

Christoph Becher¹, Caroline Kröger², Benjamin Fleischer², Christof Hurschler²

Evaluation der Knorpelqualität am Talus

Kompressionsinduzierte Strömungspotenziale (SPI) und Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)

Assessment of human tali articular cartilage

Compression-induced streaming potentials (SPI) and near infrared spectroscopy (NIRS)

Zusammenfassung: Die nichtinvasive objektive intraoperative Bestimmung der Knorpelqualität könnte – neben den bildgebenden Verfahren – eine neue Option in der Entscheidungsfindung bezüglich der operativen Vorgehensweise darstellen. In dieser Studie wurden experimentell in-vitro an 10 frischen humanen Tali kompressionsinduzierte Strömungspotenziale (streaming potential integrals, SPI) und NIR-Spektren durch manuelle Kompression des Knorpels an den Messpunkten mit einer Tastsonde gemessen (SPI: Arthro BST, Biomomentum Inc., Laval, Kanada; NIRS: arthrospec GmbH, Jena, Deutschland). Der Degenerationsgrad wurde zudem makroskopisch mit dem ICRS-Score und nach histologischer Bearbeitung von 36 Knorpelzylindern mit dem Mankin-Score bestimmt.

Die Messungen konnten reproduzierbar mit statistisch signifikanter ($p \leq 0,001$) Korrelation zwischen den Messungen von 3 Untersuchern erfolgen, mit einem ICC von 0,87 (0,77–0,93) für die SPI-Messungen und 0,76 (0,63–0,85) für die NIR-Messungen. Zwischen den erhobenen Scores (ICRS und Mankin) und den Mittelwerten der SPI- und NIR-Messungen wurden allerdings keine statistisch signifikanten Korrelationen festgestellt. Entsprechend sind bei fehlenden Referenzwerten momentan mit keinem der Geräte valide Aussagen möglich über die Güte und die Einstufung der Werte hinsichtlich der Knorpelqualität am Talus.

Schlüsselwörter: Nah-Infrarot-Spektroskopie, elektrische Strömungspotenziale, Knorpel, Arthrose, ICRS/Mankin-Score

Zitierweise

Becher C, Kröger C, Fleischer B, Hurschler C: Evaluation der Knorpelqualität am Talus.

OUP 2016; 9: 702–706 DOI 10.3238/oup.2016.0702–0706

Summary: The non-invasive objective intraoperative classification of the cartilage could offer a new option for decision-making with respect to treatment of articular cartilage defects. In this in-vitro study, 10 human tali were evaluated with an indentation probe to measure the results of compression-induced streaming potentials (SPI – Arthro BST, Biomomentum Inc., Laval, Canada) and near-infrared spectroscopy (NIRS – arthrospec GmbH, Jena, Germany). The degradation level of the tissue was determined macroscopically with the ICRS-Score and histologically in extracted 36 cartilage cylinders by using the Mankin-Score.

The measurements could be performed with statistically significant ($p \leq 0,001$) interobserver agreement with a computed ICC of 0,87 (0,77–0,93) for SPI values and 0,76 (0,63–0,85) for the NIRS values among 3 users. However, no significant correlations were found between the score results (ICRS and Mankin) and the SPI and NIRS values, respectively. Thus, since reference data is not available at this point, no valid statements on the cartilage quality and classification at the talus can be made with either of the 2 techniques.

Keywords: near infrared spectroscopy (NIRS), streaming potential integrals (SPI), articular cartilage, osteoarthritis, ICRS/Mankin score

Citation

Becher C, Kröger C, Fleischer B, Hurschler C: Assessment of human tali articular cartilage.

OUP 2016; 9: 702–706 DOI 10.3238/oup.2016.0702–0706

Einleitung

Chondrale und osteochondrale Defekte sind im Rahmen arthroskopischer

Operationen häufig zu finden [1, 2]. Diese Defekte verursachen verschiedene Symptome wie Schmerzen, Schwellung, Bewegungseinschränkung, Funk-

tionseinschränkung und entwickeln sich im Verlauf zu einer Osteoarthritis.

Die Diagnostik und Therapie von chondralen und osteochondralen De-

¹ HKF – Internationales Zentrum für Hüft-, Knie- und Fußchirurgie, ATOS Klinik Heidelberg

² Labor für Biomechanik und Biomaterialien der Orthopädischen Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH)

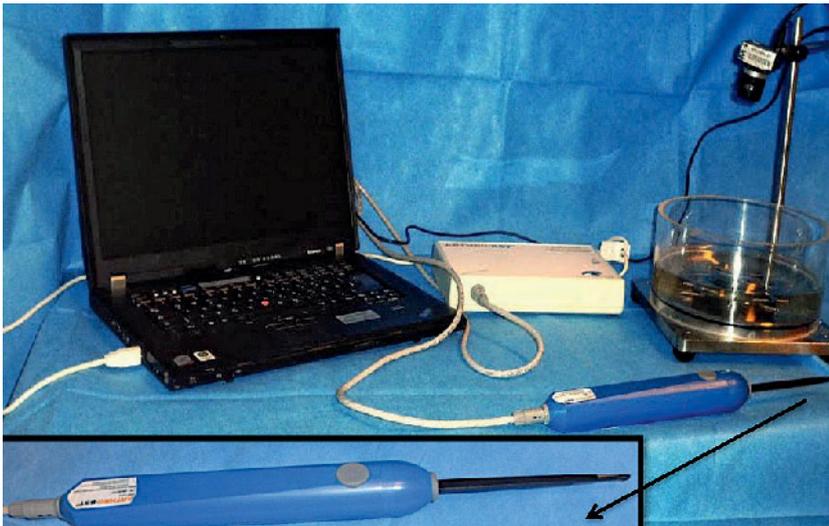


Abbildung 1 Aufbau Messeinheit Arthro-BST

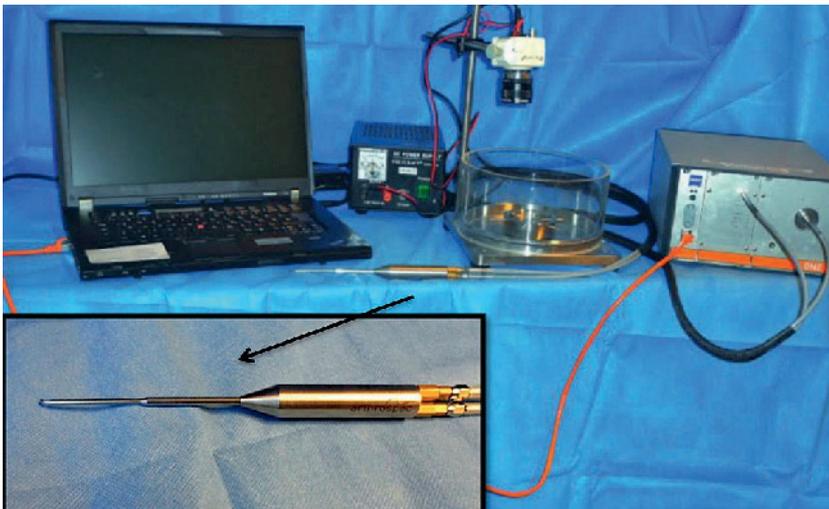


Abbildung 2 Aufbau Messeinheit arthrospec one

fekten stellt für die behandelnden orthopädischen Chirurgen eine große Herausforderung dar. Die therapeutischen Optionen haben sich im Laufe der Zeit deutlich verbessert, sind allerdings auch insbesondere in Bezug auf die zellbasierten Verfahren mit Matrizes mit erheblichen Kosten verbunden [3, 4]. Die Diagnostik hat sich ebenfalls vor allem bei tiefgradigen chondralen und osteochondralen Läsionen durch die bildgebenden Verfahren verbessert. Mehrere Klassifikationen zur Einteilung der Defekte wurden publiziert [1, 5]. Die korrekte Klassifizierung hängt allerdings in hohem Maße von der Erfahrung des befundenen orthopädischen Chirurgen oder Radiologen

ab. Die intraoperative Möglichkeit einer manuellen Tastuntersuchung des Knorpels erweitert die Möglichkeiten der Klassifikation. Die Übereinstimmung in Bezug auf die Klassifizierung des Schadens und vor allem die daraus abzuleitende therapeutische Konsequenz, hat sich allerdings als unzureichend herausgestellt [6–8]. Eine Umfrage unter erfahrenen orthopädischen Chirurgen ergab eine hohe Unsicherheit mit Wunsch nach Verbesserung der Klassifizierung bei rund 50 % der Teilnehmer, insbesondere in Bezug auf die Differenzierung zwischen Defekten Grad 1–2 und 2–3 [8]. Am Talus ergibt sich eine besondere Relevanz, weil hier bei osteochondralen Läsio-

nen im Stadium 2–3 bezüglich des Vorgehens mit retrogradem knorpelerhaltendem Vorgehen oder Debridement des Knorpels und Anwendung eines knorpelregenerativen Verfahrens keine Einigkeit besteht [9].

Entsprechend wurden in den vergangenen Jahren Instrumente entwickelt, welche den Anspruch haben, objektive Aussagen über die Güte der Knorpelqualität treffen zu können und damit schon frühzeitig Veränderungen des Gelenkknorpels auf mechanischer, struktureller und zellulärer Ebene zu erkennen. Dazu gehören beispielsweise die Möglichkeit der Verwendung von Laser, Ultraschall, Infrarotlicht oder Mikroelektroden, welche elektrische Potenziale detektieren können [10–14].

Am Knie wurden in den letzten Jahren insbesondere die intraoperativ anwendbaren Verfahren der Messung von NIR-Spektren und die Ableitung von kompressionsinduzierten Potenzialen wissenschaftlich untersucht und propagiert [8, 15]. Trotz der offensichtlichen Notwendigkeit, objektive und verlässliche Möglichkeiten zur Bestimmung der Knorpelqualität zur Verfügung zu haben, besteht keine klinische Akzeptanz und Verbreitung der zur Verfügung stehenden Verfahren. Die Gründe könnten unter anderem in den Herausforderungen in der Benutzung der Geräte liegen, welche vor allem in der optimalen Orientierung der Messinstrumente in Relation zur Knorpeloberfläche bestehen und der Notwendigkeit einer gleichmäßigen Druckausübung auf das Messinstrument bei der Untersuchung [16].

Die in diesem Beitrag vorgestellten Geräte zur Messung kompressionsinduzierter Strömungspotenziale (Arthro BST, Biomomentum Inc., Laval, Kanada, Abb. 1) und von NIR-Spektren (arthrospec one, arthrospec GmbH, Jena, Deutschland, Abb. 2) sind als diagnostische Untersuchungsgeräte mit dem CE-Zeichen in Europa zugelassen. Die Nahinfrarotspektroskopie wurde bereits von einer Arbeitsgruppe um Spahn et al. für die Anwendung am Knie ausgiebig experimentell und klinisch evaluiert [8, 13, 17–20]. Die Messung kompressionsinduzierter Strömungspotenziale am Knie erfolgte in experimentellen Studien durch die Arbeitsgruppe der Entwickler und durch die Autoren dieses Beitrags

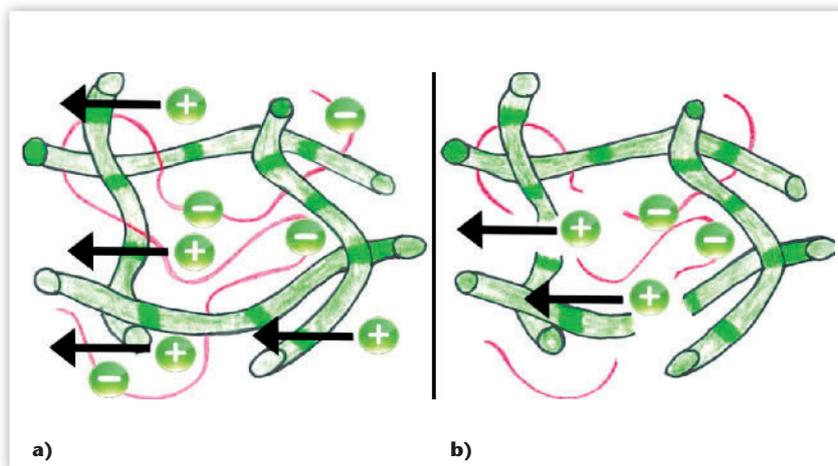


Abbildung 3a-b Schematische Darstellung des Kollagennetzwerks mit Proteoglykanen und frei beweglichen Kationen [24]. **a)** Verhalten der intakten Struktur bei Kompression. **b)** Verhalten der degenerativ veränderten Struktur bei Kompression.

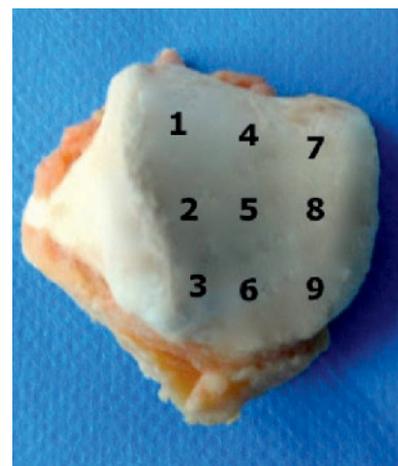


Abbildung 4 Anordnung der 9 Messpunkte am Beispiel eines rechten Talus

ges [11, 15, 16, 21]. Klinische Anwendungsdaten liegen hierfür noch nicht vor. Für die Untersuchung am Talus sind für beide Geräte weder experimentell noch klinisch Daten vorhanden.

Ziel dieser Arbeit war, entsprechend zu evaluieren ob

1. die Messung kompressionsinduzierter Strömungspotenziale und die Messung von NIR-Spektren zur Bestimmung der Knorpelqualität am Talus im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit zwischen verschiedenen Untersuchern reproduzierbare Ergebnisse liefert und
2. eine Korrelation der Ergebnisse mit dem klinischen ICRS-Score [1] und dem histologischen Mankin-Score [22] besteht.

Material und Methode

Arthro-BST – kompressionsinduzierte Strömungspotentiale (SPI)

Diese Technik macht sich die elektrischen Eigenschaften des Knorpels zunutze. Durch leichte Kompression des Knorpels mit einer Tastsonde (Abb. 1) werden positiv geladene Ionen von den im Kollagennetzwerk sitzenden negativ geladenen Proteoglykanen abgestoßen (Abb. 3). Diese Bewegung erzeugt einen elektrisch messbaren Gradienten (Strömungspotenzial) und wird durch 37 Mikroelektroden detektiert, die am sphärischen Kopf der Tast-

sonde angebracht sind. Der in $\text{mV} \times \text{mm}^3$ gemessene quantitative Wert liefert Aussagen über die Struktur, Zusammensetzung und Funktion des gemessenen Knorpelareals. Bei geschädigtem Knorpel mit nicht intaktem Kollagennetzwerk und Verlust an Proteoglykanen wird ein abnormaler Wert angezeigt [16, 21, 23].

Arthrospec one – Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)

Per Definition versteht man unter NIR (Nahinfrarot) einen Wellenlängenbereich des kurzwelligen Lichts zwischen 760 und 2500 nm. Die Infrarotspektroskopie ist ein Analyseverfahren, bei dem bestimmte Materien aufgrund ihrer Interaktion mit elektromagnetischen Wellen einem bestimmten Referenzspektrum zuzuordnen sind. Im Lichtbereich der NIRS handelt es sich hauptsächlich um Interaktionen mit Wasser, CH-, NH- und OH-Gruppen. Abhängig von der benutzten Wellenlänge, Beschaffenheit und Dichte des verwandten Materials kann das Licht bis zu einigen Zentimetern tief eindringen [8].

Die bei jeder Messung mit der Tastsonde aufgezeichneten NIR-Spektren werden mit einer speziellen Software berechnet. Hierbei kommen Algorithmen zum Einsatz, welche eigens für die NIR-Spektren entwickelt worden sind, sodass der relative Endwert (NIRrel) in

Zusammenhang mit der Knorpelqualität gesetzt werden kann [13, 18].

In mehreren Untersuchungen wurde eine Korrelation der am Knorpel gemessenen veränderten NIR-Werte mit den biochemischen, biomechanischen und histologischen Eigenschaften des Knorpels gefunden [8, 18]

Studienablauf

Die Studie erfolgte experimentell in-vitro an 10 frischen humanen Tali. Die Tali wurden extrahiert und in einer speziell angefertigten Vorrichtung befestigt [15]. An jedem Talus wurden 9 Messpunkte markiert (Abb. 4) und die Knorpelqualität jeweils makroskopisch von einem in der Knorpeltherapie erfahrenen Facharzt durch den ICRS-Score bestimmt. Danach führten 3 unabhängige Untersucher jeweils 3 Messungen an jedem Untersuchungspunkt aus. Die Untersuchung der Strömungspotenziale (streaming potential integrals, SPI) und NIR-Spektren erfolgte durch manuelle Kompression des Knorpels an den Messpunkten mit den dafür vorgesehenen Tastsonden der Geräte wie bereits beschrieben [13, 15].

Anschließend wurden 36 Knorpelzylinder an verschiedenen Messpunkten entnommen und nach entsprechender Bearbeitung eine H.E.- und Safranin-O-Färbung zur Bestimmung des Mankin-Scores durchgeführt.

Zur Beantwortung der Hypothesen wurden die Inter-Untersucher-Reliabi-

lität mit dem Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) und die Intra-Untersucher-Reliabilität mit einem Pearson-Test bestimmt. Die Korrelation der Messwerte mit dem ICRS-Score und Mankin-Score erfolgte ebenfalls durch den Pearson-Test.

Ergebnisse

Die Knorpeldicke der Präparate lag in einem Bereich zwischen 0,6 mm und 1,6 mm. Bei Bestimmung des ICRS-Grads ergaben sich hauptsächlich geringe Knorpelschäden der Grade 0–1 ($n = 90$, davon ICRS-Grad 0: $n = 58$, ICRS-Grad I: $n = 17$, ICRS-Grad II: $n = 3$, ICRS-Grad III: $n = 11$, ICRS-Grad IV: $n = 1$).

In Bezug auf die Reproduzierbarkeit der gemessenen Werte zeigte sich eine signifikante ($p \leq 0,001$) Korrelation zwischen den Messungen der Untersucher mit einem ICC von 0,87 (0,77–0,93) für die SPI-Messungen und 0,76 (0,63–0,85) für die NIR-Messungen.

Es zeigte sich eine mäßige Intra-Untersucher-Reliabilität für die SPI-Messungen mit teilweise größeren Unterschieden zwischen den Untersuchungen der einzelnen Untersucher (Minimum: 0,48; Maximum: 0,84). Für die NIR-Messungen waren die Unterschiede zwischen Untersuchungen der einzelnen Untersucher dagegen gering (Minimum: 0,88; Maximum: 0,96). Die durchschnittliche Anzahl der Fehlmessungen (kein Wert erfasst) lag bei den NIR-Messungen bei 4 %, bei den SPI-Messungen allerdings bei 49 %.

Zwischen den erhobenen Scores (ICRS- und Mankin) und den Mittelwerten der SPI- und NIR-Messungen wurden keine statistisch signifikanten Korrelationen festgestellt.

Diskussion

Standardisierte Methoden zur objektiven Bestimmung der Qualität des Knorpels in Bezug auf Schädigung oder Knorpelersatzgewebe nach Reparatur sind für Kliniker wie auch Forscher von Bedeutung. Allerdings haben die bisherigen Methoden mit den gängigen Klassifikationen und einer Interobserver-Reliabilität von 0,55–1 in Abhängigkeit des Defektgrads erhebliche Limitatio-

nen [6, 24, 25]. Histologische und invasive biomechanische Methoden wären zur Qualitätsbestimmung geeignet, sind aber in der klinischen Anwendung im Alltag nicht anwendbar.

Die Entwicklung arthroskopisch anwendbarer Tastsonden stellt somit einen deutlichen Fortschritt dar. Die Anwendung des arthropec one hat bereits klinisch [26], das Arthro-BST nur experimentell [15, 21] für die Bestimmung von SPI und NIRS in der Anwendung am Knie gute Werte in Bezug auf die Reproduzierbarkeit verschiedener Untersucher gezeigt. In dieser Studie konnte die Messung von NIRS und SPI zur Bestimmung der Knorpelqualität am Talus relativ reproduzierbar mit einem ICC von 0,87 für die SPI-Messungen und 0,76 für die NIR-Messungen durch verschiedene Untersucher erfolgen. Im Vergleich zum MRT, welches bei der Einschätzung von Knorpelschäden in einer Studie von Krampfl et al. lediglich eine Inter-Untersucher-Reliabilität von 0,37 aufweist [27], sind die Ergebnisse deutlich besser. Allerdings ist die Praktikabilität des Arthro-BST eingeschränkt durch eine hohe Anzahl von Fehlmessungen und einer geringeren Intra-Untersucher-Reliabilität als beim arthrospec one. In einer vorausgegangenen Studie mit dem Arthro-BST am Knie konnten Becher et al. bereits eine gewisse Lernkurve in der Handhabung des Geräts feststellen [15]. Diese Lernkurve ist durch die Schwierigkeit, den sphärisch geformten Indentor auf den konvex geformten Talus präzise aufzusetzen, hier als noch problematischer einzuschätzen.

Allerdings wurden in dieser Studie für die Anwendung am Talus für beide Geräte keine Korrelationen im Vergleich zum ICRS- und Mankin-Score gefunden. Dies steht im Gegensatz zu den bekannten klinischen und experimentellen Ergebnissen am Knie [8, 15–18, 21]. Bei der Interpretation sind allerdings mehrere Punkte zu beachten: Die Präparate zeigten hauptsächlich geringe Veränderungen der Knorpeloberfläche. Die meisten Tali ($n = 58$) wiesen einen ICRS-Grad 0 auf und nur $n = 3$ bzw. $n = 11$ den hauptsächlich interessanten Bereich eines ICRS-Grad 2–3. Ob bessere Korrelationen, insbesondere bei tatsächlich vorliegenden osteochondralen Läsionen, bei größerer Anzahl verfügbarer Prä-

parate möglich gewesen wäre, bleibt unklar. Die Knorpeldicke der Tali war deutlich geringer als dies bei Untersuchungen des Knies der Fall war. Eine mögliche Abhängigkeit der Anwendbarkeit des Arthro-BST bei geringer Knorpeldicke wurde bereits von Sim et al. beschrieben [16]. Für das arthrospec one soll die Dicke der Knorpelschicht allerdings keinen Einfluss auf das Messergebnis haben [8]. Weiterhin wurde für das Arthro-BST ein neuer Parameter QP (Quantitative Parameter) entwickelt, welcher sich streng umgekehrt proportional zu den SPI verhält. Der Vorteil liegt in der einfacheren Berechnung und seiner geringeren Anfälligkeit gegenüber Störungen in Bezug auf die Ausrichtung des Indentors und der Geschwindigkeit, mit der Druck auf die zu messende Probe gebracht wird [16]. Falls bei Durchführung der Studie der QP bereits zur Anwendung gekommen wäre, hätten die Ergebnisse evtl. anders ausfallen können. Bisher liegen für die NIR-Spektren am Talus keine Referenzwerte vor. In dieser Studie bezogen sich die Werte auf die bekannten Referenzwerte zur Knorpelqualitätsbestimmung am Knie. Ob eine Differenzierung letztendlich möglich ist, bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten.

Zusammenfassend kann experimentell in-vitro mit beiden Geräten reproduzierbar die Messung von SPI und NIRS am Talus erfolgen. Allerdings sind bei fehlenden Referenzwerten momentan mit keinem der Geräte valide Aussagen über die Güte und die Einstufung der Werte hinsichtlich der Knorpelqualität am Talus möglich. Zudem muss die Verwendung in-vivo und die arthroskopische Anwendbarkeit in weiteren Untersuchungen noch überprüft werden. OUP

Interessenkonflikt: Keine angegeben

Korrespondenzadresse

PD Dr. med. Christoph Becher
HKF – Internationales Zentrum für
Hüft-, Knie- und Fußchirurgie
ATOS Klinik Heidelberg
Bismarckstraße 9–15
69115 Heidelberg
becher.chris@web.de

Literatur

1. Brittberg M, Winalski CS: Evaluation of cartilage injuries and repair. *J Bone Joint Surg Am.* 2003; 85-A Suppl 2: 58–69
2. Curl WW, Krome J, Gordon ES, Rushing J, Smith BP, Poehling GG: Cartilage injuries: a review of 31,516 knee arthroscopies. *Arthroscopy.* 1997; 13: 456–60
3. Brittberg M. Cell carriers as the next generation of cell therapy for cartilage repair: a review of the matrix-induced autologous chondrocyte implantation procedure. *Am J Sports Med.* 2010; 38: 1259–71
4. Hunter DJ, Schofield D, Callander E: The individual and socioeconomic impact of osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol.* 2014; 10: 437–41
5. Becher C, Waizy H, Thermann H, Stukenborg-Colsman C: Bildgebende Diagnostik und Klassifikation chondraler und osteochondraler Läsionen am Talus. *FussSprungg.* 2012; 10: 106–13
6. Jerosch J, Castro WH, de Waal Malefijt MC, Busch M, van Kampen A: [Interobserver variation in diagnostic arthroscopy of the knee joint. „How really objective are arthroscopic findings?“]. *Unfallchirurg.* 1997; 100: 782–6
7. Oakley SP, Portek I, Szomor Z et al.: Accuracy and reliability of arthroscopic estimates of cartilage lesion size in a plastic knee simulation model. *Arthroscopy.* 2003; 19: 282–9
8. Spahn G, Felmet G, Baumgarten G et al.: [Evaluation of cartilage degeneration by near infrared spectroscopy (NIRS): methodical description and systematic literature review]. *Z Orthop Unfall.* 2013; 151: 31–7
9. Becher C, Waizy H, Stukenborg-Colsman C, Thermann H: Therapieoptionen in der Behandlung chondraler und osteochondraler Läsionen am Talus. *FussSprungg.* 2012; 10: 114–20
10. Gelse K, Olk A, Eichhorn S, Swoboda B, Schoene M, Raum K. Quantitative ultrasound biomicroscopy for the analysis of healthy and repair cartilage tissue. *Eur Cell Mater.* 2010; 19: 58–71
11. Quenneville E, Binette JS, Garon M, Legare A, Meunier M, Buschmann MD: Fabrication and characterization of nonplanar microelectrode array circuits for use in arthroscopic diagnosis of cartilage diseases. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2004; 51: 2164–73
12. Sato M, Ishihara M, Kikuchi M, Mochida J: A diagnostic system for articular cartilage using non-destructive pulsed laser irradiation. *Lasers Surg Med.* 2011; 43: 421–32
13. Spahn G, Plettenberg H, Nagel H et al.: Evaluation of cartilage defects with near-infrared spectroscopy (NIR): an ex vivo study. *Med Eng Phys.* 2008; 30: 285–92
14. Arnscheidt C, Meder A, Rolauffs B: Frühdiagnose der Arthrose: klinische Realität und experimentelle Pipeline. DOI: 10.1055/s-0042-100478.
15. Becher C, Ricklefs M, Willbold E, Hurschler C, Abedian R. Electromechanical Assessment of Human Knee Articular Cartilage with Compression-Induced Streaming Potentials. *Cartilage.* 2016; 7: 62–9
16. Sim S, Chevrier A, Garon M et al.: Non-destructive electromechanical assessment (Arthro-BST) of human articular cartilage correlates with histological scores and biomechanical properties. *Osteoarthritis Cartilage.* 2014; 22: 1926–35
17. Hofmann GO, Marticke J, Grossstuck R et al.: Detection and evaluation of initial cartilage pathology in man: A comparison between MRT, arthroscopy and near-infrared spectroscopy (NIR) in their relation to initial knee pain. *Pathophysiology.* 2010; 17: 1–8
18. Marticke JK, Hosselbarth A, Hoffmeier KL et al.: How do visual, spectroscopic and biomechanical changes of cartilage correlate in osteoarthritic knee joints? *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2010; 25: 332–40
19. Spahn G, Klinger HM, Hofmann GO: How valid is the arthroscopic diagnosis of cartilage lesions? Results of an opinion survey among highly experienced arthroscopic surgeons. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009; 129: 1117–21
20. Spahn G, Stojanovic I, Muller-Obliers E, Hofmann GO: [Magnetic Resonance Imaging, Arthroscopy and Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) for Grading Osteoarthritis in the Knee]. *Z Orthop Unfall.* 2016; 154: 163–73
21. Abedian R, Willbold E, Becher C, Hurschler C. In vitro electro-mechanical characterization of human knee articular cartilage of different degeneration levels: a comparison with ICRS and Mankin scores. *J Biomech.* 2013; 46: 1328–34
22. Mankin HJ. The response of articular cartilage to mechanical injury. *J Bone Joint Surg Am.* 1982; 64: 460–6
23. www.biomomentum.com/en/Arthro-BST.html. Accessed June 9, 2016
24. Brismar BH, Wredmark T, Movin T, Leandersson J, Svensson O: Observer reliability in the arthroscopic classification of osteoarthritis of the knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2002; 84: 42–7
25. Javed A, Siddique M, Vaghela M, Hui AC: Interobserver variations in intra-articular evaluation during arthroscopy of the knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2002; 84: 48–9
26. Spahn G, Klinger HM, Baums M et al.: Near-infrared spectroscopy for arthroscopic evaluation of cartilage lesions: results of a blinded, prospective, interobserver study. *Am J Sports Med.* 2010; 38: 2516–21
27. Krampla W, Roesel M, Svoboda K, Nachbagauer A, Gschwantler M, Hruby W: MRI of the knee: how do field strength and radiologist's experience influence diagnostic accuracy and interobserver correlation in assessing chondral and meniscal lesions and the integrity of the anterior cruciate ligament? *Eur Radiol.* 2009; 19: 1519–28