

Belastung und Adaptation des humanen Knorpels beim Langstreckenlauf im Leistungs- und Hochleistungsbereich

U.G. Kersting, J.J. Stubendorff,
M.C. Schmidt, G.-P. Brüggemann

Deutsche Sporthochschule Köln
Institut für Biomechanik

1 Problem

Im Langstreckenlauf ist insbesondere im Leistungs- und Hochleistungstraining von hohen mechanischen Belastungen des Gelenkknorpels in den unteren Extremitäten auszugehen. Dies wird deutlich durch epidemiologische Studien belegt. Bezüglich der durch diese hohen externen mechanischen Belastungen provozierten internen Beanspruchungen sind bisher keine konkreten Relationen formuliert. In diesem Zusammenhang weisen aktuelle Veröffentlichungen aus dem Bereich der Biomechanik des Laufens darauf hin, dass die Bestimmung externer kinematischer und kinetischer Merkmale allein keine Rückschlüsse auf die internen Belastungen ermöglicht. Vielmehr müssen die Verfahren im Sinne einer individuellen Bestimmung der auftretenden Belastung interner Strukturen erweitert werden. Dies kann in der Regel nur durch Modellberechnungen realisiert werden, da in vivo Messungen bei Athleten nicht durchführbar sind. Neue medizinisch-diagnostische Verfahren erlauben einerseits die In-vivo-Beurteilung der Knorpeldicke und Knorpelzusammensetzung und andererseits die Bestimmung bestimmter Serumparameter, die Rückschlüsse auf die Knorpelqualität zulassen.

Die Verknüpfung dieser Methoden erlaubt es, physiologische und mechanische Parameter in Verbindung zu setzen und möglicherweise eindeutige Relationen aufzudecken. Im Idealfall würde dies ermöglichen, ein erhöhtes Risiko für Knorpelschäden bei Leistungssportlern frühzeitig, individuell und eindeutig zu diagnostizieren. In der vorliegenden Studie wurde die Anwendung dieses Konzeptes bezüglich des Kniegelenks untersucht.

Für die Analyse von Knorpelvolumenänderungen wurde die Magnetresonanztomographie (MRT) vorgeschlagen (ECKSTEIN et al. 1996). Damit eröffnet sich die Möglichkeit, aus dem belastungsabhängigem Verhalten unter kontrollierten Krafteinwirkungen auf die Knorpelqualität zu schließen. Einen weiteren gangbaren Weg der Beurteilung von Knorpelreaktionen auf Belastung stellt der Nachweis von Knorpelmetaboliten im Blut dar. NEIDHART et al. (2000) untersuchten verschiedene Substanzen, die im Zusammenhang

mit intraartikulären Veränderungen variieren. Sie konnten folgern, dass Cartilage Oligometric Matrix Protein (COMP) und Melanoma Inhibiting Activity (MIA) mögliche Marker zum Nachweis von Gelenkveränderungen bzw. hoher Gelenkbelastung darstellen. COMP gehört zur Gruppe der Thrombospondine, welches bei Patienten, die eine radiologisch manifeste OA entwickelten, im Serum erhöht war (PETERSSON et al. 1998).

Im Hinblick auf die individuelle Trainingskontrolle weisen die vorgeschlagenen Verfahren eine hohe praktische Relevanz auf. Blutanalysen können im Rahmen von medizinischen Kontrolluntersuchungen durchgeführt werden. Die biomechanische Untersuchung kann, wenn das Verfahren standardisiert ist, in einem vertretbaren Zeitrahmen durchgeführt und ausgewertet werden. Ob die MRT routinemäßig angewendet werden kann, ist zu prüfen, wäre bei gegebener medizinischer Indikation oder bei Identifikation von Risikofaktoren durch die Blutanalyse im Einzelfall empfehlenswert.

2 Methode

Das Projekt umfasste mehrere Pilotstudien zur Absicherung der Untersuchungsmethoden, woraufhin das Kernexperiment durchgeführt wurde. Dynamische Belastung wurde durch einen Trainingslauf realisiert. Es erfolgte die Darstellung der Knorpelveränderung im Kniegelenk durch MRT unter Einschluss der Bestimmung der Knorpelmetaboliten im Blut und der Quantifizierung der individuellen Gelenkbelastung. An einem weiteren Untersuchungstermin wurde eine biomechanische Analyse der Laufmechanik der Probanden durchgeführt. Unter Laborbedingungen wurden die Kinematik der unteren Extremität und die Bodenreaktionskräfte aufgezeichnet. Die resultierenden Gelenkmomente und Gelenkkräfte wurden entsprechend dem von KERSTING und BÖHM (1999) vorgeschlagenen Verfahren ermittelt. Es wurden 18 unterschiedlich trainierte Probanden untersucht.

Jeweils unmittelbar vor, 20 Minuten nach dem Lauf (unmittelbar nach dem MRT) und 2 Stunden nach Beendigung des Lauftrainings wurde intravenös Blut abgenommen. Als biochemische Parameter wurde cartilage oligomatrix protein (COMP) im Serum bestimmt. Ein Enzym-gekoppelter Immunoabsorptions Assay (COMP ELISATM reaction kit, AnaMar Medical, Uppsala/Sweden) wurde dazu verwendet. Die Proben wurden aliquotiert und entsprechend dem Handbuch des Herstellers verarbeitet. Zur Realisierung einer konstanten Spezifität wurden alle Proben gemeinsam verarbeitet.

3 Ergebnis

Anhand der COMP Veränderungen konnten zwei unterschiedliche Gruppen identifiziert werden. Bei einer Gruppe der Athleten (N = 10) zeigte sich eine signifikante Abnahme

während bei der zweiten Gruppe eine deutliche Zunahme zu verzeichnen war. Drei Stunden nach der Belastung kehrten diese Werte auf das Ausgangsniveau zurück. Die Veränderungen des Knorpelvolumens in diesen zwei Gruppen differierte ebenfalls signifikant. Alle Probanden zeigten eine Abnahme des Knieknorpelvolumens nach der Belastung. Der Vergleich der beiden Gruppen zeigte, dass das Ausmaß der Volumenänderung signifikant höher war für die Athleten, die eine COMP-Zunahme zeigten.

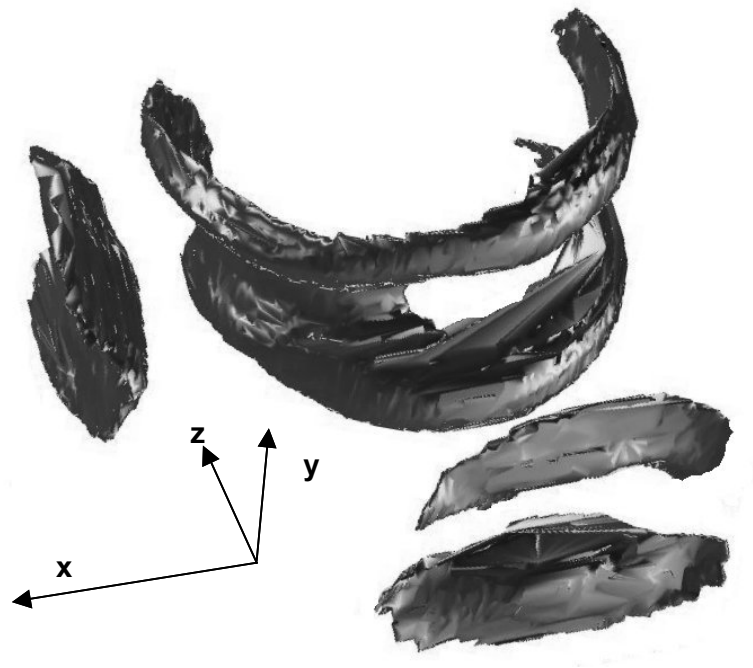


Abb. 1: Darstellung eines rekonstruierten Knies. Ansicht von anterior, inferior, medial. Vorn: Patella, unten: lateraler und medialer Knorpel des Tibiaplateaus, oben: femoraler Knorpel; zur besseren Darstellbarkeit sind die Segmente auseinandergerückt (x: ant., y: med., z: prox.).

Bezüglich der mechanischen Parameter wurden jeweils die maximalen Momente in allen drei Raumrichtungen während der Stützphase ermittelt. Für keine dieser Parameter ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Dies trifft ebenfalls für die Nettogelenkräfte zu. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Gruppen sich nicht signifikant bezüglich der Nettokniebelastung unterschieden.

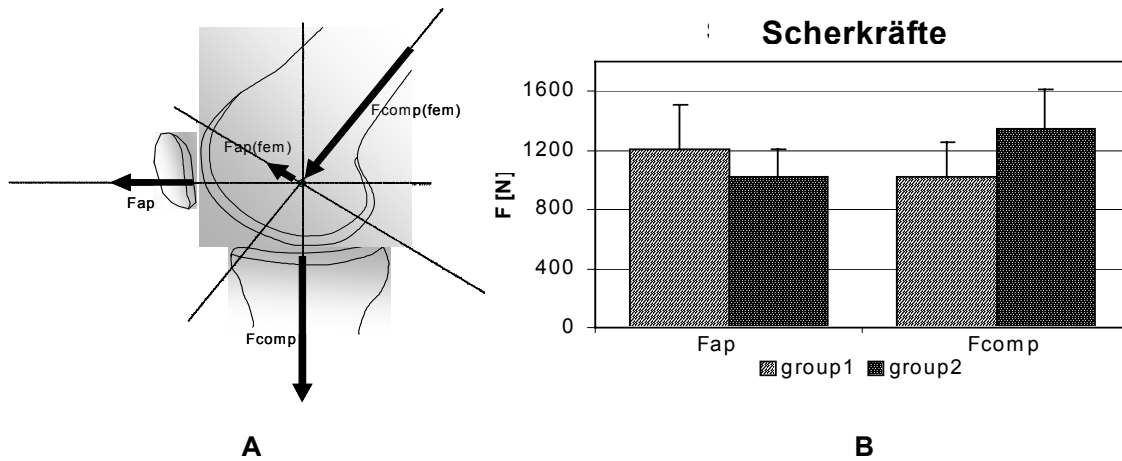


Abb. 2: Scherkräfte in sagittaler Ebene bezogen auf das Tibiasegment.

4 Diskussion

Es wurde gezeigt, dass ein enger Zusammenhang zwischen Änderungen des Knorpelvolumens und der Serum COMP-Konzentration besteht. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass durch COMP-Bestimmungen im Zusammenhang mit Trainingsbelastungen Risikofaktoren für degenerative Knorpelschädigungen identifiziert werden können. Darin ist ein großes Potential für das Monitoring von Training im Leistungs- und Hochleistungssport zu sehen. Beachtet werden muss dabei, dass basale Werte insbesondere für Leistungssportler stark variieren. Aufgrund der relativ leichten Anwendbarkeit des Verfahrens erscheint eine routinemäßige Anwendung im Leistungstraining denkbar.

Es wurde kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der mechanischen Nettobelastung und den Knorpelveränderungen nachgewiesen. Jedoch muss herausgestellt werden, dass der hier verfolgte Ansatz der Bestimmung der Nettokräfte und -momente eine Vereinfachung darstellt. Daher kann die Frage, ob die mechanische Belastung allein, metabolische Faktoren oder eine Kombination die Knorpelreaktionen bestimmen, nicht beantwortet werden. HERZOG et al. (1998) und ECKSTEIN et al. (1993) haben gezeigt, dass die Kongruenz der Gelenkflächen einen entscheidenden Einfluss auf die Belastungsverteilung innerhalb des Gelenkes hat. Unter Berücksichtigung dieses Konzeptes kann angenommen werden, dass unter Kompression in der Stützphase Zwangsmomente (medio-lateral und varus-valgus) zum Teil über die Gelenkflächen transferiert werden. Dies könnte dann in Folge wiederum zu unterschiedlichen Volumenänderungen führen.

Zur Klärung dieser Frage ist eine Erweiterung des Kniemodells bzw. des Modells der unteren Extremität notwendig, welche individuelle geometrische Faktoren mit einschließt, wie sie ebenfalls über die Verwendung von MRI-Techniken (HOHE et al. 2002) und den Ein-

schluss von Muskeln und weiteren Gelenkstrukturen in das mechanische Modell (WRIGHT et al. 1998) möglich wären.

5 Literatur

- ECKSTEIN, F.; GAVAZZENI, A.; SITTEK, H.; HAUBNER, M.; LÖSCH, A.; MILZ, S.; ENGLMEIER, K.-H.; SCHULTE, E.; PUTZ, R.; REISER, M.: Determination of Knee Joint Cartilage Thickness Using Three-Dimensional Magnetic Resonance Chondro-Grassometry (3D MR-CCM). *Magnetic Resonance in Medicine* 36 (1996), 256-265.
- ECKSTEIN, F.; LOHE, F.; SCHULTE, E.; MULLER-GERBL, M.; MILZ, S.; PUTZ, R.: Physiological incongruity of the humero-ulnar joint: a functional principle of optimized stress distribution acting upon articulating surfaces? *Anat. Embryol.* 188 (1993), 449-455.
- HERZOG, W.; DIET, S.; SUTER, E.; MAYZUS, P.; LEONARD, T.R.; MULLER, C.; WU, J.Z.; EPSTEIN, M.: Material and functional properties of articular cartilage and patellofemoral contact mechanics in an experimental model of osteoarthritis. *J. Biomech.* 31 (1998), 1137-1145.
- HOHE, J.; ATESHIAN, G.; REISER, M.; ENGLMEIER, K.H.; ECKSTEIN, F.: Surface size, curvature analysis, and assessment of knee joint incongruity with MRI in vivo. *Magn. Reson. Med.* 47 (2002) 3, 554-561.
- KERSTING, U.G.; BÖHM, H.: Variations of Internal Load in the Foot due to Different Running Styles. *Clinical Biomechanics* 14 (1999) 8, 556-557.
- NEIDHART, M.; MULLER-LADNER, U.; FREY, W.; BOSSERHOFF, A.K.; COLOMBANI, P.C.; FREY-RINDOVA, P.; HUMMEL, K.M.; GAY, R.E.; HAUSELMANN, H.; GAY, S.: Increased serum levels of non-collagenous matrix proteins (cartilage oligomeric matrix protein and melanoma inhibitory activity) in marathon runners. *Osteoarthritis Cartilage* 8 (2000) 3, 222-229.
- PETERSSON, I.F.; BOEGARD, T.; SVENSSON, B.; HEINEGARD, D.; SAXNE, T.: Changes in cartilage and bone metabolism identified by serum markers in early osteoarthritis of the knee joint. *Br. J. Rheumatol.* 37 (1998) 1, 46-50.
- WRIGHT, I.C.; NEPTUNE, R.R.; VAN DEN BOGERT, A.J.; NIGG, B.M.: Passive regulation of impact forces in heel-toe running. *Clin. Biomech.* (1998) 13, 521-531.

