

W. Laube, A. Kannenberg

## Zur Wirkung einer Knieorthese während Sprungbelastungen bei Patienten fünf Jahre nach Kreuzbandplastik

The Effect of a Knee Orthosis during Different Jump Loads in Patients five Years after Crucial Ligament Reconstruction

**Die Forschungsergebnisse zur Wirksamkeit einer Orthese sind widersprüchlich. Ein langfristiges Tragen führt zu keinem sicheren Vorteil. Laborergebnisse belegen dagegen aus biomechanischer und sensomotorischer Sicht positive Wirkungen. Dies wird auch durch die vorgelegten Ergebnisse bestätigt. Eine Softorthese hat einen günstigen Einfluss bevorzugt auf das Bewegungsverhalten einer koordinativ anspruchsvollen Bewegungsaufgabe. Insbesondere trifft dies auf die sensomotorische Vorbereitung eines reaktiven Sprunges zu. Der Beitrag geht der Frage nach, welchen Einfluss eine stabilisierende Softorthese auf das sensomotorische Verhalten bei Sprungbelastungen hat.**

The research on the effectiveness of a knee orthosis has shown contradictory results. Long-term use does not show any secure benefits, but laboratory results demonstrate positive effects from the biomechanical and sensomotoric point of view. The results presented in this study also underline that patients benefit from the orthosis in sophisticated coordination tasks. This particularly applies to the sensomotoric preparation of a reactive jump. This article describes in which way a stabilizing softorthosis influences the sensomotoric behaviour during jumploads.

### Einleitung

Die nach außen scheinbar einfache Bewegungsmechanik des Kniegelenkes erweist sich beim detaillierten Hinsehen als sehr kompliziert und komplex. So ist zum Beispiel das vordere Kreuzband die hauptsächliche Struktur für die Beschränkung der Ventralisierung der Tibia gegenüber dem Femur (anterior-posteriorer Shift). Eine gleichartige Aufgabe erfüllt es sowohl bei der Innen- und Außenrotation als auch der Varus-Valgus-Belastung. Das Kreuzband ist für die Kinematik des Kniegelenkes ausgesprochen wichtig [9].

Eine der häufigsten Verletzungen des Kniegelenkes ist die Ruptur des vorderen Kreuzbands (VKB). Hierbei handelt es sich sowohl aus biomechanischer als auch aus sensomotorischer Sicht um eine sehr ernste Verletzung. Aus biomechanischer Sicht unterscheidet sich bereits beim gesunden Gelenk die Kinematik zwischen dem äußeren und inneren (lateralen und medialen) Kompartiment [20, 21]. Ein Merkmal eines insuffizienten Kreuzbandes ist dann nicht nur die anterior-posteriore Translation („Schublade“), sondern auch eine bevorzugte Beeinflussung der Biomechanik des äußeren (lateralen) Kompartiments [21]. Selbst wenn nach einer Kreuzbandplastik der anterior-posteriore Shift und die Kinematik der nicht verletzten Seite weitestgehend angeglichen sind, bleibt die absolute Positionierung des äußeren Tibiaplateaus zum Femur different [22].

Das operierte Kniegelenk zeigt auch weiterhin eine abweichende Kinematik der Rotation beim Laufen [30]. Nach einer Kreuzbandrekonstruktion bleibt somit trotz der weitestgehend normalisierten anterior-posterioren Translation die biomechanische Funktion des Kniegelenkes weiterhin erheblich beeinträchtigt. Die diffizilen Störungen der Biomechanik bleiben unerkannt und unterstützen die vorzeitige Entwicklung von Meniskus- und Knorpelschäden als Startmechanismus der Gonarthrose. Eine Meniskus- oder partielle beziehungsweise totale Kreuzbandruptur erhöht das Risiko für eine Gonarthrose um den Faktor zehn (Inzidenzrate der Gonarthrose: 15 bis 20 Prozent) gegenüber einer gleichaltrigen Personengruppe [10]. Aus sensomotorischer Sicht ist das Kreuzband der Standort sehr wichtiger Mechanosensoren, deren afferente Informationen für die willkürliche Aktivierungsfähigkeit der schnellen motorischen Einheiten des M. quadriceps femoris (intramuskuläre Koordination) wesentlich mitverantwortlich sind [13]. Der akute Wegfall dieser Afferenzen sorgt unmittelbar nach der Verletzung für die bekannte kontraktile Schwäche des Muskels. Sie ist somit primär das Ergebnis der Innervationsinsuffizienz und nicht einer Atrophie. Die Atrophie bildet sich sekundär schnell aus. Des Weiteren spielen die Kreuzbandafferenzen eine große Rolle für den koordinierten Einsatz der Oberschenkelbeuger (intermuskuläre Koordination). Durch die Verarbeitung der Mecha-

noafferenzen aus dem Kreuzband, gemeinsam mit den Informationen aller Muskelspindeln, kann das Gehirn als wichtige Voraussetzung für die Bewegungsregulation die statische und dynamische Gelenkposition erkennen.

Die Kreuzbanddifferenzen sind somit wesentlich an der Feinregulation der Kniegelenkbewegung beteiligt. Nach der Verletzung erleidet der Quadrizeps einen erheblichen Kraftverlust, primär bedingt durch die aufgrund der Verletzung vorliegende funktionelle Teilparese [15, 16, 18] und sekundär durch die Muskelatrophie. Dieser vermindert die dynamische aktive Stabilität des Kniegelenkes und sorgt für eine höhere Belastung der passiven Gelenkstrukturen [26].

Durch eine ACL-Rekonstruktion kann das propriorezeptive Defizit vermindert, aber selbst nach etwa vier Jahren nicht normalisiert werden [8]. Insbesondere überdauern Defizite der Winkelseinstellung in den mittleren Winkelbereichen. Auch die reflektorischen Antworten der Hamstrings bei stehenden Personen durch von hinten auf die Tibia einwirkende Scherkräfte werden unter anderem den Afferenzen aus den Kreuzbändern zugeschrieben. Da auch bei insuffizienten Kreuzbändern solche Reaktionen auslösbar sind, müssen auch Rezeptoren anderer Strukturen einschließlich der Muskulatur mit ihren Afferenzen beteiligt sein. Die Latenzzeiten dieser muskulären Antworten sind aber bei defizitären Kreuzbändern verlängert. Nach einer ACL-Rekonstruktion erreichen die Werte nicht mehr diejenigen gesunder Personen [1]. Somit ist ein dauerhaftes propriorezeptives Defizit infolge der Kreuzbandverletzung trotz operativer Rekonstruktion eindeutig nachgewiesen.

Nach Kreuzbandverletzungen sind die Strukturverluste auf der sensiblen oder sensorischen Seite des sensomotorischen Systems irreparabel. Der Ausheilungszustand stellt eine „funktionelle Narbe“ [18, 19] dar. Darin eingeschlossen ist offensichtlich nicht nur die Muskelfunktion der Seite des verletzten Kniegelenks, sondern auch diejenige der nicht verletzten Seite [12, 13, 14]. Aus neurophysiologischer Sicht gibt es nach der Kniegelenkverletzung einer Extremität keine gesunde andere Extremität mehr.

Die neuroplastischen Prozesse als Antwort auf das dauerhaft veränderte Set afferenter Informationen führen sehr langfristig zu einer Angleichung der Funktionen beider Seiten auf einem verringerten Funktionsniveau. Dennoch weist die Innervation bei maximaler isometrischer Kontraktion auf der verletzten und operierten Seite auch nach fünf bis sechs Jahren noch Defizite zur Gegenseite auf. Die IEMG-Aktivität (Rekrutierung von motorischen Einheiten) der verletzten Seite ist zehn bis zwölf Prozent niedriger [19].

Bei sehr detaillierter und gezielter anamnestischer Befragung wird auch ein verändertes physisches Aktivitätsmuster deutlich. Es liegt in Umfang, Intensität und der Häu-

Jahre postoperativ; 26 Frauen:  $44,8 \pm 10,4$  Jahre, BMI  $26,6 \pm 3,0$ ,  $5,6 \pm 1,1$  Jahre postoperativ) wurde das Sprungverhalten ohne und mit stabilisierender Kniegelenkorthese (Genu Direxa Stable Long, Otto Bock HealthCare) untersucht. Die Patienten hatten die Aufgabe, auf einer dynamometrischen Plattform (Leonardo) zwei verschiedene Sprünge auszuführen:

1. Maximale Sprunghöhe: aus dem beidbeinigen Stand mit einer Ausholbewegung eine maximale Sprunghöhe (Höhe des Körperschwerpunktes) erreichen.
2. Reaktivsprung: aus dem beidbeinigen Stand von einer 15 cm hohen Stufe aus einen Absprung ausführen, dessen Landevorgang

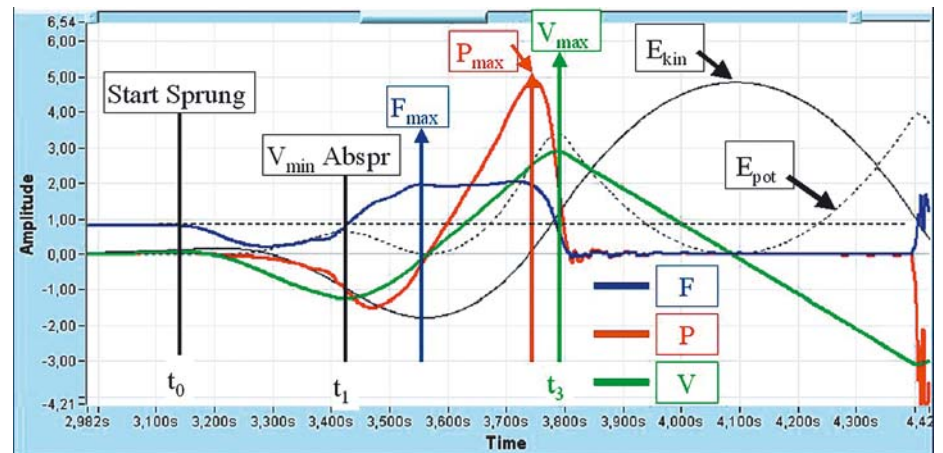


Abb. 1 Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Originaldaten des Absprungverhaltens auf der dynamometrischen Plattform (Leonardo). Zu erkennen sind die Verläufe der Geschwindigkeit (grün), der Kraft (blau) und der Leistung (rot). Des Weiteren sind die Verläufe der kinetischen und potenziellen Energie dargestellt.

figkeit in aller Regel deutlich unter dem vor der Verletzung.

Die biomechanischen und neurophysiologischen Veränderungen haben bei den Patienten ein individuell unterschiedlich ausgeprägtes Ausmaß. Sie unterstützen eine vorzeitige degenerative Entwicklung. Da diese Personen natürlich dennoch den Anspruch auf sportliche Aktivitäten haben, wurde der Frage nachgegangen, welchen Einfluss eine stabilisierende Kniegelenk-Softorthese auf das sensomotorische Verhalten bei Sprungbelastungen hat.

## Methodik

Mit 54 Patienten mit Zustand nach operativ versorgter Kreuzbandverletzung (28 Männer:  $39,8 \pm 11,0$  Jahre, BMI  $24,5 \pm 4,5$ ,  $5,8 \pm 1,4$

unmittelbar mit einem Absprung mit maximaler Sprunghöhe kombiniert werden sollte.

Es wurden jeweils zwei Sprünge jeder Ausführungsvorgabe ohne und in direkter Folge mit Orthese ausgeführt. Berechnet wurden jeweils nach dem ersten Absprung (Abb. 1) die biomechanischen Parameter maximale Höhe des Körperschwerpunktes (Sprunghöhe) und die Maximalwerte der Kraft (KN), der Leistung (KW) und der Geschwindigkeit (m/s). Des Weiteren wurden die Parameter Kraft und Leistung getrennt für die rechte und linke Extremität berechnet und die maximale Leistung pro kg Körpergewicht in Relation zum Alter angegeben (Esslinger Fitnessindex). Aus den Ergebnissen beider Sprünge wurden die individuel-

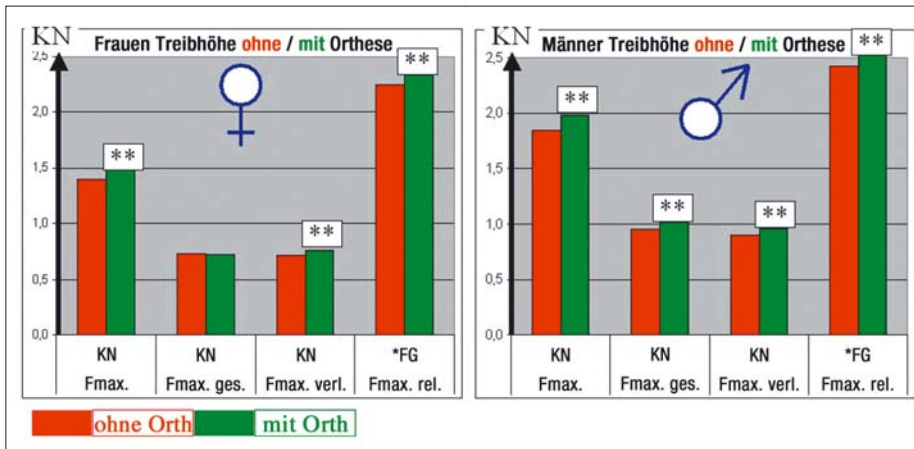


Abb. 2 Grafische Darstellung der Medianwerte der Parameter maximale Kraft (beidbeinig) sowie die maximale Kraft für die nicht verletzte und verletzte Extremität und die maximale, auf das Körpergewicht normierte, relative Kraft für die Frauen (links) und Männer (rechts) für die Sprünge aus dem Stand mit maximal möglicher Sprunghöhe.

len Mittelwerte berechnet und mit diesen die Gruppenergebnisse ermittelt. Mithilfe des gepaarten T-Tests bei einseitiger Fragestellung (SPSS) wurden die Daten statistisch ausgewertet.

## Ergebnisse

Bei der Ausführung der Sprungvariante maximale Sprunghöhe aus dem Stand lässt sich bei den Frauen kein Unterschied der eingesetzten Maximalkraft durch die nicht verletzte und die verletzte Seite (Abb. 2) aufzeigen. Die beidbeinige maxi-

Bei den Männern sind die Kraftwerte der nicht verletzten und verletzten Seite sicher leicht erhöht. Die maximale beidbeinig wirksame Kraft und die relative Kraft sind bei den Sprüngen mit der Orthese gleichfalls signifikant höher.

Bei der Ausführung dieser Sprungvariante beeinflusst bei den Frauen und Männern die Orthese die maximale Geschwindigkeit nicht (Abb. 3). Gleichfalls bleiben die beidbeinig erreichte maximale Leistung und die der unverletzten und verletzten Extremität ohne Änderung.

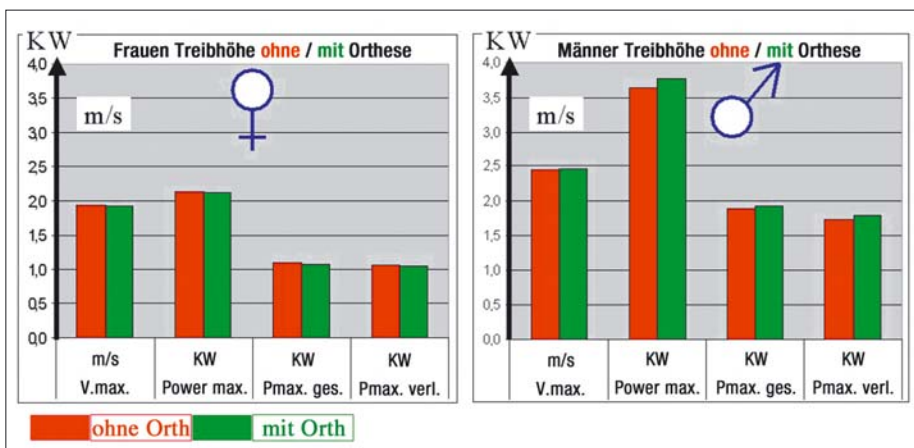


Abb. 3 Grafische Darstellung der Medianwerte der Parameter maximale Geschwindigkeit, die maximale Leistung (beidbeinig) sowie die maximale Leistung für die nicht verletzte und verletzte Extremität für die Frauen (links) und Männer (rechts) für die Sprünge aus dem Stand mit maximal möglicher Sprunghöhe.

male Kraft (Abb. 2 links) und die auf das Körpergewicht normierte maximale Kraft ( $F_{\max.\text{rel.}}$ ; Abb. 2 rechts) lassen zwar nur gering, aber dennoch signifikant höhere Werte erkennen. Da fast alle Patientinnen gering höhere Werte aufweisen, wird der Paarvergleich signifikant.

Bei der Ausführung der Sprungvariante reaktiver Absprung (Abb. 4) verändern sich bei den Frauen durch die Orthese die Kraftwerte nicht. Bei den Männern weist die maximale relative Kraft einen signifikanten Anstieg aus. Beim Absprung zum reaktiven Sprung belegen die

Werte bei den Frauen und Männern einen signifikanten Einfluss der Orthese auf die maximale Geschwindigkeit des Absprungs

## Diskussion

Durch das Tragen einer Knieorthese über einen langen Abschnitt

Auch die Ergebnisse zur sogenannten Propriozeption bei Kreuzbandpatienten, gemessen anhand des Gelenkpositionssinns mittels der Reproduktion eines vorgegebenen Winkels (joint position sense: JPS) und der Schwelle für das Erkennen einer passiven Bewegung (threshold to detection of passive motion: TDPM) in Richtung Extension oder Flexion sind uneinheitlich. Reider et al. [27] geben zusätzlich den methodischen Hinweis, dass die Bestimmung des JPS gegenüber der TDPM weniger verlässlich ist. Dies kann allein schon zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Somit hängt die Diagnose propriozeptives Defizit davon ab, welche diagnostischen Methoden in welchem Umfang eingesetzt werden. Roberts et al. [29] berichten über Studien, welche durchgängig alle ein Defizit erkannt haben, wenn die drei Testmethoden TDPM, die aktive Reproduktion einer passiven Winkeländerung und die visuelle Einschätzung einer passiven Winkeländerung zum Einsatz kamen. Wurden jeweils eine oder nur zwei dieser Methoden als Diagnostikinstrumente genutzt, konnten nur drei von sechs Studien ein Defizit finden.

Risberg et al. [28] konnten anhand der TDPM nach einem und zwei Jahren keinen Unterschied

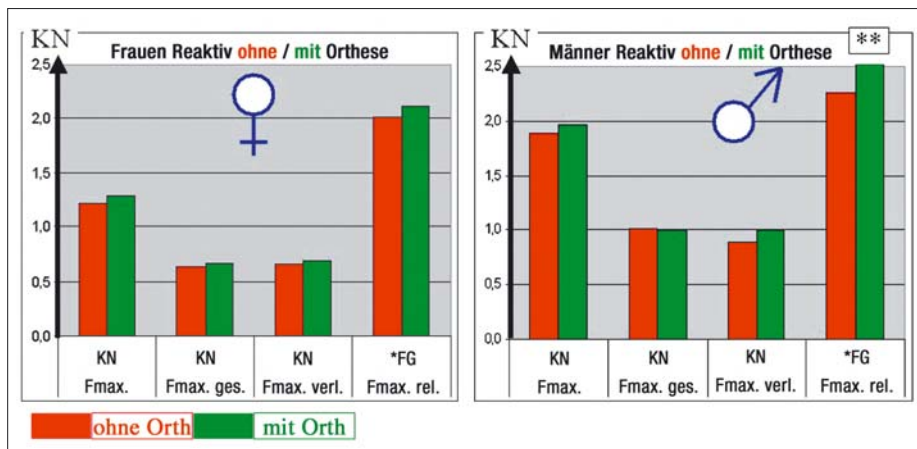


Abb. 4 Grafische Darstellung der Medianwerte der Parameter maximale Kraft (beidbeinig) sowie für die nicht verletzte und verletzte Extremität und die maximale, auf das Körpergewicht normierte, relative Kraft für die Frauen (links) und Männer (rechts) für die Absprünge von einer 15 cm hohen Stufe auf die Platte zur Ausführung eines erneuten Absprungs nach der Landung mit maximal möglicher Sprunghöhe (reaktiver Sprung).

(Abb. 5). Die Geschwindigkeit steigt an. In gleicher Weise wird die maximale Leistung durch die Orthese signifikant verbessert. Bei den Männern erhöhen sich mit der Orthese die Leistungswerte sowohl der unverletzten als auch der verletzten Seite, während bei den Frauen ein signifikanter Anstieg nur für die nicht verletzte Extremität statistisch sicher ist.

Die altersnormierte maximale Leistung pro kg Körpermasse bleibt durch die Orthese bei der Sprungvariante maximale Sprunghöhe aus dem Stand ohne Auswirkung (Abb. 6). Dagegen wird der Absprung von der Stufe als Vorbereitung für das reaktive Lande-Absprungmanöver (für den bevorstehenden sehr schnellen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus) von Frauen und Männern mit einer signifikant höheren maximalen Leistung pro kg Körpermasse ausgeführt.

Die maximale Sprunghöhe in cm bleibt bei beiden Geschlechtern beim Sprung aus dem Stand gleich. Bei der reaktiven Sprungvariante mit Orthese steigt die Absprunghöhe bei den Männern von 14,5 cm auf 20,5 cm (plus 41 Prozent) signifikant an. Der Absolutwert der Leistung pro kg Körpermasse ( $W_{max}/kg$ ) steigt bei der gleichen Sprungausführung durch die Orthese bei den Frauen um 25 Prozent, bei den Männern um 26 Prozent statistisch signifikant an.

des Rehabilitationszeitraums konnte bisher kein sicherer Vorteil für die Endergebnisse nach Kreuzbandrekonstruktion einschließlich der Wiederaufnahme der sportlichen Aktivitäten gefunden werden. McDevitt et al. [24] fanden keinen Unterschied des Outcomes zwischen einer Gruppe mit und ohne Orthese. Birmingham et al. [5] konnten nach zwölf und 24 Mona-

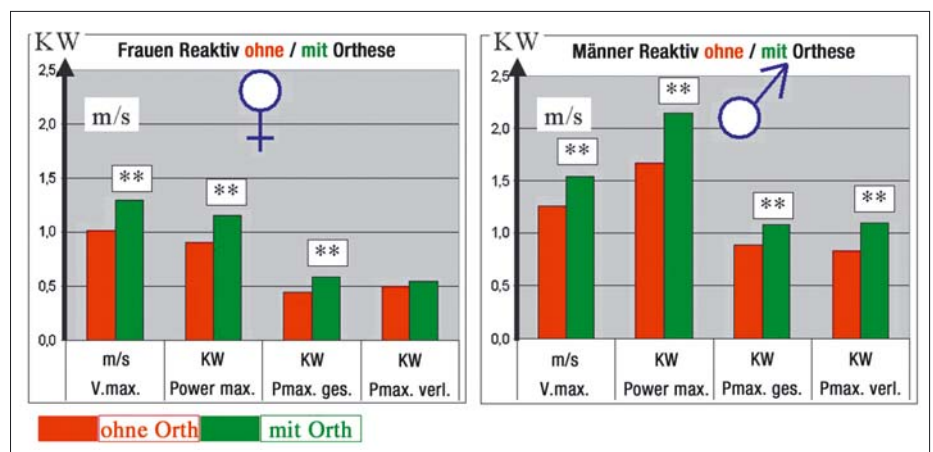


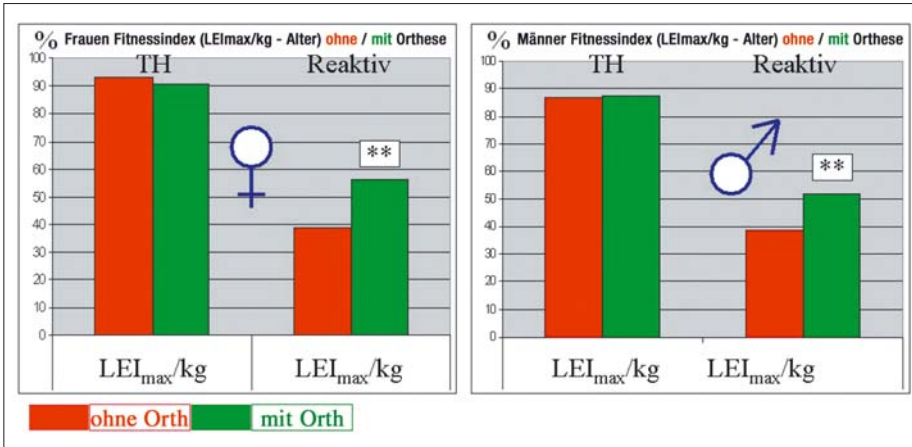
Abb. 5 Grafische Darstellung der Medianwerte der Parameter maximale Geschwindigkeit, die maximale Leistung (beidbeinig) sowie die maximale Leistung für die nicht verletzte und verletzte Extremität für die Frauen (links) und Männer (rechts) für die Absprünge von einer 15 cm hohen Stufe auf die Platte zur Ausführung eines erneuten Absprungs nach der Landung mit maximal möglicher Sprunghöhe (reaktiver Sprung).

ten zwischen Gruppen mit einer funktionellen Orthese und einer Neoprenmanschette keine Differenzen im Outcome aufzeigen und schließen sich mit ihrer Schlussfolgerung McDevitt et al. an.

zwischen dem verletzten und dem unverletzten Kniegelenk und zwischen den Patienten und Kontrollprobanden finden. Ein Review von Beynon et al. [2] ermittelte bei Kreuzbandpatienten in der Regel

keine Beeinflussung des JPS, obwohl auch Verschlechterungen zu finden sind. Dagegen wird die TDPM zwar sicher negativ, aber nur in sehr geringem Ausmaß beeinflusst. Deshalb stellen die Autoren die klinische Relevanz in Frage. Mir et al. [25] diagnostizierten gleich-

ten Seite. Die Autoren fordern, sowohl für die Behandlung als auch die Prognose immer beide Seiten zu betrachten. Reider et al. [27] konnten bei Patienten mit einem gerissenen Kreuzband präoperativ gleichfalls beidseits eine Verschlechterung der TDPM messen. Nach der



**Abb. 6** Darstellung der maximalen Leistung pro kg Körpergewicht in Relation zum Alter (Esslinger Fitnessindex: Korrelation  $LEI_{max}/kg$  KM – Alter; 100 Prozent bedeutet, der Wert des Patienten liegt auf der Regressionsgeraden). Bei den Sprüngen aus dem Stand mit maximaler Sprunghöhe bleibt die relative maximale Leistung bei Nutzung der Orthese ohne Auswirkung. Bei den reaktiven Sprüngen steigt der Wert bei den Frauen und Männern signifikant an.

falls den JPS und die TDPM unter Entlastung über eine Beobachtungszeit von elf Monaten nach der Operation. Sie konnten weder Unterschiede zwischen der verletzten und der unverletzten Seite, noch zwischen den Patienten und gesunden Kontrollpersonen nachweisen.

Dagegen zeigen Bonfim et al. [6] bei Patienten mit ACL-Ruptur eine verminderte Wahrnehmung der Gelenkposition, eine höhere TDPM-Schwelle, aber auch längere Latenzen der Hamstringmuskeln und eine reduzierte Haltungskontrolle. Insbesondere die beeinflusste Haltungskontrolle charakterisiert eine generalisierte Beeinträchtigung der Bewegungsregulation. Es ist nicht nur das Kniegelenk betroffen. Der Bewegungsablauf sowohl der sensorischen Komponente Zielsensomotorik als auch die darin integrierte Stützsensomotorik sind nach der Verletzung verändert. Wenn auch nicht unmittelbar mit bloßem Auge zu erkennen, sind die Bewegungsabläufe der alltäglichen und auch der ehemals beherrschten sportlichen Bewegungen verändert.

Roberts et al. [29] fanden im Mittel zwei Jahre nach der Operation sogar eine Reduzierung der TDPM nicht nur auf der verletzten, sondern sogar auch auf der unverletz-

ten Seite. Die Autoren fordern, sowohl für die Behandlung als auch die Prognose immer beide Seiten zu betrachten. Reider et al. [27] konnten bei Patienten mit einem gerissenen Kreuzband präoperativ gleichfalls beidseits eine Verschlechterung der TDPM messen. Nach der

Operation glichen sich innerhalb von sechs Monaten die Ergebnisse denen von Kontrollpersonen an. Die beidseitige Beeinträchtigung der sensomotorischen Funktion kann auch durch neurophysiologische Untersuchungen belegt werden. Nach einer Verletzung und in der Rehabilitationszeit unterliegt auch die gesunde Extremität einer relativen Inaktivität, wodurch die Merkmale der Funktionen Innervation und Kraft ebenfalls Verluste erleiden. Des Weiteren ist die sensomotorische Regulation des M. quadrizeps femoris der sogenannten gesunden Gegenseite in den verletzungsbedingten pathophysiologischen Prozess einbezogen. Dieser führt über die Innervationsinsuffizienz zur Reduzierung der maximalen isometrischen Kraft [13, 14]. Allerdings sind die Verluste der verletzten Seite deutlich schneller und vehement stärker ausgeprägt.

Als Ursache der Funktionsverluste stehen also nicht die Inaktivität im Vordergrund, sondern neurophysiologische Mechanismen. Werden bei Kreuzbandpatienten die isometrische Maximalkraft und das zugehörige EMG der gesunden und verletzten Seite [12, 13, 14] vor und nach einer Vibration (50 Hz, 1,5 mm

Displacement, Kraft 30 N, 20 Minuten) gemessen, weisen die Ergebnisse auf eine verletzungsbedingte Beeinflussung der  $\gamma$ -Schleife auch auf der „gesunden“ Seite hin. Die massive Beeinträchtigung des Antriebs der  $\gamma$ -Schleife durch die fehlenden Mechanoafferenzen des rupturierten Kreuzbandes sorgt ipsilateral für die funktionelle Teilparese [16, 18, 19] des M. quadriceps femoris. Diese wirkt sich offensichtlich auch auf die kontralaterale Seite aus. Die Funktionswerte der gesunden Seite müssen demnach als Referenz kritisch betrachtet werden. Zugleich wird dadurch der Funktionsverlust der verletzten Seite unterschätzt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen eindrucksvoll, dass

1. die biomechanischen Kenngrößen Kraft, Bewegungsgeschwindigkeit und Bewegungsleistung bei einer koordinativ relativ einfachen Bewegungshandlung, wie einem möglichst hohen Absprung aus dem Stand, durch die stabilisierende Softorthese unbeeinflusst bleiben,
2. diese biomechanischen Kenngrößen des Bewegungsverhaltens bei anspruchsvollen sensomotorischen Aufgabenstellungen, wie bei einem Absprung als Vorbereitung für einen schnellen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (reaktiver Sprung), durch das Tragen einer solchen Knie-Softorthese deutlich verbessert werden.

Die nach außen scheinbar gleiche Bewegungshandlung verändert sich im Detail, indem sie durch die Knie-Softorthese eine andere Dynamik erhält. Aus neurophysiologischer Sicht müssen die aus einer großen Hautfläche und wahrscheinlich aus den peripheren Muskelschichten stammenden druckbedingten Mechanoafferenzen für diese Beeinflussung des sensomotorischen Bewegungsverhaltens verantwortlich gemacht werden. Des Weiteren hat die Orthese einen direkten Einfluss auf die Körperpositionierung und damit auf das jeweilige afferente Set.

Das afferente Set an Informationen prägt auf der zentralen bewussten und unbewussten Ebene die Charakterisierung des Ausgangszustandes vor der Bewegung. Darüber

hinaus beeinflusst sie als reafferentes Set die Bewegungsregulation während der Aktivität. Zugleich dürften die Afferenzen auf spinaler und auch supraspinal-subkortikaler (zum Beispiel Hirnstammbereich: Haltungsregulation) Ebene die vom Willkürprogramm genutzten sensomotorischen Grundbausteine der Bewegung modifizieren. So beeinflussen sie auch deren Selbstorganisation (dynamischer Ansatz der Bewegungsregulation) im Dienst der Ziel- und Stützensomotorik. Deshalb können auch Auswirkungen auf die posturale Stabilität gefunden werden [11].

Der dynamische Ansatz der Bewegungsregulation geht davon aus, dass nicht alle Bewegungselemente primär zentral geplant und peripher „angewiesen“ werden. Komponenten der Bewegung entstehen durch komplexe Interaktionen zwischen den untereinander vernetzten Neuronenpopulationen. Bewegungskoordination ist demnach nicht durchgängig „zentral geplant“. Sie entsteht zu einem nicht unerheblichen Maß als Ergebnis der bewegungsspezifischen neuronalen Selbstorganisation des ausführenden Systems auf der spinalen wie der supraspinalen Ebene. Deshalb sind einmal stabil erlernte Bewegungsfehler nur noch sehr schwer oder auch gar nicht mehr zu korrigieren. Sie sind strukturell fixiert.

Die Ergebnisse zur Beeinflussung der sogenannten Propriozeption oder auch der Bewegungsregulation durch Orthesen, Bandagen oder auch eine einfache Neoprenmanschette sind gleichfalls nicht einheitlich. So weisen die Daten von Beynon et al. [2] für die Nutzung einer funktionellen Orthese oder einer Neoprenmanschette keinen Einfluss auf die TDPM aus. Dagegen sorgte eine elastische Bandagierung des Kniegelenkes nach einem Kreuzbandriss für eine Verbesserung des JPS. Eine Druckbandage des Lig. patellae führt während einer isometrischen maximalen Kontraktion, einer beidbeinig und einbeinig ausgeführten Halbkniebeuge zu einer Erhöhung der EMG-Aktivität, ohne das Niveau der nicht verletzten Seite zu erreichen [17, 19]. Eine Bahnung des Motoneuronenpools durch die Mechanoafferenzen dieses Bandes als auch der durch die zirkuläre Lage beeinflussten Struk-

turen kann damit nachgewiesen werden.

Zu den Wirkungsfaktoren einer Orthese, wie Intensität des Drucks, Fläche und/oder Ort der Druckeinwirkung stehen Untersuchungen bisher aus. Dass Ergebnisse zu solchen Wirkungsfaktoren wichtig sind, ist auch aus den Ergebnissen von Hassan et al. [11] abzuleiten. Die Autoren untersuchten mit einem Cross-over-Design 49 Frauen und 19 Männer (mittleres Alter: 67,1 Jahre) mit symptomatischer und radiographischer Osteoarthritis des Kniegelenkes. Mit angelegter Standardbandage (Anlage entsprechend Herstellerempfehlung; ohne Druck auf das Femoropatellargelenk) und einer um eine Nummer größeren „lockeren“ Bandage wurden die posturale Stabilität (Balance Performance Monitor), die sogenannte Propriozeption des Kniegelenkes (Reproduktion der passiven Positionierung) und der Knieschmerz während verschiedener Aktivitäten untersucht. Die feste Standardbandage hatte keinen Effekt auf den Knieschmerz, die Propriozeption und die posturalen Schwankungen. Dagegen war das Tragen der lockeren Bandage signifikant mit der Reduzierung des Knieschmerzes und einer Verbesserung der posturalen Stabilität verknüpft. Diese Bandage hatte wiederum keinen Effekt auf die Kniepropriozeption.

Aus biomechanischer Sicht sorgt bei vorderer Knieinstabilität das Tragen einer Orthese für eine Reduktion des anterior-posterioren Shifts in den Bereich eines unverletzten Kniegelenkes. Dies ist allerdings nur unter voller Belastung oder Entlastung festzustellen. Die Belastungsübergänge bleiben durch die Orthese unbeeinflusst. Auf der verletzten Seite ist die Translation der Tibia gegenüber dem Femur 3,5-mal größer [3]. Auch Fleming et al. [7] ermittelten für eine funktionelle Orthese bis zu einer Belastung von 130 N eine Reduzierung der Translation nach ventral, wenn das Kniegelenk belastet oder entlastet war. Das interne Drehmoment der Tibia wurde beim unbelasteten Kniegelenk bis zu Werten von neun Nm durch die Orthese reduziert.

In Anbetracht der Insuffizienz der Innervation auf der verletzten Seite im Sinne der funktionellen Teilparese mit nachfolgender funk-

tioneller Narbe [18, 19] und der zumindest teilweisen Beeinflussung des anterior-posterioren Shifts [3] unter Be- und Entlastungsbedingungen kann die Empfehlung ausgesprochen werden, dass Patienten auch noch Jahre nach der Verletzung und Operation bei bestimmten anspruchsvollen und biodynamisch belastenden physischen Aktivitäten wie zum Beispiel alpines Skifahren, Wandern in sehr profiliertem Gelände und bei Sportarten mit intensiven reaktiven und auch rotatorischen Belastungselementen (Tennis, Squash und andere Spiele) eine Softorthese wie die Genu Direxa Stable Long tragen sollten. Neben den Veränderungen des koordinativen Bewegungsverhaltens durch die Orthese sollten auch die rein biomechanischen Wirkungskomponenten einen positiven Wert für die Belastbarkeit und die Belastungsverträglichkeit des Stütz- und Bewegungsapparates haben.

Ohne, aber auch mit Orthese müssen diese Menschen dennoch einen besonders hohen Anspruch an die Ausführungsqualität der sportlichen Bewegungshandlungen haben und dem Zyklus Belastung und Erholung eine große Aufmerksamkeit schenken. Aus Untersuchungen mit einer Kreuzstützbandage wurde bekannt, dass die EMG-Aktivität der paravertebralen Muskulatur positiv beeinflusst wird. Ein solches Ergebnis ist aber nur dann zu verzeichnen, wenn die Bewegung koordinativ beziehungsweise sporttechnisch beherrscht und gut ausgeführt wird [17, 19].

Nach Kniegelenkverletzungen bleibt trotz Orthese die absolute Belastbarkeit des Gelenkes dauerhaft vermindert, denn die ursprüngliche Struktur und damit Funktion sind bleibend nachteilig verändert. Der Zustand nach Verletzung ist somit gleichbedeutend mit einer Disposition für vorzeitige degenerative Veränderungen. Gillquist und Messner [10] zeigten mit ihrem Review zur Häufigkeit einer posttraumatischen Gonarthrose, dass nach allen Knieverletzungen die radiografischen Zeichen einer Gonarthrose gegenüber der unverletzt gebliebenen Seite signifikant häufiger sind. Isolierte Meniskus- und Kreuzbandverletzungen ohne wesentliche Begleitverletzungen erhöhen das Gonarthrose-Risiko ge-

genüber gleichaltrigen gesunden Personen um den Faktor zehn. Eine Menishektomie ohne weitere Bandverletzungen verdoppelt das Gonarthroserisiko. 50 bis 70 Prozent der Personen mit Kreuzbandruptur inklusive Begleitverletzungen weisen nach 15 bis 20 Jahren Anzeichen einer Gonarthrose auf.

Mit dieser und einer weiteren umfangreichen Literaturanalyse [4] kann sicher ausgesagt werden, dass eine Kreuzbandverletzung zu einer funktionellen Behinderung führt. Diese ist als Disposition sowohl für weitere Verletzungen als auch für eine frühzeitige Osteoarthrose anzusehen. Auch nach Lohmander et al. [23] leiden zehn bis 20 Jahre nach der Verletzung ca. 50 Prozent der Patienten an einer Osteoarthrose mit den damit verbundenen klinischen Beschwerden einschließlich der funktionellen Beeinträchtigung. Der Nachweis einer präventiven Wirkung der operativen Therapie steht bisher immer noch aus. Die Empfehlung zum Tragen einer Knie-Softorthese kann aber trotz eines bisher noch ausstehenden objektiven Nachweises eines positiven Outcomes gegeben werden. ROM-Orthesen, die in Europa weniger, dafür aber in den USA bevorzugt eingesetzt werden, haben nach Wright und Fetzer (2007) [31] keinen sicheren Einfluss auf die Schmerzen, den Bewegungsbereich, die Stabilität des Transplantats und die Prävention von Folgeverletzungen. Die Vergleichbarkeit dieser Orthesen mit den bandagenartigen Softorthesen ist aber bisher unzureichend untersucht.

## Zusammenfassung

Die Kreuzbandverletzung ist aus biomechanischer und sensomotorischer Sicht eine schwere Verletzung. Das Kniegelenk unterliegt bleibend einer veränderten Biomechanik, wofür die anterior-posteriore Translation („Schublade“) allein nicht ausreichend aussagefähig ist. Die endgültige Zerstörung der Mechanosensoren des Kreuzbandes sorgt für eine Beeinträchtigung der Bewegungsregulation des Kniegelenks. Dadurch wird die Biomechanik dieses Gelenks zusätzlich negativ beeinflusst. Die sensomotorische Störung ist relativ einfach mittels einer EMG-Untersuchung zu erkennen. Sie belegt über viele

Monate die funktionelle Teilparese und später die funktionelle Narbe in der Funktion des M. quadrizeps femoris.

Die Sensomotorik des Kniegelenks wird mit den sogenannten „propriozeptiven Tests“ (Winkelreproduktion, Bewegungsschwelle und andere) geprüft. Diese Tests sind aber nicht ausreichend austauschbar. Deshalb können Veränderungen der Sensomotorik nur sicher ermittelt werden, wenn die gesamte Testbatterie beim gleichen Patienten eingesetzt wird. Es besteht aber nicht nur eine Störung der Sensomotorik des Kniegelenks selbst. Es lassen sich darüber hinaus Auswirkungen auf die sensomotorische Koordination der Ganzkörperbewegung finden.

Beide Faktoren reduzieren die Belastbarkeit des Kniegelenks und damit fungieren sie gemeinsam als Disposition für den vorzeitigen degenerativen Gelenkprozess. Diese Disposition zur Osteoarthritis ist sicher nachgewiesen.

Die Forschungsergebnisse zur Wirksamkeit einer Orthese sind bisher noch sehr widersprüchlich. Zusammenfassend könnte man den Ergebnisstand so beschreiben: Einerseits ist für das langfristige systematische Tragen kein sicherer Vorteil nachgewiesen, aber andererseits belegen Laborergebnisse aus biomechanischer und sensomotorischer Sicht positive Wirkungen.

Diese sind wiederum nicht durchgängig aufzuzeigen. Zum einen muss die Wirkung auf einen limitierten Belastungsbereich einge-

grenzt werden. Zum anderen erfolgt durch die Orthese die Angleichung an die Verhältnisse des nicht verletzten Kniegelenkes nur unter Be- und Entlastungsbedingungen und nicht während der Übergänge zwischen beiden Belastungszuständen. Letzteres wird wahrscheinlich auch für den fehlenden Nachweis eines Unterschieds des Outcomes nach längeren Tragezeiten verantwortlich gemacht werden müssen.

Die vorgelegten Laborergebnisse belegen einen günstigen Einfluss der Softorthese auf das Bewegungsverhalten einer koordinativ anspruchsvollen Aufgabe. Ein einfacher Sprung aus dem Stand bleibt unbeeinflusst. Dagegen wird das Bewegungsverhalten bei der Vorbereitung eines reaktiven Sprunges sehr wohl günstig verändert.

Wie auch bei anderen Laboruntersuchungen bleiben die konkreten Ursachen der Wirksamkeit der Softorthese unklar. Die Orthese hat infolge des Kompressionsdrucks sicher einen Einfluss auf das Set der Mechanoafferenzen aus der Haut, der Unterhaut, der Gelenkkapsel und den oberflächlichen Schichten der Muskulatur. Es ist aber noch völlig ungeklärt, welchen Einfluss die Intensität des Druckes, die Einwirkungsfläche und die Kombination beider Faktoren auf den afferenten Informationsstrom und welche neurophysiologischen Auswirkungen dieser auf der spinalen und supraspinalen Ebene für die Bewegungsregulation hat.

Des Weiteren gilt es in der Folgezeit aufzuklären, welchen Einfluss

die verschiedenen Bewegungshandlungen und insbesondere deren Ausführungsqualität (die sensomotorische Koordination oder synonym die Bewegungsbeziehungsweise sportliche Technik) auf die Wirksamkeit einer Orthese haben. Darin eingeschlossen sollte die Forschung Fragen zum Verhältnis von Belastung und Erholung und zum Einsatz von Anwendungen aus dem Repertoire der Physiotherapie (Förderung der Gelenktrophik, der Durchblutung und so weiter) behandeln.

Auch wenn bestimmte Sportarten einen besonderen Spaß bereiten, so kann doch nicht vernachlässigt werden, dass die Belastbarkeit beziehungsweise Belastungsverträglichkeit des biomechanisch und sensomotorisch geschädigten Kniegelenks über den Fortschritt der Gelenkdegeneration entscheidet. Orthesen verändern das Bewegungsverhalten. Auch wenn die Aufklärung noch intensiven Forschungsbedarf erfordert, kann aus den bisherigen Laboruntersuchungen zur kurzfristigen Wirksamkeit einer Orthese ein Beitrag zur Unterstützung der Belastbarkeit abgeleitet werden.

*Literatur liegt beim Verfasser.*

**Für die Autoren:**

*PD Dr. med. sc. Wolfgang Laube  
Landeskrankenhaus Rankweil/  
Feldkirch  
Abteilung Physik. Med. und Rehab.  
Valdunastr. 16  
A-6830 Rankweil*