den Originalinsertionspunkten der Ligamente abweichende Verlaufsrichtungen führten entweder zu Einschränkungen der Beweglichkeit oder zur Erschlaffung der Bänder. Weiterführende in vitro-Untersuchungen von *Rosenbaum et al.* haben gezeigt, dass Tenodesen generell die Beweglichkeit des Rückfußes einschränken (38). Die Störungen der Gelenkkinematik wurden ebenfalls von *Becker et al.* und *Karlsson et al.* als mögliche Ursachen für die in Langzeitnachuntersuchungen gefundenen erhöhten Arthrosen diskutiert (5, 21). Es finden sich in der Literatur kritische Hinweise, dass Tenodesen eine Beeinträchtigung der Bewegungsmöglichkeiten im Sprunggelenkkomplex nach sich ziehen (16, 17, 27). In mehreren Studien wird dagegen eine hohe Patientenakzeptanz und Zufriedenheit nach anatomischen bandplastischen Verfahren belegt (3, 31, 32, 45). Durch die Imitation des natürlichen Bandverlaufes haben sie praktisch keinen negativen Einfluss auf biomechanische Konditionen des Sprunggelenkkomplexes (9, 33, 35, 43). Mehrere Autoren nahmen mit Hilfe von Belastungs- bzw. Bewegungssimulatoren biomechanische Vergleiche von Bandplastiken vor (10, 11, 28). Die verwendeten Simulatoren konnten aufgrund der Bauweise die physiologischen Bedingungen jedoch nur teilweise nachahmen. Wie auch bei den früher durchgeführten in-vitro-Versuchen am Sprunggelenkkomplex hat sich zur genauen Analyse von Relativbewegungen der entsprechend modifizierte Wirbelsäulensimulator nach *Wilke* bewährt (38, 46).

Klinische Langzeitergebnisse nach anatomischen Bandrekonstruktionen weisen auf die Bedeutung einer möglichst anatomiegerechten Wiederherstellung des lateralen Bandapparates hin, die auch in der Literatur gefordert wird (23, 25, 29, 49). Allerdings liegen zur Validierung dieser Forderung kaum Erkenntnisse aus biomechanischen Studien vor, die den mechanischen Effekt einer anatomischen Rekonstruktionstechnik untersuchen. Daher sollen in der vorliegenden Studie die folgenden Fragestellungen untersucht werden:

1. Lässt sich mit einer anatomischen Bandrekonstruktion ein normales Bewegungsspiel in den beteiligten Gelenken des Sprunggelenkkomplexes erreichen?

2. Welche anatomische Rekonstruktionstechnik kommt der physiologischen Situation eines nicht verletzten Sprunggelenkes am nächsten?

Material und Methoden

Für die Messungen wurden 10 humane Unterschenkelpräparate verwendet. Sie wurden in frischem Zustand bei -20°C tiefgefroren und 12 Stunden vor der Präparation aufgetaut. Die Präparate wurden 15 cm oberhalb des Sprunggelenkes abgetrennt und so auf eine einheitliche Tibialänge gebracht. Anschließend erfolgte am Unterschenkel das Abpräparieren sämtlicher Weichteile außer den Kapselbandstrukturen am Sprunggelenk und der Membrana interossea. Die Einspan-

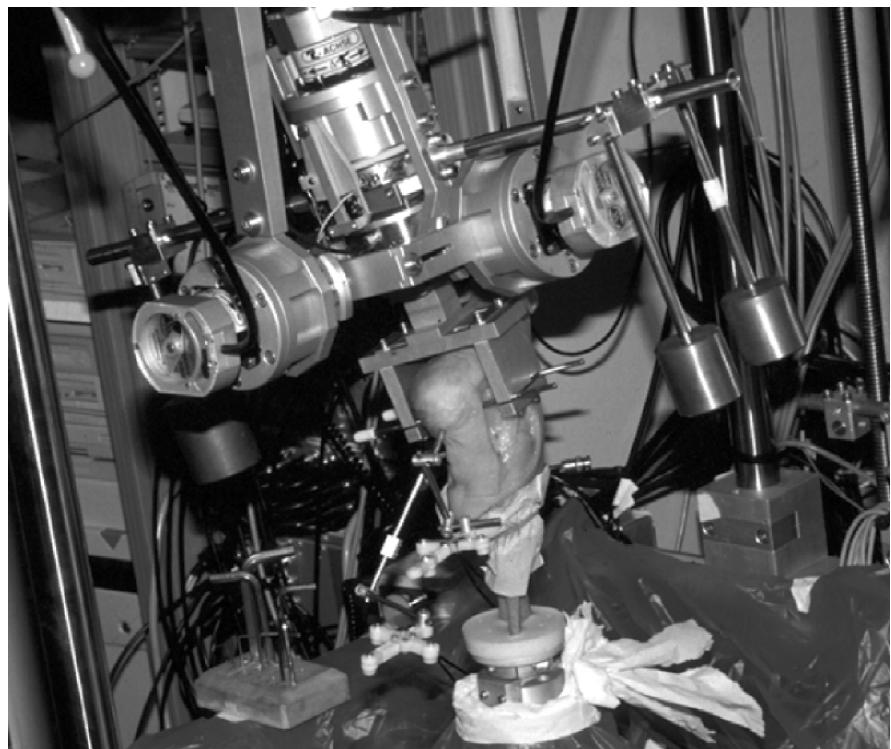


Abbildung 1: Präpariertes Unterschenkelpräparat im Wirbelsäulensimulator eingespannt

nung des Präparates in den Simulator erfolgte aus technischen Gründen um 180° invertiert, so dass das proximale Ende der Tibia unten an die Bodenplatte des Testrahmens zu liegen kam. Hierzu wurden Tibia und Fibula zusammen in einen Zylinder aus Polymethylmetacrylat (Technovit 3040, Heraeus Kulzer GmbH, Wehrheim) eingegossen, an dem von unten ein Flanschstück zur Fixation im Simulator angeschraubt werden konnte. Der Calcaneus wurde mit einer speziell entwickelten Haltevorrichtung am Simulator fixiert (Abb.1).

Für jedes Präparat waren fünf verschiedene Versuchsbedingungen vorgesehen. Zunächst wurde das Bewegungsausmaß bei intaktem Bandapparat ermittelt. Danach wurde eine Bandläsion simuliert, indem das Lig. fibulotalare anterius und anschließend das Lig. fibulocalcaneara mit dem Skalpell durchtrennt wurden. Im Anschluss daran wurden drei unter-

schiedliche anatomische bandrekonstruktive Verfahren untersucht. Zunächst erfolgte die direkte Bandnaht (Broström-Repair) (8) bzw. eine knöcherne Neuinsertion (Karlsson-Repair) der Bänder, wenn eine direkte Naht nicht möglich war (22). Anschließend diente ein freies Sehnentransplantat (halbierte Sehne des M. peroneus brevis) als Bandersatz. Das freie Sehnentransplantat wurde analog zum Bandverlauf der Ligg. fibulotalare anterius und fibulocalcaneare über ein V-förmiges Bohrloch in der Fibulaspitze geleitet und anschließend im Talus und Calcaneus knöchern inseriert. Die Fixierung erfolgte an beiden Knochen mit Kortikalisschrauben. In einzelnen Fällen musste eine Sicherung der Schrauben mit Polymethylmetacrylat (Technovit 3040, Heraeus Kulzer GmbH, Wehrheim) vorgenommen werden. Bei der letzten Versuchsanordnung wurde das Sehnentransplantat durch ein Kohlefaserband ersetzt. Dieses imitierte ebenfalls den Verlauf beider Bänder und wurde analog zum Sehnentransplantat knöchern fixiert.

Für jeden Fußzustand [nativ (NA), durchtrennte Bänder (DB), Bandnaht (AR), freies Sehnentransplantat (BR), Kohlefaser (KO)] wurden am Wirbelsäulensimulator dreidimensionale Bewegungsspielräume (range of motion, ROM) für folgende Untersuchungsregionen festgelegt:

1. Gesamter Sprunggelenkkomplex (OSG und USG) - SGK
2. Oberes Sprunggelenk - OSG
3. Unteres Sprunggelenk - USG

Die ROM wurde in allen Regionen für die Dorsalextension/Plantarflexion, die Inversion/Eversion und die Außen- und Innenrotation ermittelt. Die Aufnahme der Messdaten erfolgte mit dem Zebri-Messsystem (Zebli, Tuttlingen, Deutschland), das Bewegungsausmaße unter Ausnutzung des Dopplereffektes für definierte Messpunkte ermittelte.

Nachdem das Präparat in unbelasteter Neutralstellung positioniert wurde, erfolgte jeweils das Aufzeichnen von drei Bewegungszyklen. Hierbei dienten die beiden ersten Zyklen zur Präkonditionierung des Präparates, der dritte Zyklus wurde anschließend zur Auswertung herangezogen. Frühere Untersuchungen konnten belegen, dass der dritte Zyklus annähernd identisch mit allen folgenden Zyklen ist (38, 46). Anhand des Kurvenverlaufes des dritten Zyklus wurde der Bewegungsumfang bzw. die ROM berechnet.

Zum Vergleich der Einzelwerte mit den Daten des intakten Gelenks wurden verteilungsfreie Tests für gepaarte Messungen verwendet (Wilcoxon Signed Rank Test und Friedman Test, StatView 5, SAS Inc.). Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ angesetzt.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 10 Füße präpariert und ausgewertet. In die Einzelauswertung für Plantar- und Dorsalflexion konnten aufgrund technischer Gründe nur 8 Füße, für die Eversion/Inversion nur 9 Füße aufgenommen werden. Bei zwei Präparaten war nach Banddurchtrennung der Bewegungsumfang größer, als der Messbereich des Wirbelsäulensimulators. Die Daten werden aus Gründen der Übersichtlichkeit im Textteil qualitativ in Winkelprozent (W%) darge-

Tabelle 1: Absolutwerte bei Dorsalextension/Plantarflexion (in Grad)

Sprunggelenkkomplex (SGK)					
Bandsituation	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Sign. $p < 0,05$
NA	33,8	3,7	27,1	38,0	
DB	36,4	3,7	32,5	41,9	ja
AR	34,3	3,9	28,9	40,1	nein
BR	35,8	3,8	30,5	40,5	nein
KO	35,5	4,9	26,8	41,7	nein
Oberes Sprunggelenk (OSG)					
Bandsituation	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Sign. $p < 0,05$
NA	30,7	3,7	25,5	37,8	
DB	32,8	4,1	26,4	40,9	ja
AR	30,6	4,5	23,1	39,4	nein
BR	31,8	3,0	27,0	38,1	nein
KO	31,5	3,3	26,2	37,6	nein
Unteres Sprunggelenk (USG)					
Bandsituation	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Sign. $p < 0,05$
NA	2,6	1,6	0,5	5,4	
DB	3,1	1,7	0,5	6,1	ja
AR	3,3	2,2	0,2	6,4	ja
BR	3,7	2,5	0,2	7,1	ja
KO	3,5	2,3	0,1	6,6	ja

stellt. Die Absolutwerte (in Grad) mit Standardabweichung und statistischen Signifikanzen sind in den entsprechenden Tabellen aufgeführt.

1. Dorsalextension/Plantarflexion

Die Durchtrennung der Ligg. fibulotalare anterius und fibulocalcaneare führte im gesamten Sprunggelenkkomplex (SGK) zu einer Erhöhung der Beweglichkeit um 8 W%, im oberen Sprunggelenk (OSG) zu einer Erhöhung um 7 W% und im Subtalargelenk (USG) sogar zu einer Zunahme der Beweglichkeit um 19 W%. Wie erwartet steigerte die Banddurchtrennung das Ausmaß der Plantarflexion und Dorsalextension signifikant. Alle anatomischen Verfahren reduzierten die Instabilitätsbedingungen im SGK und OSG. Im USG wurde eine Zunahme der Beweglichkeit evaluiert. Durch die direkte Band-

Tabelle 2: Absolutwerte bei Inversion/Eversion (in Grad)

Sprunggelenkkomplex (SGK)					
Bandsituation	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Sign. $p < 0,05$
NA	20,5	4,8	9,2	28,3	
DB	29,5	9,9	22,5	38,2	ja
AR	23,1	3,4	16,6	28,1	nein
BR	24,3	4,4	19,0	30,6	ja
KO	22,8	6,0	15,9	32,3	nein
Oberes Sprunggelenk (OSG)					
Bandsituation	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Sign. $p < 0,05$
NA	2,6	3,2	0,5	11,3	
DB	9,9	6,5	0,5	20,8	ja
AR	4,4	3,3	1,4	11,0	nein
BR	4,9	3,4	0,6	12,3	ja
KO	4,6	3,4	0,9	12,7	ja
Unteres Sprunggelenk (USG)					
Bandsituation	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Sign. $p < 0,05$
NA	18,6	5,8	6,3	23,8	
DB	19,4	7,1	9,4	24,0	nein
AR	18,9	4,9	10,0	24,0	nein
BR	19,1	5,0	10,1	25,5	nein
KO	17,1	5,1	7,6	23,9	nein

naht (AR) wurden praktisch analoge Verhältnisse zum Nativzustand im SGK und OSG erreicht. Bei keinem der anderen angewendeten Operationsverfahren wurde eine Einschränkung des Bewegungsausmaßes festgestellt (Tab. 1).

2. Inversion/Eversion

Die Durchtrennung der Ligg. fibulotalare anterius und fibulocalcanare führte im SGK zu einer Erhöhung der Beweglichkeit um 38 W%, im OSG sogar zu einer Erhöhung um 220 W% und im USG zu einer Zunahme der Beweglichkeit um 3 W%. Alle Operationsverfahren stabilisierten das Sprunggelenk annähernd gleich, wobei die Kohlefaserplastik (KO) am SGK und OSG dem Nativzustand annähernde Verhältnisse schafft. Die direkte Bandnaht (AR) ist in der Auswirkung auf das Subtalargelenk überlegen, da den Verhältnissen des Nativzustandes am Nächsten kommt (Tab. 2).

3. Innen-/Außenrotation

Die Banddurchtrennung führte im SGK zu einer Erhöhung der Beweglichkeit um 30 W%, im OSG zu einer Erhöhung um 50 W% und im USG zu einer Zunahme der Beweglichkeit um 12 W%. Die anatomische Rekonstruktion durch direkte Naht bietet im Vergleich zu den anderen Operationsverfahren im SGK und OSG die besten Konditionen. Am USG erreichte das Brevissehnttransplantat ebenfalls annähernd den Nativzustand des Gelenkes (Tab. 3).

dreidimensionalen Gesamtbewegung des Fußes führen. Somit lässt sich mit einer anatomischen Bandrekonstruktion ein normales Bewegungsspiel im oberen und unteren Sprunggelenk erreichen. Hierbei zeigt die direkte Naht bzw. die knöcherne Reinsertion die besten Resultate.

Tabelle 3: Absolutwerte bei Außen- und Innenrotation (in Grad)

Sprunggelenkkomplex (SGK)					
Bandsituation	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Sign. p<0,05
NA	15,0	4,2	10,0	21,4	
DB	19,3	4,3	12,0	25,5	ja
AR	15,6	3,3	9,8	19,6	nein
BR	17,6	4,0	11,1	23,8	ja
KO	16,8	4,1	10,5	23,2	ja

Oberes Sprunggelenk (OSG)					
Bandsituation	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Sign. p<0,05
NA	7,1	1,2	5,7	9,0	
DB	11,3	4,7	6,3	18,3	ja
AR	8,0	1,9	5,3	11,9	ja
BR	10,8	3,6	7,1	17,3	ja
KO	9,8	5,5	0,0	18,7	ja

Unteres Sprunggelenk (USG)					
Bandsituation	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Sign. p<0,05
NA	6,9	3,6	1,9	11,9	
DB	7,3	3,7	2,2	13,4	ja
AR	6,9	3,4	1,3	11,6	nein
BR	6,2	2,5	3,2	11,5	nein
KO	5,7	2,5	2,7	9,4	nein

Diskussion

Die in-vitro Studie konnte belegen, dass anatomische bandrekonstruktive Eingriffe am lateralen Bandapparat des oberen Sprunggelenkes zu keiner Einschränkung der natürlichen

Krips et al. und *Karlsson et al.* konnten in ihren Studien belegen, dass anatomische Bandrekonstruktionen in Bezug auf das postoperative Outcome, auch nach einem langen Follow-up von 10 Jahren, den Ergebnissen nach Tenodeseoperationen deutlich überlegen sind (23, 29). Gerade bei jungen, sportlich aktiven Patienten konnten *Karlsson und Lansinger* nachweisen, dass anatomische Rekonstruktionsverfahren sowohl nach einem kurzen Follow up als auch im Rahmen von Langzeitstudien sehr gute Resultate ohne Funktionseinbuße aufweisen (25). Andererseits existieren eine ganze Anzahl von Publikationen, die über gute und sehr gute Ergebnisse nach Evans- oder Watson-Jones Tenodesen berichteten (1, 7, 34, 48). Dem gegenüber stehen Langzeitergebnisse nach verschiedenen Tenodeseoperationen, welche eher sehr kritisch diskutiert werden sollten. So fanden *Karlsson et al.* 14 Jahre nach Tenodeseoperation nach dem Evans-Prinzip auf Grund zunehmender Arthrosezeichen mit entsprechender Schmerzsymptomatik nur noch in 50% der nachuntersuchten Fälle zufriedenstellende Ergebnisse (21). *Becker et al.* fanden nach Evans-Tenodesen eine deutliche Zunahme von Talus- und Fibulaosteophyten als Ausdruck einer zunehmenden OSG-Arthrose (5). Auch *Kaikonnen et al.* konnten 5 Jahre nach Evans-Tenodesen lediglich ein zufriedenstellendes Resultat in 52% der nachuntersuchten Fälle evaluieren (20). *Ro-*

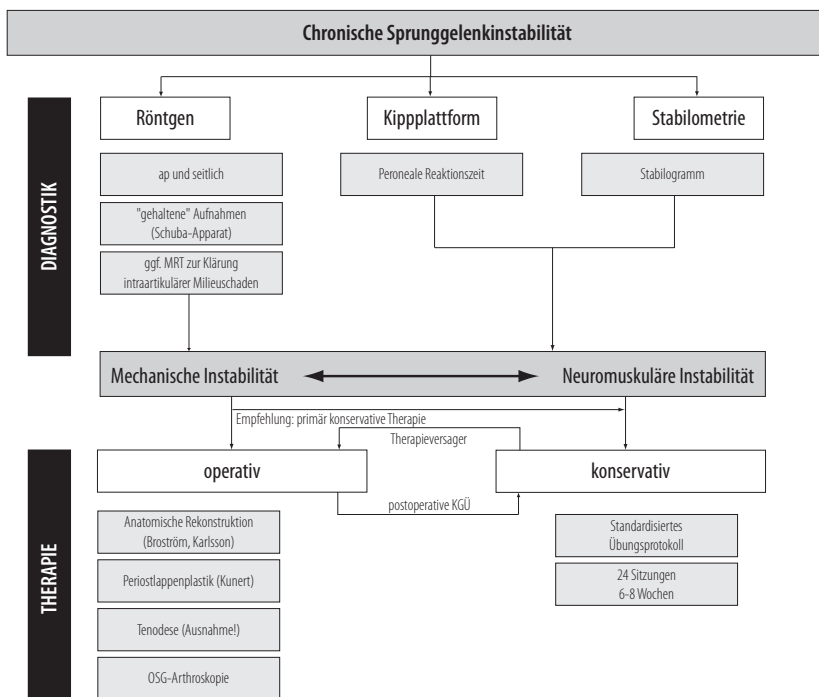


Abbildung 2: Flussdiagramm zur Diagnostik und Therapie der chronischen Instabilität des oberen Sprunggelenks

senbaum et al. fanden 10 Jahre nach Evans-Tenodesen unbefriedigende klinische und radiologische Ergebnisse (37).

Gerade vor dem Hintergrund der noch bestehenden therapeutischen Unsicherheit in der operativen Therapie der chronischen Instabilität und der fortbestehenden kontroversen Diskussion können in-vitro-Untersuchungen einen Beitrag zur Validierung der Operationsergebnisse leisten (10, 40-42).

Wie bei jedem in-vitro-Versuch muss jedoch auch in dieser Studie kritisch hinterfragt werden, inwieweit die Ergebnisse auf die in-vivo-Situation übertragen werden dürfen. Die Stabilität eines Sprunggelenkes ist nicht nur Resultierende der statisch-mechanischen Verhältnisse, sondern wird ebenso vom dynamischen Zusammenspiel der gelenküberspannenden Sehnen gewährleistet (18, 19, 24). So können geringgradige postoperative mechanische Defizite durch ein suffizientes propriozeptives Training der Peronealmuskulatur effektiv kompensiert werden (6, 12, 13, 26). Nicht zuletzt führt auch eine regelmäßige sportliche Betätigung zu einer Verbesserung der neuromuskulären Leistung. Diese Hypothese konnten Lipke et al. belegen. Bei einer Untersuchung von 120 fußgesunden Probanden fanden sie eine deutlich verkürzte peroneale Reaktionszeit bei sportlich aktiven Probanden im Vergleich zu Nichtsportlern (30).

Zusammenfassung

Auf der Basis der gewonnenen in-vitro-Ergebnisse lässt sich schlussfolgern, dass anatomische Rekonstruktionen des Außenbandapparates eine effiziente Methode in der Behandlung einer mechanisch bedingten chronischen Instabilität darstellen. Der direkten Naht sollte nach Möglichkeit der Vorzug gegeben werden. Nur unter Einbeziehung der normalen Bandinsertionspunkte und bei Gewährleistung eines natürlichen Verlaufes des Bandersatzes ist eine normale Gelenkbeweglichkeit möglich. Im Gegensatz zu verschiedenen Tenodesetechniken haben anatomische Verfahren keine Einschränkung der normalen Gelenkinematik zur Folge.

Besonders beim jugendlichen und sportlich aktiven Patienten sollte das Arthroserisiko durch exakte anatomiegerechte Reparatoren so gering wie möglich gehalten werden. Eine geringfügige postoperative mechanische Insuffizienz lässt sich durch ein gut organisiertes physiotherapeutisches Übungsprogramm im Rahmen der postoperativen Rehabilitation suffizient kompensieren.

Literatur

- Andersen E, Hvass I: Treatment of lateral instability of the ankle: A new modification of the Evans repair. *Arch Orthop Trauma Surg* 106 (1986) 15-17
- Becker HP, Rosenbaum D: Functional disorders of the foot after tenodeses: is the method still currently acceptable? *Sportverletz Sportschaden* 10 (1996) 94-99
- Becker HP, Rosenbaum D: Chronic recurrent ligament instability on the lateral ankle. *Orthopäde* 28 (1999) 483-492
- Becker HP, Schmidt R, Gutcke A, Gerngross H: Current status of diagnosis and therapy of chronic collateral ligament instability of the ankle joint: results of a survey of 267 German clinics in 1994. *Unfallchirurg* 98 (1995) 493-499
- Becker HP, Zeithammel G, Danz B, Rosenbaum D, Gerngross H: Clinical and roentgenologic 5 year follow-up of modified Evans-plasty in chronic lateral instability of the ankle joint. *Unfallchirurg* 98 (1995) 333-337
- Bennett MT: Lateral ankle sprains. Part II: Acute and chronic treatment see comments. *Orthop Rev* 23 (1994) 504-510
- Bjorkenheim JM, Sandelin J, Santavirta S: Evans' procedure in the treatment of chronic instability of the ankle. *Injury* 19 (1988) 70-72
- Brostrom L: Sprained ankles. VI. Surgical treatment of "chronic" ligament ruptures. *Acta Chir Scand* 132 (1966) 551-565
- Burri C, Neugebauer R: Carbon fiber replacement of the ligaments of the shoulder girdle and the treatment of lateral instability of the ankle joint. *Clin Orthop* (1985) 112-117
- Chen J, Siegler S, Schneck CD: The three-dimensional kinematics and flexibility characteristics of the human ankle and subtalar joint - Part II: Flexibility characteristics. *J Biomech Eng* 110 (1988) 374-385
- Colville MR, Marder RA, Zarins B: Reconstruction of the lateral ankle ligaments. A biomechanical analysis. *Am J Sports Med* 20 (1992) 594-600
- Devanne H, Maton B: Role of proprioceptive information in the temporal coordination between joints. *Exp Brain Res* 1 19 (1998) 58-64
- Fernandes N, Allison GT, Hopper D: Peroneal latency in normal and injured ankles at varying angles of perturbation. *Clin Orthop* (2000) 193-201
- Fritschy D, Junet C, Bonvin JC: Functional treatment of severe ankle sprain. 1987 (1987) 131-136
- Ganick JG: The frequency of injury, mechanism of injury, and epidemiology of ankle sprains. *Am J Sports Med* 5 (1977) 241-242
- Hollis JM, Blasier RD, Flahiff CM: Simulated lateral ankle ligamentous injury. Change in ankle stability. *Am J Sports Med* 23 (1995) 672-677
- Hollis JM, Blasier RD, Flahiff CM, Hofmann OE: Biomechanical comparison of reconstruction techniques in simulated lateral ankle ligament injury. *Am J Sports Med* 23 (1995) 678-682
- Jerosch J, Bischof M: The effect of proprioception on functional stability of the upper ankle joint with special reference to stabilizing aids. *Sportverletz Sportschaden* 8 (1994) 111-121
- Jerosch J, Schoppe R: Midterm effects of ankle joint supports on sensorimotor and sport-specific capabilities. In process citation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8 (2000) 252-259
- Kaikkonen A, Lehtonen H, Kannus P, Jarvinen M: Long-term functional outcome after surgery of chronic ankle instability. A 5-year follow-up study of the modified Evans procedure. *Scand J Med Sci Sports* 9 (1999) 239-244
- Karlsson J, Bergsten T, Lansinger O, Peterson L: Lateral instability of the ankle treated by the Evans procedure. A long-term clinical and radiological follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 70 (1988) 476-480
- Karlsson J, Bergsten T, Lansinger O, Peterson L: Surgical treatment of chronic lateral instability of the ankle joint. A new procedure. *Am J Sports Med* 17 (1989) 268-273; discussion 273-274
- Karlsson J, Eriksson BI, Bergsten T, Rudholm O, Sward L: Comparison of two anatomic reconstructions for chronic lateral instability of the ankle joint. *Am J Sports Med* 25 (1997) 48-53
- Karlsson J, Lansinger O: Lateral instability of the ankle joint. *Clin Orthop* (1992) 253-261
- Karlsson J, Lansinger O: Chronic lateral instability of the ankle in athletes. *Sports Med* 16 (1993) 355-365
- Karlsson J, Lansinger O, Faxen E: Lateral instability of the ankle joint (2). Active training programs can prevent surgery. *Lakartidningen* 88 (1991) 1404-1407
- Kjaersgaard-Andersen P, Madsen F, Frich LH, Wethelund JO, Sojbjerg JO: Lateral hindfoot instability treated with the Evans tenodesis: a biomechanical analysis. *J Foot Surg* 29 (1990) 25-32
- Kjaersgaard-Andersen P, Sojbjerg JO, Wethelund JO, Helmgig P, Madsen F: Watson-Jones tenodesis for ankle instability. A mechanical analysis in amputation specimens. *Acta Orthop Scand* 60 (1989) 477-480
- Krips R, van Dijk CN, Halasi T, Lehtonen H, Moya B, Lanzetta A, Farkas T, Karlsson J: Anatomical reconstruction versus tenodesis for the treatment of chronic anterolateral instability of the ankle joint: a 2- to 10-year follow-up, multicenter study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8 (2000) 173-179
- Lipke K, Tannheimer M, Benesch S, Gerngross H, Becker HP, Schmidt R: Die Peroneale Reaktionszeit: Untersuchung in einem Normalkollektiv. *Unfallchirurg* (2001) 1157-1162
- Liu SH, Baker CL: Comparison of lateral ankle ligamentous reconstruction procedures. *Am J Sports Med* 22 (1994) 313-317

32. Liu SH, Jacobson KE: A new operation for chronic lateral ankle instability. *J Bone Joint Surg Br* 77 (1995) 55-59
33. Lundberg A, Goldie I, Kalin B, Selvik G: Kinematics of the ankle/foot complex: plantarflexion and dorsiflexion. *Foot Ankle* 9 (1989) 194-200
34. Ottosson L: Lateral instability of the ankle treated by a modified Evans procedure. *Acta Orthop Scand* 49 (1978) 302-305
35. Paar O, Rieck B, Bernett P: Experimental studies on load-bearing pressure and contact areas in the ankle joint. *Unfallheilkunde* 86 (1983) 531-534
36. Rosenbaum D, Becker HP, Sterk J, Gerngross H, Claes L: Long-term results of the modified Evans repair for chronic ankle instability. *Orthopedics* 19 (1996) 451-455
37. Rosenbaum D, Becker HP, Sterk J, Gerngross H, Claes L: Functional evaluation of the 10-year outcome after modified Evans repair for chronic ankle instability. *Foot Ankle Int* 18 (1997) 765-771
38. Rosenbaum D, Becker HP, Wilke HJ, Claes LE: Tenodeses destroy the kinematic coupling of the ankle joint complex. A three-dimensional in vitro analysis of joint movement see comments. *J Bone Joint Surg Br* 80 (1998) 162-168
39. Rudert M, Wolker N, Wirth CJ: Fibular ligament rupture - conservative or surgical treatment? *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 135 (1997) 0a25-26
40. Schmidt R, Becker HP, Gerngross H: Surgical treatment of chronic ankle joint instability - many variations in German clinics. Analysis of a 1994 German survey. *Sportverletz Sportschaden* 11 (1997) 21-26
41. Siegler S, Chen J, Schneck CD: The three-dimensional kinematics and flexibility characteristics of the human ankle and subtalar joints - Part 1: Kinematics. *J Biomech Eng* 110 (1988) 364-373
42. Siegler S, Chen J, Schneck CD: The effect of damage to the lateral collateral ligaments on the mechanical characteristics of the ankle joint - an in vitro study. *J Biomech Eng* 112 (1990) 129-137
43. Siegler S, Wang D, Plasha E, Berman AT: Technique for in vivo measurement of the three-dimensional kinematics and laxity characteristics of the ankle joint complex. *J Orthop Res* 12 (1994) 421-431
44. Steinbrück K: Fibulo-talare Bandverletzungen beim Sportler. *Sporttherapie Sporttraumatologie* (1996) 1-8
45. Verhagen RA, de Keizer G, van Dijk CN: Long-term follow-up of inversion trauma of the ankle. *Arch Orthop Trauma Surg* 114 (1995) 92-96
46. Wilke HJ: Möglichkeiten und Grenzen der biomechanischen in vitro Testung von Wirbelsäulenimplantaten. Habilitationsschrift. Medizinische Fakultät der Universität Ulm. 1996
47. Wirth CJ, Kusswetter W, Jager M: Biomechanics and pathomechanics of the ankle joint. *Hefte Unfallheilkd* 131 (1978) 10-22
48. Younes C, Fowles JV, Fallaha M, Antoun R: Long-term results of surgical reconstruction for chronic lateral instability of the ankle: comparison of Watson-Jones and Evans techniques. *J Trauma* 28 (1988) 1330-1334
49. Zwipp H, Tscherne H: Treatment of chronic anterolateral instability of the upper ankle direct ligament reconstruction - periosteal flap - tenodesis. *Unfallheilkd* 87 (1984) 405-415

Korrespondenzadresse**Dr. Roland Schmidt****Abt. Chirurgie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm****Oberer Eselsberg 40, 89081 Ulm****Fax: 0731/553100****e-mail: doc.r.schmidt@t-online.de**