

J. Wippert

Pathomechanik des Knies aus Sicht des Spiraldynamik- Konzepts

Pathomechanics of the Knee as Viewed in the Spiraldynamik Concept

Das Kniegelenk dient über die Dämpfungs- und Abstoßfunktion in besonderem Maße der natürlichen Fortbewegung. Dabei ist es durch die exponierte Position zwischen den langen Knochen starken Kräften ausgesetzt. Die achsengerechte Stabilisierung wird über die richtungsspezifische Verschraubung von Ober- gegen Unterschenkel erreicht. Wird diese Verschraubung reduziert, entstehen ungünstige Kraftvektoren und Scherkräfte, die strukturelle Schäden an Knochen und Weichteilen verursachen können. Die Reduktion bzw. Inversion der Verschraubung kann dabei von distal durch den Fuß als auch von proximal durch das Hüftgelenk bedingt sein.

The damping and push-off functions of the knee joint in particular are needed for natural locomotion. However, the knee is subjected to strong forces due to its exposed position between the long bones. It is stabilised in correct axial position by the 3D torsion orientation of the thigh to the lower leg. If this 3D torsion is reduced, unfavourable force vectors and shear forces arise that can cause structural damage to bones and soft tissue. The reduction or inversion of the 3D torsion can stem distally from the foot as well as proximally from the hip joint.

Einleitung

Um die Pathomechanik des Kniegelenks aufzuzeigen, soll anhand des Spiraldynamik®-Konzepts zuerst die biomechanische Funktionsweise erläutert werden. Die Spiraldynamik® ist ein anatomisch begründetes Konzept, das menschliche Bewegung erklärbar macht und damit die Möglichkeit bietet, funktionelle Abweichungen zu identifizieren und zu therapieren. Und das nicht nur für bestimmte Teilbereiche des Körpers oder einzelne Krankheitsbilder, sondern für den Körper als Ganzes.

Grundlegendes Verständnis der Beinachsenstabilität

Das Bein ist hohen Belastungen ausgesetzt. Es ist einerseits Hauptdämpfer im Körper mit exzentrischer Aktivität der Streckermuskulatur und andererseits Kraftgenerator und Kraftüberträger über den Quadriceps femoris in der Streckerphase. Die langen Knochen – Femur und Tibia/Fibula – sind ideal für diese Aufgaben. Durch die langen Hebel können große Kräfte generiert werden. Gleichmaßen ist aber das Kniegelenk auch diesen Hebeln ausgesetzt. Dies unterstreicht die Wichtigkeit koordinierter Füße und Hüften, da sie direkt die Stellung des Knies und der Beinachse beeinflussen. Fuß und Hüfte führen, das Gelenk dazwischen folgt [1]. Das Knie selbst trägt nicht zur Achsenstabilisierung bei, vielmehr ist die stabile Beinachse – die orthograd ausgerichtete Patella – das Resultat der koordinierten Hüft- und Fußstellung. Um dies zu erreichen, dreht der Femur nach außen, die Tibia nach innen, der Vorfuß wird in Pronation und der Rückfuß in Inversion geführt. Die Achsenstabilität

des Beines entsteht durch seine spiralschraubige Verschraubung.

Anatomische Grundlagen

Knochen

Anatomisch finden sich viele Hinweise auf die genannte Verschraubungsrichtung. Der Femur ist der größte spiralgewendelte Röhrenknochen im Körper, die Verschraubung ist dabei dreidimensional: C-Bogen in der Sagit-

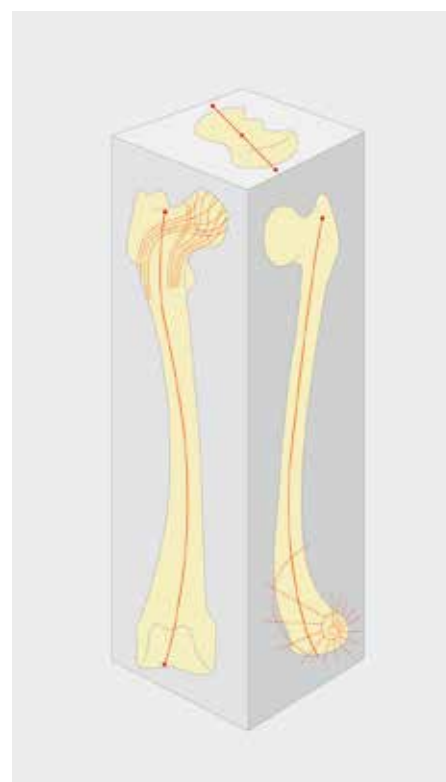


Abb. 1 Dreidimensionale Verschraubung des Femurs (Quelle: Bewegungssystem, Thieme Verlag).

talebene, S-Bogen in der Frontalebene (Neigung der Schenkelhalsachse gegen die transversale Kondylenachse) und Rotation in der Horizontalebene (Antetorsion, Abb. 1). Auch die Tibia ist verschraubt, C-Bogen in der Sagit-

alebene, S-Bogen in der Frontalebene (vom lateralen Tibeaplateau zum Malleolus medialis) und Rotation in der Horizontalebene (Tibiatorsion, Abb. 2). Die Aufgabe des Beinskeletts besteht darin, die Belastung von oben nach unten und umgekehrt zu leiten. Dies wird durch den spiraligen Verlauf der belastungsstabilen Knochenachse gewährleistet.

Gelenk

Das Kniegelenk ist ein Drehscharniergelenk. Für die Fortbewegung ist die Scharnierfunktion offensichtlich. Durch die Form der Femurkondylen (archimedische Spirale) ist die Gelenkkongruenz von Femur und Tibia im Stand groß und das Gelenk wird in dieser Position gut knöchern stabilisiert. Beugt das Knie, rollen die Femurkondylen nach hinten und gleiten gleichzeitig nach vorne. In Beugung wird die Mobilität durch die geringere Kongruenz der Gelenkflächen erreicht. Die Menisken funktionieren dabei in Beugung wie Belegscheiben, bei Streckung wie Pressfedern. Die spiralische Verschraubung entsteht in der Beugephase. Dabei wird der Femur nach außen und die Tibia nach innen gedreht. Während der Streckphase wird versucht, die Verschraubung nur gering aufzulösen.

Bänder

Die Kreuzbänder spannen sich bei zunehmender Verschraubung. Dabei schlingen sie sich umeinander und pressen die Gelenkspartner aneinander. Die Drehachse verläuft dabei durch den medialen Kondylus. Die Seitenbänder straffen sich bei Streckung und entspannen sich bei Beugung. Somit ermöglichen sie ebenfalls die Drehbewegung des Kniegelenks in Beugstellung.

Muskeln

Die mehrgelenkigen Muskeln verlaufen spiralförmig und koordinieren die funktionell wichtigen Rotationen während Beugung und Streckung. Die Hüftmuskulatur hat dabei eine klare Außenrotationsdominanz, während im Kniegelenk die Innenrotatoren überwiegen. Im Fuß spiegelt sich das gleiche Bild wider: Supination des Rückfußes durch die Schienbeinmuskeln und Pronation des Vorfußes durch die Wadenbeinmuskulatur. Die meisten Strecker sind eingelenkig und verlaufen axial. Ihre Kraft überwiegt gegenüber den Beugern, da sie sowohl für den Abstoß bei der Fortbe-



Abb. 2 Dreidimensionale Verschraubung der Tibia (Quelle: Prometheus, Thieme Verlag).

wegung als auch für das Federn beim Landen verantwortlich sind. Die Beugemuskulatur verläuft ebenfalls axial, besteht aber hauptsächlich aus mehrgelenkigen Muskeln, die innen und außen an der Tibia ansetzen. Dabei balancieren sie – wie Zügel an einem Pferdekopf – die Rotation im Kniegelenk. Dementsprechend wird die Verschraubung des Beines in der Beugung aufgebaut und reduziert sich in der Streckungsphase wieder auf die Ausgangssituation.

Grundbewegungen des Kniegelenks

Die Bewegungen im Kniegelenk stehen in Zusammenhang mit der Fortbewegung. Die Standbeinphase entspricht dabei einer Triple-Extension, die Spielbeinphase einer Triple-Flexion der unteren Extremität. Unter der Triple-Flexion ist die Flexion des Hüftgelenks und des Kniegelenks sowie die Dorsalflexion des oberen Sprunggelenks zu verstehen. Entsprechend geht die Triple-Extension mit der Extension im Hüft- und Kniegelenk und der Plantarflexion im oberen Sprunggelenk einher. Die Funktionen in diesen Stellungen sind die Dämpfung zu Beginn der Standbeinphase und der Abstoß, der die Spielbeinphase einleitet.

Bei der Triple-Flexion geht die Flexion der Hüfte mit einer Außenrotation des Femurs einher. Der Unterschenkel

beugt und dreht in die Innenrotation, während das Sprunggelenk in Dorsalextension kommt und der Rückfuß in Inversion bewegt wird. Die Bewegung wird durch den Sartorius und den Tibialis anterior geleitet. Die Verschraubung wird aufgebaut und das Bein landet rotatorisch ausgerichtet für die Gewichtsübernahme auf der Ferse. In der Standbeinphase wird das Bein in allen Gelenken gestreckt. Dabei ist die Streckung der Hüfte wieder mit einer Außenrotation des Femurs assoziiert, die Streckung des Knies mit einer Innenrotation der Tibia. Die Streckung des oberen Sprunggelenks wird ergänzt durch die Pronation des Vorfußes. Die Muskeln Tensor fasciae latae und Peroneus longus leiten dabei die Bewegung.

Der Quadriceps, die ischiocrurale Gruppe und der Gastrocnemius stellen die Kraftmuskeln des Beines dar. Sie sind zweigelenkig und bleiben damit vor dem Hintergrund der Triple-Extension und Triple-Flexion über den Verlauf des Gangzyklus immer in ihrer Mittellänge. Somit weisen sie über den gesamten Bewegungsweg eine maximale Kraftentwicklung auf.

Bild des koordinierten Kniegelenks

Statik

In der statischen Betrachtung definieren sich gerade Beine durch die gleiche Länge der Innen- und Außenlinien, die Kniescheibe steht in der Mitte und die Füße sind gerade nach vorne ausgerichtet.

Zusätzlich lässt sich das wie folgt beschreiben [1]:

- das Fersenbein ist vertikal aufgerichtet,
- die Tuberositas tibiae steht zentriert und genau in der Mitte,
- die Kondylenachse des Femurs verläuft transversal,
- die Leiste wirkt offen,
- der Trochanter ist nach hinten gedreht,
- die horizontale Gesäßfalte ist deutlich ausgeprägt.

Dynamik

In der Bewegung bleibt die Patella weiter gerade nach vorne orientiert und dreht auf keinen Fall nach innen. Der Calcaneus bleibt vertikal. Nach dem Fersenkontakt (Initial Contact), bei dem der Femur orthograd ausgerichtet bleibt, folgt die exzentrische



Abb. 3 Q-Winkel (Quelle: Molitor, Vortrag Kniekonzept).

Bremssphase (Loading Response), die über die Quergewölbemuskulatur des Fußes und den Quadriceps erfolgt. Dabei beugt das Knie leicht. In den Standbeinphasen Mid Stance bis Terminal Stance streckt sich das Knie wieder. Beim Abstoß drücken die Zehen zuletzt vom Boden ab. In der Schwungbeinphase wird das Knie anfänglich gebeugt und wird zwischen Initial Swing und Terminal Swing wieder gestreckt nach vorne geführt, um erneut mit der Ferse aufzutreffen. In der Statik wie in der Dynamik integriert sich das Knie zwischen Hüfte und Fuß, indem der Femur nach außen rotiert, die Tibia nach innen rotiert und der Rückfuß in Inversion gegen den Vorfuß in Pronation verschraubt wird.

Pathomechanische Wege und deren Ergebnisse (Diagnosen)

Die vorangegangenen Ausführungen dienen dem Verständnis des anatomisch begründeten Gebrauchs des Gelenks und vor allem seiner Abhängigkeit vom koordinierten Einsatz der Becken-Hüft-Region und des gesamten Fußes. Fehler in der Koordination distal oder proximal oder gar Koordinationsumkehr haben weitreichende Folgen, die gesondert für Statik und Dynamik erläutert werden sollen.

Statik

Im Stehen führt ein nach ventral gekipptes Becken einerseits zu einer verstärkten LWS-Lordose und andererseits zu einer Flexion im Hüftgelenk und einer Innenrotationsposition des Femurs. Die Tibia reagiert mit einer Außenrotation (Tuberositas tibiae wandert nach lateral), im Rück-

fuß kommt es zu einem Einknicken (Valgisierung des Calcaneus). Das bekannte X-Bein entsteht.

Je weiter das Becken nach ventral kippt, desto mehr sind die Knie gezwungen, in die Hyperextension auszuweichen, das Genu recurvatum entsteht. In der Kombination mit einer verstärkten Innenrotation des Femurs kommen dabei große Druckspitzen auf das mediale Kompartiment.

Dynamik

Um eine bessere Übersichtlichkeit in die Darstellung zu bringen und damit pathomechanische Wege aufzuzeigen, werden die Wirkwege – von proximal nach distal und von distal nach proximal – differenziert betrachtet. Es wird jedoch darauf verwiesen, dass sich beide Wege nicht unabhängig voneinander entwickeln, sondern der eine den anderen bedingen kann.

Ein Merkmal für die Entwicklung einer Knieproblematik scheint die Veränderung des Q-Winkels zwischen der Phase Initial Contact und der Phase Loading Response zu sein. Der Q-Winkel setzt sich aus dem Femurwinkel F (Linie SIAS zu Patellamitte zur Horizontalen) und dem Patellasehnenwinkel PS (Linie Patellamitte zu Tuberositas tibia zur Horizontalen) zusammen [4]. Der Winkel F wird über Becken und Hüfte, der Winkel PS über den Fuß beeinflusst (Abb. 3).

Zuerst werden die Auswirkungen unkoordinierten Bewegens von proximal – ausgehend vom Becken – betrachtet. Kommt es in der Standbeinphase zu einem verstärkten Ventralkippen des Beckens mit fehlender proximaler Abduktion und entsprechender Drehung des Femurs nach innen, wird die Ferse bei gestrecktem Kniegelenk aufgesetzt. Die Schläge stauchen

ungebremst das Knie- und Hüftgelenk sowie das Iliosacralgelenk und die LWS, da die Streckermuskulatur durch fehlende Kniebeugung nicht mehr zum Abfedern eingesetzt werden kann. Durch die fehlende Aktivität wird die Muskulatur v. a. der Quadriceps abgeschwächt. Die Inaktivität der Beinmuskulatur schlägt sich auch in der fehlenden exzentrischen Arbeit der Hüft-Außenrotatoren nieder; der Femur kann weiter in die Innenrotationsfehlstellung abgleiten. Damit sind das Einknicken des Fersenbeins und die Ausweichbewegung des Fußes nach außen verbunden. Der Abrollvorgang läuft nun nicht mehr über den Großzehen, sondern drückt mit jedem Schritt das Längsgewölbe in Richtung Boden. Der langfristige Verlust des Längsgewölbes führt zum Hallux valgus und zu einem Verlust der pronatorischen Verankerung des Großzehes sowie zu einer fehlenden Abstoßaktivität: Der Fuß wird mit verstärkter Außenrotation der Tibia nach vorne geführt.

Durch die Innenrotationsfehlstellung des Femurs werden die medialen Kniestrukturen überdehnt. Gleichzeitig wird die Rotationsachse des Knies durch die veränderte Schwerkraftlinie nach lateral verlagert: Am medialen Meniskus entstehen Scherkräfte, denen er durch seine verminderte Beweglichkeit (Verwachsen mit dem medialen Seitenband) ausgeliefert ist: Der mediale Femurkondylus schiebt den medialen Meniskus bei jeder Rotationsbewegung massiv nach ventral oder dorsal. Die Kreuzbänder entschauben sich bei verstärkter Innenrotation des Femurs und werden dadurch gelockert. Die dadurch entstehende schlechte interne Strukturorganisation der Bänder vermindert deren Stabilität weiter. Gleichzeitig werden durch die Lockerheit die von außen auf die Bänder wirkenden Kräfte über die Formel $\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$ multipliziert. Die Verletzungsanfälligkeit steigt und schon unspektakuläre Unfälle führen zum Riss.

Auch die Muskulatur wird durch die Fehlstellung in Mitleidenschaft gezogen: Die Innenseite wird überdehnt und die Außenseite kontrakt, wodurch die Pes anserinus-Gruppe und der Vastus medialis weiter abgeschwächt werden und der Biceps fe-

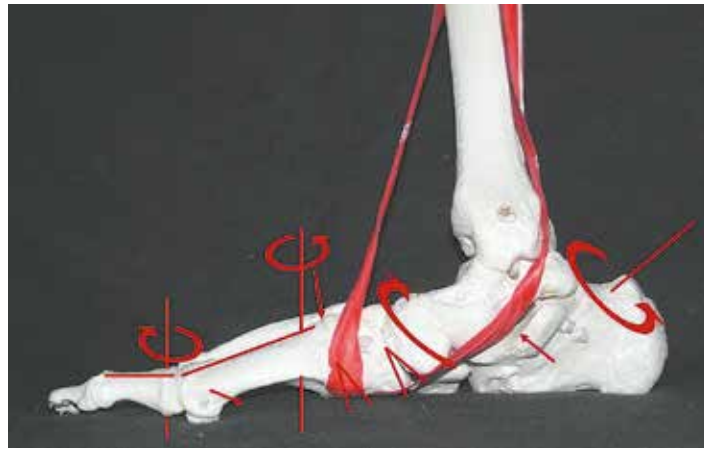


Abb. 4 Pathomechanische Wirkwege am Fuß (Quelle: Spiraldynamik® AG).

moris und der Tensor fasciae latae (TFL) verkürzen. Die Folge ist eine weitere Reduktion der Stabilität des medialen Seitenbands und eine voranschreitende Valgisierung des Knies.

Eine weitere Abschwächung erfährt der für die Zentrierung des Kniegelenks so wichtige Vastus medialis durch das Absinken des Beckens auf der Spielbeinseite. Die dadurch fehlende Exzentrik der Adduktoren auf der Standbeinseite verhindert seine Vordehnung und führt zu einer Hubinsuffizienz. Zusätzlich kommt der Vastus lateralis mehr in die Frontalebene und übernimmt als Hauptakteur die Streckung. Die Patella kann nun nicht mehr zentriert werden, sondern wird kraftvoll nach lateral gegen das femuro-patellare Gleitlager gezogen, was den dortigen Knorpel verstärkt belastet.

Nun werden die Auswirkungen unkoordinierten Bewegens von distal – ausgehend vom Fuß – betrachtet. Der valgisierte Calcaneus bei leicht nach außen gedrehtem Fuß erzeugt Valgustress auf das gebeugte Kniegelenk und weiterführend eine Innenrotationstendenz des Femurs [2]. Daneben wird der Unterschenkel durch das Absinken des Talus auf dem Calcaneus nach vorne-innen tendenziell verstärkt in die Rotation nach außen drehen. Diese Kombination – Außenrotation der Tibia und Innenrotation des Femurs – hat erneut eine Vergrößerung des Q-Winkels, ein mediales Öffnen und ein laterales Raffens zur Folge. Wie bereits oben beschrieben, wickeln sich die Kreuzbänder folgeschwer auseinander, die Drehachse verschiebt sich nach lateral und es entsteht eine muskuläre Dysbalance der patellazentrierenden Muskulatur. Der valgisierte Calcaneus ist weiterhin ursächlich verbunden mit der fehlen-

den pronatorischen Verankerung des Großzehenballens über den peroneus longus. Beides zusammen – Eversion des Calcaneus und Supination des Vorfußes – haben zuerst für den Fuß weitreichende Folgen: Verminderung bzw. Verlust der Fußverschraubung bedeutet Absinken des Längsgewölbes, Überdehnung des Tibialis posterior, Supination des Os naviculare, plantares Öffnen der Gelenke zwischen Naviculare und Cuneiforme mediale und zwischen Cuneiforme

mediale und Metatarsale I, Kompression in den dorsalen Gelenkabschnitten, Supination des Metatarsale I mit Entwicklung eines Hallux valgus sowie die Dorsalextension in den Zehengrundgelenken (Abb. 4). Der damit einhergehende Verlust der horizontalen Position des Talus zwingt die Tibia in eine relative Außenrotation, die weiterführend eine Außenrotation im Kniegelenk erzeugt und die oben beschriebenen Mechanismen unterstützt.

Bei der exzentrischen Bremsarbeit vom Initial Contact bis zur Loading Response spielt neben dem Quadriceps vor allem das muskuläre Quergewölbe des Vorfußes eine große Rolle, da es als peripherer Stoßdämpfer fungiert [3]. Fehlt diese Funktion, kommt es zu einer verstärkten Dorsalextension im oberen Sprunggelenk. Zwangsweise steigt die Belastung auf Knie- und Hüftgelenk einerseits durch das Weiterleiten des Aufpralls und andererseits durch die jetzt erforderliche zusätzliche Aktivität des Quadriceps.

Im Folgenden soll nun mit ausgewählten und bekannten Pathologien des Kniegelenks die Pathogenese anhand des vorgestellten Spiraldynamik®-Konzepts zusammengefasst werden und Behandlungsansätze skizziert werden.

Gonarthrose

Eine Ursache für eine Arthrose liegt in der einseitigen partiellen Gewichtsverteilung, die hohen Druck im Gelenk verursacht. Beim X-Bein ist das Gewicht lateral erhöht, beim O-Bein ist das Gewicht medial erhöht, bei 20 % der Betroffenen mit O-Bein, ist das Gewicht jedoch lateral erhöht. Dies steht meistens mit einer zusätzlichen Rotationsstorsion in Zusammenhang, bei der der laterale Femurcondylus auf die

Tibia gepresst wird, er steht „schräg“ in Flex auf der Tibia. Während beim X-Bein die Beinachsenaufrichtung therapeutisch mit Außenrotation Femur und Innenrotation Tibia verbunden sind, steht beim O-Bein mit Problemen im lateralen Kompartement eindeutig die Beübung der Innenrotation des Femurs im Vordergrund, da der Condylus dann in Flexions-Position flacher gestellt ist.

Chondropathia Patella / Patellaluxation

Zu hoher Anpressdruck der Kniescheibe an die Femurcondylen erzeugt Knorpelschäden. Verursacht wird das einerseits durch die dauerhaft hohe Spannung des Quadriceps oder andererseits durch die Achsabweichung durch die Rotationsumkehr. Für ersteres muss man den Muskel des Dämpfungssystems finden, der nicht effektiv arbeitet, und wieder entsprechend reaktivieren, für zweiteres ist die Stabilisation der Achse durch den Aufbau der richtigen Verschraubung mit Hüft- und Fußkorrektur maßgeblich.

Meniskusschäden

Lateralisierung der Drehachse durch Verlust der rotatorischen Stabilität der Beinachse, Dreh-Scherbewegungen über den medialen Meniskus, verminderte Mobilität im oberen Sprunggelenk und erhöhte Druckbelastung bei fehlender peripherer Dämpfung sind Hauptgründe für den Verschleiß v. a. des medialen Meniskus. Entscheidend für die Langlebigkeit der Menisken ist die korrekte Einhaltung der Beinachse, um Scherkräfte zu vermeiden.

Ansatzentzündungen

In der Muskulatur des Pes anserinus kommt es durch die Fehlstellung des Femurs und die damit einhergehende Notwendigkeit der dauerhaften Anspannung unter erhöhter Belastung zu Mikrotraumen. Das schädigt den Muskel weiter und führt langfristig zu Schmerzen. Abhilfe schaffen hier wie-

der die Achskorrektur und der zeitlich koordinierte Einsatz der die Rotation einstellenden Muskulatur.

Das Patellaspitzenyndrom kann ursächlich mit zu viel Krafteinsatz des Quadriceps bei der Dämpferfunktion verbunden sein. Anderenorts verminderte Aktivität wie z. B. fehlende Exzentrik des muskulären Quergewölbes, dämpfende Arbeit des Gastrocnemius oder der ischiocruralen Muskulatur müssen untersucht und entsprechend wieder angebahnt werden.

Das TFL-Syndrom wird verursacht durch eine Schwäche der Hüftabduktoren (Gluteus medius und minimus) in Verbindung mit einer zusätzlichen Innenrotationsfehlstellung des Femurs. Die fehlende Kraft der kleinen Gluteen kann über den die laterale Zuggurtung aufspannenden Tensor fasciae latae nicht ersetzt werden. Die Überbeanspruchung des Muskels führt zu der genannten Problematik. Abhilfe schafft hier ein gezieltes Abduktoren- und Außenrotatorentaining der Hüfte.

Zusammenfassung

Das Knie als Opfer von dem, was oberhalb und unterhalb passiert, von Hüftgelenksstabilisation und Fußverschraubung, von koordinierter Außenrotation und Innenrotation muss diagnostisch und therapeutisch auch so angegangen werden. Die Messung der Veränderung des Q-Winkels über den Schrittverlauf für die primäre Lokalisation der Ursache stellt eine Möglichkeit dar, das Problem gezielter anzugehen. Therapeutisch ist jedoch immer das Zusammenspiel aller kranialen und kaudalen Parameter von Bedeutung.

Der Autor:

*Dr. phil. Jens Wippert
Elementhera GbR
Eisenmannstr. 4
80331 München
jw@elementhera.de*

LITERATUR:

- [1] Heel Ch. Lehrbuch zum Neuen Denkmodell der Physiotherapie. Band 1: Bewegungssystem, Herausgeber Antje Hüter-Becker. Stuttgart: Thieme Verlag Stuttgart, 2002
- [2] Larsen Ch. Prävention von Fußdeformitäten. München: Pflaum Verlag. Krankengymnastik 1998; 50 (9): 1534-1544
- [3] Larsen, Ch. Koxartrose: Periphere Dämpfung – zentrale Belastung. München: Pflaum Verlag. Krankengymnastik 1998; 50 (11)
- [4] Molitor D. Das Kniekonzept. Ein analytisches Verfahren zum Nachweis der Wirkweise von Einlagen bei Kniebeschwerden. Vortrag auf dem Weltkongress Orthopädie + Reha-Technik, Leipzig, 2012