

C. Wirtz¹, R. Wanner¹, S. Kohl¹, A. Krüger¹, M.A. Zumstein¹

¹ Orthopaedic Sports Medicine and Knee Surgery, Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, Inselspital, University of Bern, Bern, Switzerland

«Knie-Achsendeviationen – Ursache für Gonarthrose?»

Zusammenfassung

Es wird weiträumig angenommen, dass die Entstehung der Gonarthrose das Ergebnis sowohl systemischer prädispositioneller Faktoren als auch lokaler mechanischer Kräfteinflüsse ist [9, 18, 23]. Verschiedene lokalspezifische Faktoren innerhalb der Gelenksbiomechanik und Gelenksbiologie bestimmen die Kraftübertragung durch den Knorpel. Am Knie ist das Beinachsenalignement die wesentliche Determinante der Kraftverteilung. In der Theorie beeinflusst jegliche Abweichung vom neutralen Alignment zwischen Hüfte, Knie und Oberem Sprunggelenk (= OSG) nach lateral oder medial den Kraftverlauf durch das Knie [33]. Dieser mechanische Einfluss des Alignements auf die transgenikuläre Kraftübertragung macht aus biologischen und mechanischen Gesichtspunkten plausibel, dass sowohl bei einem Varus- als auch einem Valgus-Malalignment von einem Einfluss auf die Inzidenz und Progredienz der Gonarthrose ausgegangen wird.

Bei genauer Durchsicht der bisherigen Studienlage muss aber differenziert werden. Während der Einfluss einer vermehrten Varus- oder Valgusdeviation auf das Voranschreiten der Gonarthrose durch Studien hinterlegt ist, bleibt dessen Wirkung auf die Inzidenz der Erkrankung aus Sicht der «evidence based medicine» unsicher.

Summary

It is widely believed that osteoarthritis is the result of local mechanical factors acting in context with systemic susceptibility [9, 18, 23]. Certain site specific factors in the local joint-biology and biomechanics govern how load is distributed across the articular cartilage of the joint. At the knee, alignment is the key determinant of load distribution. In theory, any shift from a neutral alignment to medial or lateral direction of the hip, knee, and ankle affects load distribution at the knee [33]. These mechanical effects of transgenicular load distribution make it biologically and mechanically plausible that both varus and valgus malalignment may influence the incidence and progress of osteoarthritis in the knee. Reviewing present literature this issue has to be differentiated. While the effect of malalignment to the progression of osteoarthritis is based on accordant studies, the correlation to the incidence seems to be arguable in the background of evidence based medicine.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 59 (4), 169–173, 2011

Einleitung

Gonarthrose ist die häufigste Gelenkerkrankung bei älteren Menschen mit einer Prävalenz von über 30% der über 60-Jährigen [11]. Mit dem zunehmenden Durchschnittsalter der Gesellschaft wird sich laut WHO die Prävalenz für die Arthrose-Erkrankung deutlich erhöhen und aller Voraussicht nach der vierthäufigste Grund für Invalidität in Alltag und Beruf in den nächsten Jahrzehnten sein [35]. Es bleibt eine Tatsache, dass die Arthrose bis dato eine nicht heilbare Erkrankung ist. Umso wichtiger ist es, Risikofaktoren zu benennen und entsprechende Präventivmassnahmen zu ergreifen.

Während eine Vielzahl von anderen Risikofaktoren als gesichert gelten, werden lokale mechanische Kräfteinflüsse wie die des Malalignements der Beinachse weiträumig als bekannt vorausgesetzt. [3].

Physiologische Achsenverhältnisse und Deviationen

Frontales Alignment

Die mechanische Gesamtachse des Beines, die Mikulicz-Linie, ist die Verbindungslinie zwischen dem Hüftkopfbereich und dem Zentrum des Talusdoms in der Ganzbeinaufnahme (Abb. 1).

Bei physiologischen Achsenverhältnissen verläuft diese Linie \varnothing 2–4 mm medial des Kniegelenkzentrums. Des Weiteren werden die anatomische von der mechanischen Achse an der unteren Extremität

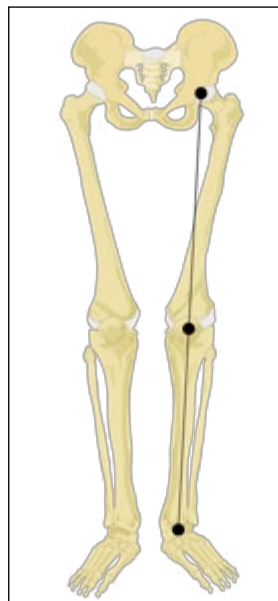


Abbildung 1: Physiologische Achsenverhältnisse

wie folgt unterschieden: Die anatomischen Achsen des Femurs und der Tibia entsprechen der Mittelschaftlinie der Röhrenknochen. Die anatomische Schaftachse von Femur und Tibia sind nicht in einer

Flucht. Aufgrund der Schenkelhalsanatomie am Femur bildet die anatomische Achse zwischen Tibia und Femur einen nach lateral geöffneten Winkel von 173–175° [12]. Die mechanische Achse des Femurs entspricht der Verbindungslinie zwischen dem Zentrum des Hüftkopfes und dem Kniegelenkzentrum und bildet mit der anatomischen Femurschaftachse physiologischerweise einen Winkel von 6° (+/-1°) [12]. An der Tibia verläuft die mechanische Tibiaachse um wenige Millimeter nach medial versetzt parallel zur anatomischen Achse der Tibia [12].

Die häufigste Achsendeviation ist die der Frontalebene und somit auch die der höchsten klinischen Bedeutung. Eine Fehlstellung (Malalignment) setzt das Vorhandensein einer signifikanten mechanischen Achsabweichung (MAD, mechanical axis deviation) voraus. Ist die mechanische Tragachse nach lateral oder medial dieses Punktes verschoben, liegt eine Valgus- oder eine Varusdeviation vor [12] (Abb. 2, 3).

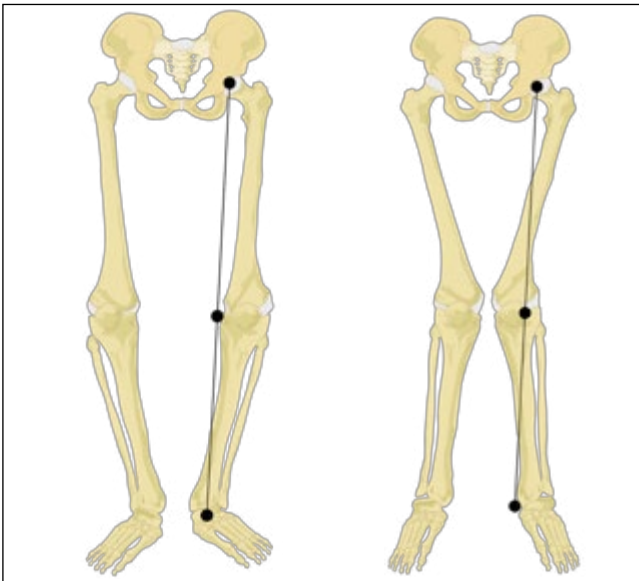


Abbildung 2: Varusdeviation (a) und Valgusdeviation (b)

Für die Unterscheidung, ob die Ursache für die Deviation femoralen oder tibialen Ursprungs ist, werden entsprechende Winkelmessungen zwischen der Kniebasislinie und den mechanischen Achsen von Tibia bzw. Femur bestimmt. Eine Abweichung der Normwerte lässt den Rückschluss auf eine femorale bzw. tibiale Pathologie zu.

Liegt beispielsweise der mechanische laterale distale Femurwinkel (= MLDFW) unter dem Normwert von 87 +/- 3°, besteht eine femorale Fehlstellung als Ursache einer Valgusdeviation vor. Die ist weitaus häufiger als ein vergrößerter mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel (= MMPTW) als Ursache der Valgusfehlstellung. Umgekehrt gilt bei einer Varusfehlstellung häufiger ein MMPTW-Winkel < 87 +/- 3°, also eine tibiale Deformität, als Ursache, wogegen ein vergrößerter MLDFW auf eine femorale Ursache hinweist [6, 8, 12, 15, 21].

Merkmale des Genu varum (O-Bein) und Genu valgum (X-Bein) sind in Tabelle 2 vermerkt.

Sagittales Alignment

In der sagittalen Ebene steht das Tibiaplateau in Relation zur Femurschaftachse nach posterior versetzt. Die tibiale Gelenkfläche ist dabei dorsal bis zu 10° nach kaudal geneigt [19] (Abb .4). Die Beurteilung des Tibia-Slopes erfolgt durch Bestimmung des anatomischen proximalen posterioren Tibiawinkels aPTW (Normwert 81°, 77°-84°) [22]. Aus biomechanischen Untersuchungen ist bekannt, dass eine Veränderung des Slopes das Roll-Gleit-Verhalten und die Kraftverteilung des tibiofemorales Gelenkes massiv beeinflusst [1].

Winkel	Norm [°]	Streuung [°]
CCD Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel	130	124–136
aMPFW Anatomischer medialer proximaler Femurwinkel	84	80–89
mLPFW Mechanischer lateraler proximaler Femurwinkel	90	85–95
aLDFW Anatomischer lateraler distaler Femurwinkel	81	79–83
mLDFW Mechanischer lateraler distaler Femurwinkel	88	85–90
MPTW Medialer proximaler Tibiawinkel	87	85–90
LDTW Lateraler distaler Tibiawinkel	89	86–92

Tabelle 1: Physiologische Achsen- und Winkelverhältnisse des Beins in der Frontalebene nach Paley D. Principles of deformity correction. Berlin–Heidelberg–New York: Springer, 2002.

Und Strecker W, Keppler P. Analyse und Korrektur von Beindeformitäten; Teil 1: Analyse. Unfallchirurg 2002;73:811 29.

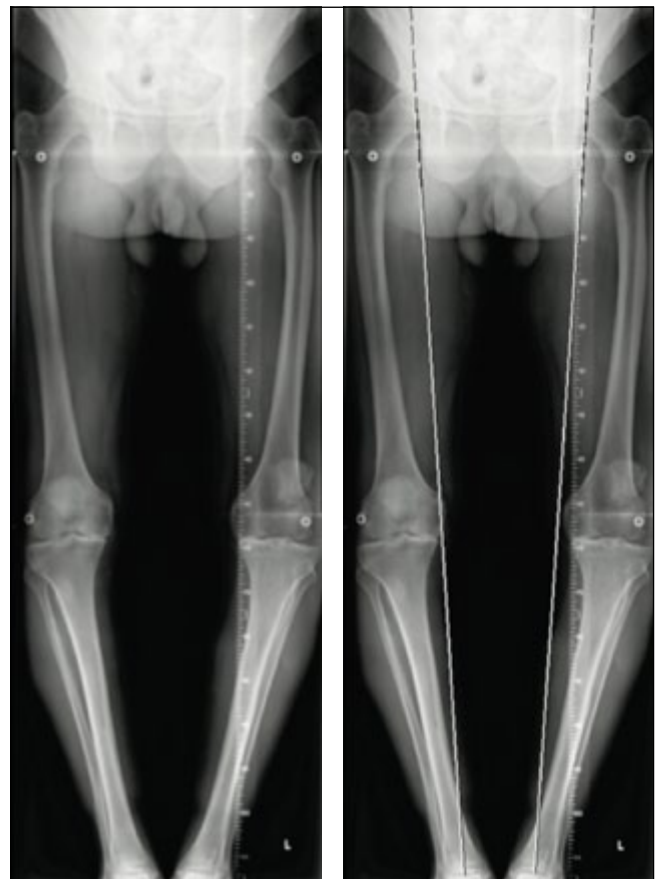


Abbildung 3: Orthoradiogramm einer beidseitigen Varusgonarthrose.

Genu varum	Genu valgum
– anatomischer femoro-tibialer Winkel > 173–175°	– anatomischer femoro-tibialer Winkel < 173–175°
– Mikulicz-Linie medial des 4-mm-Punktes,	– Mikulicz-Linie lateral 4-mm-Punktes,
– signifikant > 15 mm medial des Kniegelenkzentrums	– signifikant > 10 mm lateral des Kniegelenkzentrums

Tabella 2: (Nach Galla und Lobenhoffer, Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 2007).

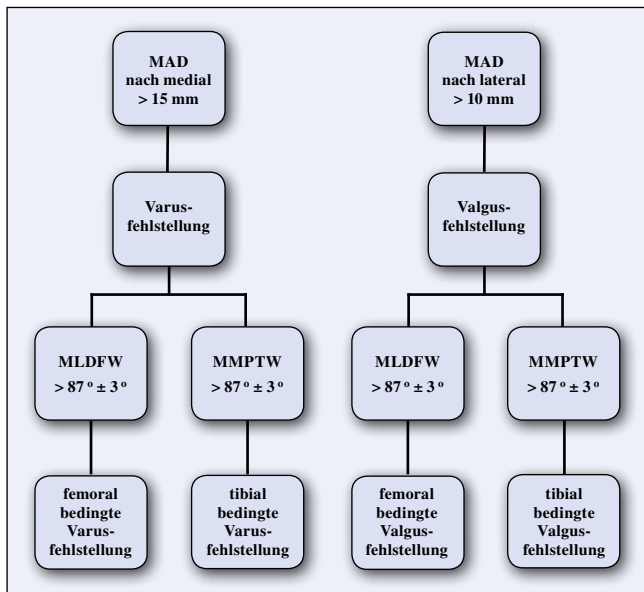


Tabella 3: (Nach Galla und Lobenhoffer, Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 2007)

Der physiologische Slope sollte deswegen, bis auf wenige Ausnahmefälle, bei einer Umstellungsosteotomie nicht verändert werden. Am Femur kann die Bestimmung des anatomischen posterioren distalen Femurwinkels (aPDFW, Normwert 83° [79–87°]) Auskunft über die Flexions-Extensions-Stellung des distalen Femurs zur anatomischen Femurachse geben [22].

Ursache der Achsendeviation:

Die Ursachen für Achsendeviation sind vielfältig und unterschiedlicher Ätiologie. Während bei Kindern vornehmlich die angeborenen Achsenfehler im Vordergrund stehen (z.B. durch vorzeitigen partiellen Epiphysenfugenschluss, Rachitis oder konstitutionell bedingt), sind bei Erwachsenen die Fehlstellungen gehäuft post-traumatisch in Folge von Destruktion von Gelenksfläche, sekundär durch Begleiterkrankungen (Chondromalazie, Knochennekrose, Knochtumor, rheumatoide Arthritis) oder ebenfalls konstitutionell bedingt. Die häufigste Ursache dieser Varus- bzw. Valgusfehlstellung sind sekundäre Knorpelschäden [12]. Diese können durch Traumata (Kniegelenksverletzung, Menishektomie), Entzündungen (bakterielle Arthritiden, chronische Polyarthritis) oder metabolischen Störungen (Gicht, Chondrokalzinose) hervorgerufen werden. Des Weiteren kann eine Lockerung des lateralen oder medialen Bandapparates zu einer Varus- bzw. Valgusfehlstellung führen.

Ursache für Gonarthrose

Gonarthrose ist eine der häufigsten Gelenkserkrankung bei älteren Menschen mit einer Prävalenz von über 30% der über 60-Jährigen [11]. Bis zur Hälfte aller über 50-Jährigen beklagen Schmerzen im Kniegelenk innerhalb des Ablaufs eines Jahres – ein Viertel davon schwere Knieschmerzen mit Bewegungseinschränkung [17]. Die Ursache für die Gonarthrose ist multifaktoriell. Sowohl konstitutionelle Faktoren wie Alter, Geschlecht, Übergewicht als auch lokale biomechanische Faktoren wie Gelenkstraumata, St. n. Menishektomie, berufs- oder freizeitbedingte Überbeanspruchung und Aligement werden als Ursache angegeben [21]. Die hohe Prävalenz der Gonarthrose und deren Auswirkung auf die Einschränkung in Beweglichkeit, Aktivität und Lebensqualität macht es essenziell, die Ursachen, die zu diesem Krankheitsbild führen, eindeutig zu benennen und entsprechende Präventivmassnahmen zu definieren.

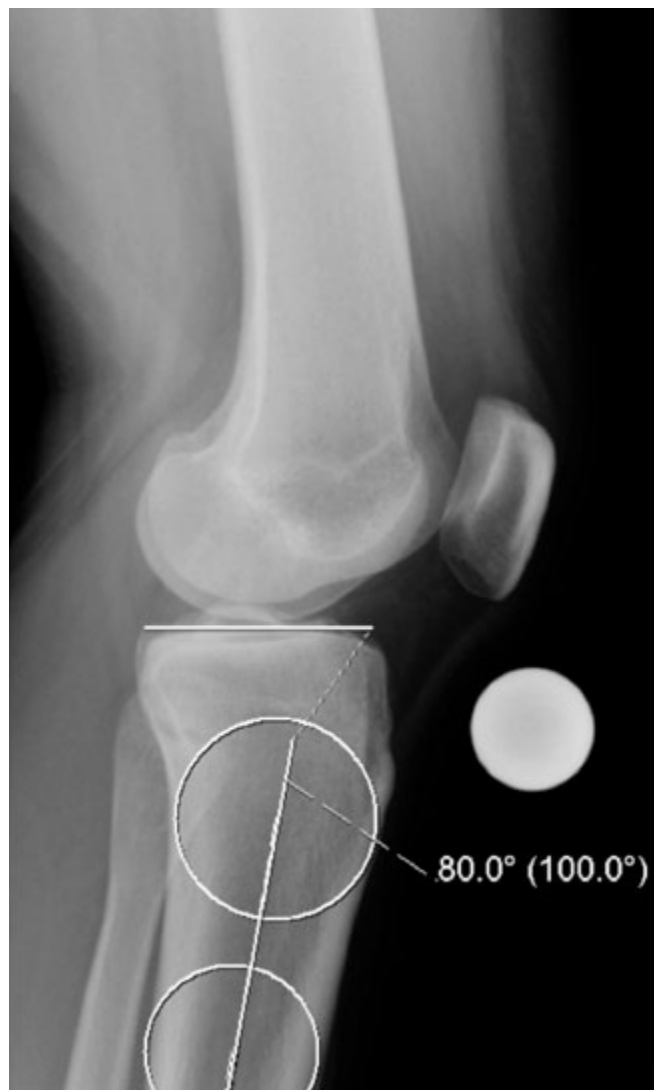


Abbildung 4: Tibial Slope.

Die Risikofaktoren zur Entstehung der Gonarthrose wurden in zahlreichen Studien und Review-Arbeiten untersucht. In einer Übersichtsarbeit von Blagojevic et al. (2010) wurden über 2000 Studien zum Thema der Risikofaktoren zur Entstehung der Gonarthrose untersucht, und es scheinen folgende Faktoren als erhöhtes Risiko zur Entstehung der Gonarthrose gesichert [3]:

- Erhöhter BMI
- Vorausgegangene Kniegelenksverletzung

- Handgelenksarthrose/Heberden-Arthrose
 - Weibliches Geschlecht
 - Alter
 - Intensive physische Aktivität
 - Kniegelenksbelastende Berufsgruppe (kniende-, hockende Tätigkeit)
 - Osteoporose/Osteopenie
- Das Malalignment der Beinachse gilt dahingegen nicht als ein gesicherter Risikofaktor zur Entstehung der Gonarthrose.

Einfluss des Alignments auf die Gonarthrose

Im physiologisch alignierten Kniegelenk werden 60–80% der übertragenen Kräfte durch das mediale Gelenkcompartment geführt [15]. Die relative Druckverteilung zwischen dem medialen und lateralen Compartment steht dabei im Verhältnis von 3:1. Die Kräfte, die auf das tibio-femorale Gelenk einwirken, sind die Folge, wie Zusammenspiel von Körpergewicht, Schwerkraftzentrum, Einfluss der Muskelkraft, Krafteinwirkung während des Gangzyklus und Gelenksalignment. Während des Gangzyklus erreicht die auf das tibio-femorale Gelenk einwirkende Kompressionskraft während der Standbeinphase ihr Maximum mit Werten bis zum 3–6-Fachen des Körpergewichts [2, 20, 25, 28].

Unphysiologisches Alignment erhöht die relative Druckverteilung auf das betroffene Gelenkcompartment [25]. Die mechanische Überlastung korreliert dabei direkt mit dem Ausmass der Achsabweichung [31] und der Abnützung des Gelenkknorpels [7]. Man nimmt an, dass diese Erhöhung der lokalen kompartmentären Krafteinwirkung den Gelenkknorpel und andere Strukturen schädigt und zu degenerativen Veränderungen führt [33]. In den meisten Publikationen und Review-Arbeiten zum Thema der Gonarthroseentstehung wird als logische Folge daraus auch eine erhöhte Inzidenz und eine Beschleunigung der Gelenksdegeneration abgeleitet [20, 25, 34]. Neuere Arbeiten, die den Zusammenhang zwischen Malalignment und Gonarthrose überprüft haben, zeigen allerdings widersprüchliche Ergebnisse:

Inzidenz

Brouwer et al. (2007) zeigten in einer grossen Kohorten-Studie, dass das Kniealignment mit der Inzidenz der Varusgonarthrose vergesellschaftet ist. Danach ist das Risiko für die Entstehung einer Varusgonarthrose bei einem varisch-alignierten Kniegelenk um das Doppelte erhöht. Im Falle eines Valgusalignmentes konnte nur eine geringe Korrelation zur Entstehung einer Valgusgonarthrose festgestellt werden [5]. Die Datenerhebung erfolgte an konventionellen Röntgenbildern von über 2600 Kniegelenken, beschränkt sich aber auf die rein radiologischen Arthrosezeichen (nach Kellgren und Lawrence).

Hunter et al. (2007) sowie Zhai et al. (2007), die den gleichen Zusammenhang sowohl konventionell radiologisch und mittels MRI-Diagnostik untersucht haben, konnten hingegen keinen signifikanten Einfluss zwischen dem Gelenksalignment und der Inzidenz der Gonarthrose oder Verlust von Knorpelvolumen feststellen [16, 36]. Ihre Daten basieren auf 475 konventionellen Röntgenuntersuchungen [16] bzw. 315 MRI-Untersuchungen [36].

Progredienz

In derselben vorher erwähnten Datenerhebung von Brouwer et al. (2007) konnte (im Gegensatz zur Inzidenz) ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem varischen Kniealignment und dem Voranschreiten einer bereits bestehenden Varusgonarthrose festgestellt werden. Im Falle eines valgischen Kniealignements und der Progression der Valgusgonarthrose liess sich dahingegen kein Zusammenhang nachweisen [5].

In einer im selben Jahr veröffentlichten Studie von Sharma et al. (2007) wurde der Zusammenhang zwischen dem valgischen Kniealignment und dem Voranschreiten der Valgusgonarthrose wiederum mit dem um den Faktor 5 erhöhten Risiko angegeben [29]!

Welches sind die Gründe für die widersprüchlichen Studienergebnisse, und auf welche Daten können wir zur Klärung der Frage nach dem Zusammenhang zwischen Kniealignment und Ursache für Gonarthrose zurückgreifen?

Tanamas et al. (2007) haben unseres Erachtens einen wesentlichen Beitrag zur Klärung der Fragen geleistet, indem sie über 500 Studien, die den Zusammenhang zwischen dem Alignment und dem Einfluss auf die Gonarthrose untersucht haben, auf Qualität, Aussagekraft und Vergleichbarkeit hin überprüft haben. 14 der untersuchten Arbeiten entsprachen den Qualitätskriterien und wurden in die Studie aufgenommen und ausgewertet.

Die Überprüfung der Daten zeigte eine nur eingeschränkte Evidenz für einen Zusammenhang zwischen Knie-Alignment und der Inzidenz einer Gonarthrose (sowohl für Varus- als auch Valgusgonarthrose). Allerdings zeigte sich eine hohe Evidenz, dass Knie-Alignment ein unabhängiger Risikofaktor für das Voranschreiten einer bereits bestehenden radiologischen Gonarthrose ist. Diese Beobachtung gilt sowohl für den Zusammenhang zwischen Varusmalalignment und der Progredienz der Varusgonarthrose als auch dem zwischen Valgusmalalignment und der Valgusgonarthrose [10, 21, 29, 32, 35]. Die von ihnen vorgestellte Arbeit stützt sich dabei auf die bis dato grösste Übersichtsarbeit und Auswertung von Studiendaten zu diesem Thema und ist in ihrer Aussage klar.

Die Gründe, welche zur Erklärung der vormalig beschriebenen widersprüchlichen Studienergebnisse herangezogen werden können, sind unterschiedlich. Zum einen sind die Ursachen im Studiendesign, was Messmethodik, Messgrösse und Definition der physiologischen Normwerte betrifft, zu suchen. Zum anderen sind es individuelle Unterschiede der Studienteilnehmer (ethnische Unterschiede, Grad der Gonarthrose zu Studienbeginn), welche den Vergleich unter den Studien erschweren.

Aus der besagten Studie von Tanamas et al. (2007) kann abgeleitet werden, dass die Unterschiede in der Messmethodik als Grund für die widersprüchlichen Studienergebnisse unwahrscheinlich sind. In Anbetracht der Tatsache, dass Studien, die anatomische, mechanische und klinische Messmethoden verwendeten, einen Zusammenhang zwischen Alignment und Progredienz der Gonarthrose nachweisen konnten [32], bei gleicher Messmethodik eine Korrelation zur Inzidenz aber nicht gesichert ist, festigt die Annahme, dass letzterer Zusammenhang nicht besteht.

Ebenso sind regionale und ethnische Unterschiede unter den untersuchten Gruppen als Grund für die inkonstante Datenlage unwahrscheinlich, da die Korrelation zwischen Malalignment und Krankheitsprogression über sehr heterogene Bevölkerungsschichten untersucht und bestätigt werden konnte [5, 16, 32, 36].

Obwohl diese Ergebnisse zeigen, dass ein Malalignment zu einem erhöhten Risiko der Progression von Gonarthrose führt, ist aber auch der Rückschluss, dass die Arthrose selber, inklusive Knorpelverlust und degenerativer Veränderungen, zu einem Malalignment führt, möglich. Dies ist umso mehr von Bedeutung, als dass eine operative Korrektur des Alignments durch Umstellungsosteotomie den Krankheitsverlauf verlangsamen kann [13, 21, 25, 32]!

Zusammenfassend gilt es festzuhalten, dass der Einfluss auf die Inzidenz aus biologischen und biomechanischen Gesichtspunkten zwar naheliegend, aber aus Sicht der «evidence based medicine» nicht eindeutig geklärt ist. Stattdessen gilt der Einfluss des Achsenalignements auf die Progredienz der Gonarthrose gemäss derzeitiger Studienlage als gesichert.

Corresponding author:

Zumstein MA: Orthopaedic Sports Medicine and Knee Surgery
Department of Orthopaedic Surgery
and Traumatology
Inselspital, University of Bern
Bern, Switzerland
matthias.zumstein@insel.ch

Literaturverzeichnis

- 1 Agneskirchner JD, Hurschler C, Stukenborg-Colsman C, Imhoff AB, Lobenhoffer P. Effect of high tibial flexion osteotomy on cartilage pressure and joint kinematics: a biomechanical study in human cadaveric knees. *Arch Orthop Trauma Surg* (2004) 3: 3–9.
- 2 Andriacchi TP. Dynamics of knee malalignment. *Orthop Clin North Am.* 1994; 25: 395–403.
- 3 Blagojevic M, Jinks C, Jeffery A, Jordan KP. Risk factors for onset of osteoarthritis of the knee in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage* 2010; 18: 24–33.
- 4 Bonin N, Selmi AS, Dejour D, Neyret P. Kniegelenknahe Flexions- und Extensionsosteotomien beim Erwachsenen. *Orthopäde* 2004; 33: 193–200.
- 5 Brouwer GM, van Tol AW, Bergink AP, Belo JN, Bernsen RM, Reijman M, Pols HA, Bierma-Zeinstra SM. Association between valgus and varus alignment and the development and progression of radiographic osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum* 2007; 56: 1204–1211.
- 6 Chao EY, Neluhani EV, Hsu RW, Paley D. Biomechanics of malalignment. *Orthop Clin North Am.* 1994; 25: 379–386.
- 7 Cicuttini F, Wluka A, Hankin J, Wang Y. Longitudinal study of relationship between knee angle and tibiofemoral cartilage volume in subjects with knee osteoarthritis. *Rheumatology* (2004) 43, 321–324.
- 8 Cooke TD, Pichora D, Siu D, Scudamore RA, Bryant JT. Surgical implications of varus deformity of the knee with obliquity of joint surfaces. *J Bone Joint Surg Br.* 1989; 71: 560–565.
- 9 Dieppe P. The classification and diagnosis of osteoarthritis. In: Kuettner KE, Goldberg VM, eds. *Osteoarthritic Disorders*. Rosemont, Ill: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 1995: 7.
- 10 Felson DT, Gale DR, Elon Gale M, Niu J, Hunter DJ, Goggins J, Lavalley MP. Osteophytes and progression of knee osteoarthritis. *Rheumatology (Oxford)* 2005; 44: 100–104.
- 11 Felson DT, Naimark A, Anderson J, Kazis L, Castelli W, and Meenan RF. The prevalence of knee osteoarthritis in the elderly: the Framingham Osteoarthritis Study. *Arthritis & Rheumatism*, vol. 30, pp. 914–918, 1987.
- 12 Galla M, Lobenhoffer P. Achsenfehlstellungen – Knie, Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 2007; 2: 21–40.
- 13 Hernigou P, Medveielle D, Debeyre J, Goutallier D. Proximal tibial osteotomy for osteoarthritis with varus deformity. A ten to thirteen-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am.* 1987; 69: 332–354.
- 14 Hofmann S, Lobenhoffer P, Staubli A und Van Heerwaarden R. Osteotomien am Kniegelenk bei Monokompartmentarthrose *Orthopäde* 2009; 38: 755–770.
- 15 Hsu RW, Himeno S, Coventry MB, Chao EY. Normal axial alignment of the lower extremity and load-bearing distribution at the knee. *Clin Orthop.* 1990; 255: 215–227.
- 16 Hunter DJ, Niu J, Felson DT, Harvey WF, Gross KD, McCree P, Alibadi P, Sack B, Zhang Y. Knee alignment does not predict incident osteoarthritis: the Framingham Osteoarthritis Study. *Arthritis Rheum* 2007; 56: 1212–1218.
- 17 Jinks C, Jordan K, Ong BN, Croft P. A brief screening tool for knee pain in primary care (KNEST). Results from a survey in the general population aged 50 and over. *Rheumatology (Oxford)* 2004; 43: 55e61.
- 18 Kuettner KE, Goldberg VM. Introduction. In: Kuettner KE, Goldberg VM, eds. *Osteoarthritic Disorders*. Rosemont, Ill: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 1995: 21–25.
- 19 Lobenhoffer P (2007): Kniegelenknahe Osteotomien. Indikation, Planung, Operationstechnik mit Plattenfixateur . Thieme Verlag Stuttgart 1. Auflage.
- 20 Maquet P. The biomechanics of the knee and surgical possibilities of healing osteoarthritic knee joints. *Clin Orthop.* 1980; 146: 102–110.
- 21 Miyazaki T, Wada M, Kawahara H, Sato M, Baba H, Shimada S. Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 2002; 61: 617–622.
- 21 Moreland JR, Bassett LW, Hanker GJ. Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity. *J Bone Joint Surg Am.* 1987; 69: 745–749.
- 22 Paley D, Pfeil C. Prinzipien der kniegelenksnahen Deformitätenkorrektur. *Orthopäde* (2000) 29: 18–38.
- 23 Pelletier JP, Martel-Pelletier J, Howell DS. Etiopathogenesis of osteoarthritis. In: Koopman WJ, ed. *Arthritis and Allied Conditions: A Textbook of Rheumatology*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins; 1997: 1969–1984.
- 24 Pietsch M, Hofmann S. Wertigkeit der radiologischen Bildgebung beim Kniegelenk für den Orthopäden. *Radiologe* (2006) 46: 55–64.
- 25 Preston CF, Fulkerson EW, Meislin R, Di Cesare PE. Osteotomy about the knee: applications, techniques, and results. *J Knee Surg.* 2005 Oct; 18 (4): 258–272.
- 26 Iorio R, MD, Healy WL, MD. Unicompartmental Arthritis of the Knee *J. Bone Joint Surg. Am.*, Jul 2003; 85 (7); 1351–1364.
- 27 Rönn K, Reischl N, Gautier E, Jacobi M. Current Surgical Treatment of Knee Osteoarthritis, *Arthritis Volume 2011*, Article ID 454873, 9 pages.
- 28 Schipplein OD, Andriacchi TP. Interaction between active and passive knee stabilizers during level walking. *J Orthop Res.* 1991; 9: 113–119.
- 29 Sharma L, Song J, Felson DT, Cahue S, Shamiyeh E, Dunlop DD. The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. *JAMA* 2001; 286: 188–95.
- 30 Staubli A, Hilaire A., Jacob C. Evolution of open-wedge high-tibial osteotomy: experience with a special angular stable device for internal fixation without interposition material. *Int Orthop.* 2010 February; 34 (2): 167–172.
- 31 Strecker W, Keppler P. Analyse und Korrektur von Beindeformitäten Teil I: Analyse, Unfallchirurg 2002 · 73: 811–829 10.1007/s00113-002-0491-7.
- 32 Tanamas S, Hanna FS, Cicuttini FM, Wluka AE, Berry P, Urquhart DM. Does Knee Malalignment Increase the Risk of Development and Progression of Knee Osteoarthritis? A Systematic Review; *Arthritis & Rheumatism (Arthritis Care & Research)* Vol. 61, No. 4, April 15, 2009, pp 459–467.
- 33 Tetsworth K, Paley D. Malalignment and degenerative arthropathy. *Orthop Clin North Am.* 1994; 25.
- 34 Wolcott M, Traub S, Efirid C. High tibial osteotomies in the young active patient, *International Orthopaedics (SICOT)* (2010) 34: 161–166.
- 35 World Health Organization, *The World Health Report 2002: Reducing Risks, Promoting Healthy Life*, WHO, Geneva, Switzerland, 2002.
- 36 Zhai G, Ding C, Cicuttini F, Jones G. A longitudinal study of the association between knee alignment and change in cartilage volume and chondral defects in a largely non-osteoarthritic population. *J Rheumatol.* 2007 Jan; 34 (1): 181–6.