

Johanna Husa<sup>1,2</sup>, Ueli Isenegger<sup>1</sup>, Thomas Ukelo<sup>1</sup>, Alex Stacoff<sup>1</sup>, Edgar Stüssi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Biomechanik, ETH Zürich

<sup>2</sup> Institut der Biomedizin, Universität von Kuopio, Finnland

# Gemeinsamkeiten und geschlechtsspezifische Unterschiede in der Kinematik zwischen Sportlern mit und ohne Patellofemorales Schmerzsyndrom (PFPS)

## Zusammenfassung

Diese Studie untersuchte mittels ausgewählter kinematischer Parameter geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen Sportlern (n = 9) und Sportlerinnen (n = 12) mit dem Patellofemorales Schmerzsyndrom (PFPS) und zwei schmerzfreien Kontrollgruppen (m: n = 11; w: n = 9) beim barfüssigen Laufen. Generell zeigen die Resultate, dass grössere Bewegungsumfänge (ROM) an den unteren Extremitäten *nicht* mit PFPS in Verbindung gebracht werden können. Gewisse Resultate weisen im Gegenteil darauf hin, dass PFPS insbesondere bei weiblichen Sportlern durch kleinere Bewegungen (maximale Tibia-Innenrotation, ROM Rückfuss-Eversion) begünstigt werden kann. Vergleicht man jedoch Frauen mit Männern, zeigen weibliche Sportler mit PFPS signifikant grössere ROM Knie-Innenrotation im Vergleich zu den Männern mit PFPS. Auch bezüglich Knie-, Hüft- und Tibia-Innenrotation haben Frauen mit PFPS tendenziell grössere Bewegungsumfänge als Männer mit PFPS, hingegen weisen die Männer mit PFPS bei der Rückfuss-Eversion grössere Bewegungsumfänge auf. Die Frauen der Kontrollgruppe zeigen signifikant grössere Maximalwerte in der Hüft-Innenrotation im Vergleich zur männlichen Kontrollgruppe; sechs von sieben anderen Parametern unterstützen dieses Argument tendenziell (jedoch nicht signifikant). Die vorliegenden Resultate geben einen Hinweis dafür, dass einige selektive kinematische Parameter an Rückfuss, Knie und Hüfte mit der Ätiologie von PFPS geschlechtsspezifisch in Verbindung gebracht werden können.

## Abstract

This study examined kinematic gender differences between male (n = 9) and female (n = 12) athletes with the patellofemoral pain syndrome (PFPS) and two healthy control groups (m: n = 11; f: n = 9) during barefoot running. The results show that generally larger ranges of motion (ROM) at the lower extremity can *not* be related with PFPS. On the contrary, specific results show that PFPS in females may be associated with decreased movements (maximal internal tibial rotation, ROM rearfoot eversion). However, when comparing males and females, females with PFPS have significantly larger ROM of knee internal rotation compared with males with PFPS. Further, when considering knee, hip and tibial internal rotation, females with PFPS have a tendency towards larger values than males with PFPS, who, in contrast, have larger eversion at the rearfoot. Females of the control group show significantly larger maximal values of hip internal rotation in comparison to the male control group; six out of seven other parameters supported this finding (although not significantly). The present results indicate that selected kinematic parameters at the rearfoot, knee and hip may be gender specific and can be associated with the aetiology of PFPS.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 56 (2), 50–55, 2008

## Einleitung

Die jährliche Verletzungshäufigkeit im Laufsport wird auf rund 30% bis 80% geschätzt (Mayer et al., 2001; Taunton et al., 2003; Lun et al., 2004), wobei der am häufigsten betroffene Körperteil das Knie ist (Thomeé et al., 1999). Diese Grössenordnung an Verletzungen ist kürzlich durch eine schweizerische Studie bestätigt worden, bei der 20% der 654 befragten Läufer regelmässig und 50% manchmal Knieschmerzen aufwiesen (Gross et al., 2004). Ein Grossteil der Kniebeschwerden steht in Verbindung zum patellofemorales Gelenk (Clement et al., 1981). Dieser Schmerzzustand im vorderen Teil des Knies wird als das Patellofemorales Schmerzsyndrom bezeichnet (*PFPS*) und tritt öfter bei Frauen als bei Männern auf (Peltokallio, 2003; Bohnsack et al., 2005). Da das Laufen eine der beliebtesten Breitensportarten ist, hat die Verletzungshäufigkeit auch eine hohe sozioökonomische Relevanz.

Über das patellofemorales Gelenk werden im Gehen und Laufen erhebliche Kräfte übertragen, wobei die multiplen Komponenten des Gelenks in einer komplexen Wechselwirkung miteinander funktionieren (Biedert et al., 2004a). Eine Störung dieses Zusammenspiels kann zu diversen orthopädisch-medizinischen Problemen führen (Biedert, 2004b). PFPS wird meistens durch den Ausschluss anderer Pathologien diagnostiziert, weil kein Konsens bezüglich einer Definition und Klassifizierung vorliegt (Crossley et al., 2001; Näslund et al., 2006). Dies hat wiederum die Ätiologie aus biomechanischer Sicht erschwert und es wird angenommen, dass es mehrere ätiologische Faktoren gibt, welche zur Pathologie im patellofemorales Gelenk führen können (Stergiou, 1996; Lee et al., 2003).

Aus kinematischer Sicht scheinen folgende Faktoren mit der Entstehung von PFPS in Zusammenhang zu stehen: die Innenrotation der Tibia (Stergiou, 1996; Hintermann und Nigg, 1998; Stefanyshyn et al., 1999a; Heiderscheit et al., 2002) und die In-

nenrotation des Femurs (Moussa, 1994; Powers et al., 2002; Lee et al., 2003; Cibulka und Threlkeld-Watkins, 2005; Wilson und Davis, 2008). Durch eine vergrösserte Tibia-Innenrotation wird der distale Teil der Patella nach medial gedreht, was den Druck der medialen Gelenkfläche der Patella auf die mediale Femurkondyle vergrössert (Abb. 1). Während einer Tibia-Aussenrotation würde sich der Druck der distalen lateralen Gelenkfläche der Patella erhöhen (Abb. 1). Eine Innenrotation des Femurs verursacht einen grösseren Druck auf der lateralen Gelenkfläche der Patella gegen die laterale Femurkondyle, und bei der Aussenrotation des Femurs geschieht eine umgekehrte Bewegung, welche die Patella medial drückt (Lee et al., 2003). Wenn diese Phänomene wiederholt auftreten, kann es zu patellofemorale Problemen führen (Clement et al., 1981).

Während der Standphase beim Laufen treten die maximale Rückfuss-Eversion (Rückfuss-valgus nach Hepp und Debrunner, 2004) und die maximale Knieflexion normalerweise nahezu gleichzeitig auf (Stergiou et al., 2003). Die Tibia-Innenrotation begleitet diese Bewegungen, verursacht durch die Bewegungsübertragung (Kopplung) des Rückfusses (Hintermann und Nigg, 1998). Falls jedoch die Rückfuss-Eversion und damit die Tibia-Innenrotation zeitlich länger stattfinden als die Knieflexion, tritt für das Knie ein mechanisches Problem auf, weil die in der Mitte der Standphase beginnende Knieextension eine Tibia-Aussenrotation bewirkt (McClay und Manal, 1997; Stergiou und Bates, 1997). Dies führt zu einer Art «Verwirrung» im Kniegelenk, stellt eine Art unphysiologische zeitliche Kopplung dar und wird ebenfalls als eine mögliche Ursache für PFPS betrachtet (Hamill et al., 1999; Stergiou et al., 2003).

Es ist allgemein bekannt, dass Frauen beweglicher sind als Männer und beispielsweise grössere Bewegungsumfänge in den Sprunggelenken im Vergleich zu den Männern aufweisen (Grimston et al., 1993). Daraus lässt sich schliessen, dass Frauen mehr unter PFPS leiden müssten als Männer. Diese Vermutung wird bei Peltokallio (2003) und Bohnsack et al. (2005) bestätigt; somit könnten grosse Bewegungsumfänge als Ursache von PFPS geltend gemacht werden. Andererseits tritt PFPS aber auch bei Männern auf, was zum Schluss führt, dass auch kleinere Bewegungsumfänge verantwortlich für Schmerzen sein könnten. Dazu gibt die Literatur zurzeit noch keinen Aufschluss. Ausser bei zwei Ausnahmen (Heiderscheit et al., 2002; Powers et al., 2002) wurden bei den aktuellen Studien Frauen und Männer nicht separat ausgewertet (Stergiou, 1996) oder es wurden keine Angaben über die Verteilung der Frauen und Männer in der Patientengruppe gemacht (Stefanyshyn et al., 1999a, b).

Aufgrund der aus der Literatur entstandenen Fragestellungen scheint es sinnvoll, mögliche geschlechtsspezifische Eigenschaften bei der Auswertung zu berücksichtigen. Daher ist das Ziel dieser Studie, ausgewählte kinematische Parameter zwischen männlichen und weiblichen PFPS-Patienten während des barfüssigen Laufens zu vergleichen. Folgende Hypothesen wurden formuliert:

1. Frauen (Männer) der PFPS-Gruppe zeigen signifikant grössere Bewegungsumfänge in ausgewählten kinematischen Parametern gegenüber Frauen (Männern) der Kontrollgruppe,

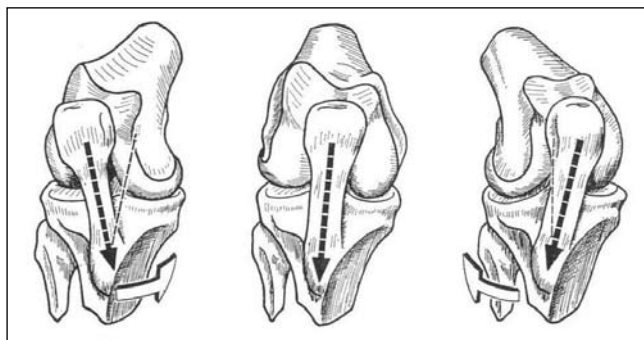


Abbildung 1: Links: Tibia-Innenrotation. Mitte: neutrale Position. Rechts: Tibia-Aussenrotation (rechtes Bein von vorne; Kapandji, 1985).

2. Frauen der PFPS-Gruppe zeigen in ausgewählten kinematischen Parametern signifikant grössere Bewegungsumfänge als Männer der PFPS-Gruppe, und
3. Frauen der Kontrollgruppe zeigen in ausgewählten kinematischen Parametern signifikant grössere Bewegungsumfänge als Männer der Kontrollgruppe.

Die Resultate sollen diskutiert werden im Hinblick auf die Variabilität wiederholter Messungen an gesunden Probanden und anhand eines kritischen Grenzwertes, welcher von Stacoff et al. (2007) bestimmt wurde.

## Methode

### Probanden

Zwei Gruppen von Probanden wurden für diese Studie gebildet; zum einen eine Kontrollgruppe mit gesunden Läufern und zum anderen eine PFPS-Gruppe mit Sportlern. Es wurden Sportler rekrutiert, die ein Laufpensum von mindestens 20 km/Woche (Frauen) bzw. 30 km/Woche (Männer) absolvierten. Die beschwerdefreie Kontrollgruppe setzte sich aus neun weiblichen und elf männlichen Probanden zusammen; die PFPS-Gruppe hatte zwölf Frauen und neun Männer. In der PFPS-Gruppe waren sieben Frauen und fünf Männer unilateral, fünf Frauen und vier Männer bilateral verletzt. Sechzehn der Sportler waren Läufer und fünf übten andere Sportarten, zum Beispiel Basketball oder Kampfsport, aus. Es gab keine signifikanten Unterschiede bezüglich Alter, Grösse und Gewicht in den zwei Gruppen von Probanden (Tab. 1).

Um andere mögliche symptomatische Einflüsse auszuschliessen, wies kein Proband der Studie eines der folgenden Merkmale im Kniebereich auf: chirurgische Eingriffe jeglicher Art, Gelenkschwelbe oder Erguss, Band- oder Meniskusläsionen, Frakturen, Weichteilverletzungen, frische Distorsion oder Kontusion, Patella-Luxation, radiologisch dokumentierte Arthrose, Bursitis, Tendinitis, Apophysitis, Algodystrophie, Osteonekrosen, Kristallarthropathie, Plica Impingement. Die Untersuchung der PFPS-Patienten erfolgte durch anerkannte Sportmediziner der RehaZeno, Zürich, sowie der SportClinic, Zürich. Die Studie wurde durch die Ethik-Kommission der ETH Zürich bewilligt.

### Untersuchungsablauf

Die kinematischen Messungen wurden mittels einer umfassenden Ganganalyse (Kinematik, Kinetik, EMG) im Bewegungslabor des Instituts für Biomechanik, ETH Zürich, durchgeführt. Die für diese Studie relevante Versuchsbedingung war das barfüssige Laufen. Die Probanden liefen bei selbst gewählter Geschwindigkeit (Fersenlauf) entsprechend einem Grundlagen-Ausdauer-Training über eine Distanz von etwa 25 m pro Versuch. Pro Bedingung hatte der Proband mindestens zehn gültige Versuche zu absolvieren, je zehn rechts und zehn links. In der Mitte der Laufstrecke fand die Aufzeichnung der Kinematik, der Kinetik und des EMG über 3–4 Schritte hinweg gleichzeitig statt. Für weitere Details des Untersuchungsablaufs wird auf Bachmann et al. (2008) in dieser Ausgabe verwiesen. Eine für die Probanden typische Geschwindigkeit wurde bewusst gewählt, da die Schmerzen in der Patientengruppe in einem selbst gewählten Tempo auftraten und so nach Meinung der Autoren ein natürlicherer interindividueller kinematischer Vergleich gemacht werden konnte.

	Gruppe 1 Kontroll- gruppe Männer	Gruppe 2 PFPS- Gruppe Männer	Gruppe 3 Kontroll- gruppe Frauen	Gruppe 4 PFPS- Gruppe Frauen
n	11	9	9	12
Alter [J]	35 ± 8.7	28 ± 8.3	34 ± 8.1	31 ± 6.8
Grösse [cm]	182.3 ± 4.8	185.1 ± 4.9	167.0 ± 5.2	166.6 ± 5.6
Gewicht [kg]	75.3 ± 7.1	77.8 ± 9.6	59.3 ± 5.8	56.3 ± 4.2

Tabelle 1: Beschreibung der Probanden der vorliegenden Untersuchung.

### Kinematik-Aufnahme und Auswertung

Als dreidimensionales Bewegungsanalysesystem wurde das VI-CON MX System (Oxford, England) verwendet; die Aufnahmen erfolgten mit einer Frequenz von 100 Hz. Die Probanden wurden mit Markern bestückt, dann folgten je zwei Aufnahmen in neutraler Stehposition und mit ausgerichteten Füßen und sogenannten Basic Motion Tasks zur Bestimmung der Gelenkzentren und -achsen von Hüft-, Knie- und Fussgelenken (Bachmann et al., 2008). In der Auswertung wurden die kinematischen Daten mit Gait Events (Heel Strike, Toe Off) in Stand- und Schwungphase unterteilt. In der Datenverarbeitung wurden die Bewegungen von Rückfuss, Tibia, Femur und Becken und die Relativbewegungen von Rückfuss zu Tibia, von Tibia zu Femur und von Femur zu Becken beim Laufen barfuss berechnet und grafisch dargestellt (Abb. 2 und 3, Beispiele zu Rückfuss-Tibia-Bewegungen sind bei List et al. (2008) in dieser Ausgabe zu finden). Aus diesen Kurven wurden die maximalen und die minimalen Werte extrahiert, und

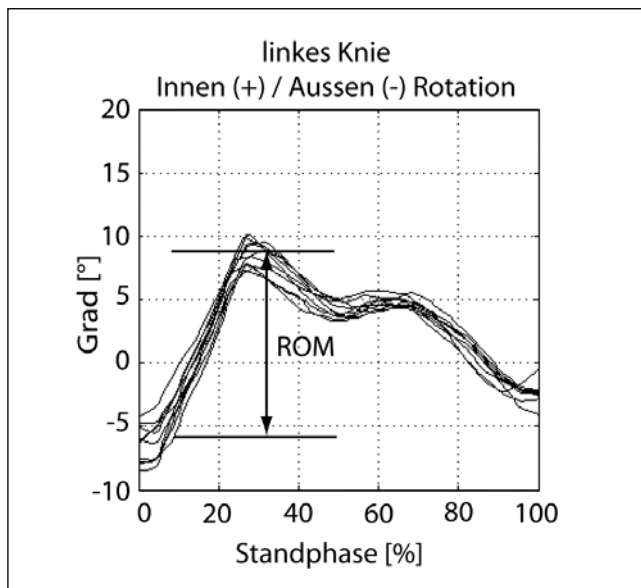


Abbildung 2: Berechnung des Range of Motion (ROM) am Beispiel der Knie-Innenrotation (Tibia relativ zum Femur) in den ersten 50% der Standphase, 10 Wiederholungen eines Probanden.

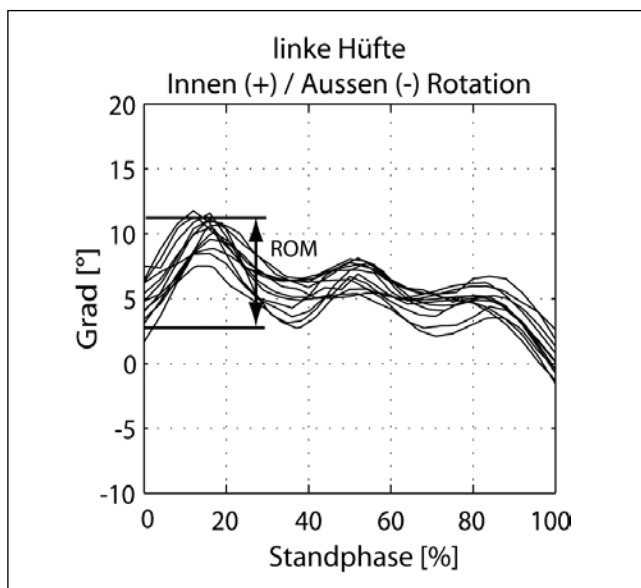


Abbildung 3: Berechnung des Range of Motion (ROM) am Beispiel der Hüft-Innenrotation (Femur relativ zum Becken) in den ersten 50% der Standphase, 10 Wiederholungen eines Probanden.

somit konnte das maximale Bewegungsausmass (ROM) während der Standphase berechnet werden.

Weil in der Standphase vor allem zu Beginn Belastungen auftreten, die schmerzauslösend sein können, wurde das Hauptaugenmerk der Auswertung auf die ersten 50% der Standphase gelegt. Die Grafiken der übereinander aufgetragenen Kurven der einzelnen Trials der jeweiligen Testbewegung wurden visuell kontrolliert und überprüft, ob die Bewegungsmuster der einzelnen Trials untereinander übereinstimmen.

Um einen möglichen Unterschied zwischen dem linken und rechten Bein und die dadurch entstandene Verfälschung der Mittelwerte zu vermeiden, wurde in der Kontrollgruppe jeweils das rechte Bein für die statistische Auswertung gewählt. In der PFPS-Gruppe wurde bei bilateralen Beschwerden das schmerzhaftere Bein und, wenn beide Beine gleich viel schmerzten, das rechte Bein für die Auswertung gewählt. Bei unilateralen Beschwerden wurde verständlicherweise das Bein mit Beschwerden ausgewertet.

Die ausgewerteten Parameter umfassten jeweils die Maximalwerte der Rückfuss-Eversion, Tibia-Innenrotation, Knie-Innenrotation und Hüft-Innenrotation und den jeweiligen Range of Motion (ROM; Bewegungsausmass). Die Benennung und Beschreibung der Parameter ist in der Tabelle 2 aufgezeigt.

Parameter	Beschreibung
Maximum bzw. Minimum der Rückfuss-Eversion (EVa Max)	Maximum bzw. Minimum der Inversions-Eversions-Kurve des Rückfusses relativ zum Unterschenkel
ROM der Rückfuss-Eversion (EVa ROM)	Differenz zwischen Maximum und Minimum der Inversions-Eversions-Kurve des Rückfusses relativ zum Unterschenkel
Maximum bzw. Minimum der Tibia-Innenrotation (IRt Max)	Maximum bzw. Minimum der Innen-Aussenrotationskurve des Rückfusses relativ zum Unterschenkel
ROM der Tibia-Innenrotation (IRt ROM)	Differenz zwischen Maximum und Minimum der Innen-Aussenrotationskurve des Rückfusses relativ zum Unterschenkel
Maximum bzw. Minimum der Knie-Innenrotation (IRk Max)	Maximum bzw. Minimum der Innen-Aussenrotationskurve des Unterschenkels relativ zum Femur
ROM der Knie-Innenrotation (IRk ROM)	Differenz zwischen Maximum und Minimum der Innen-Aussenrotationskurve des Unterschenkels relativ zum Femur
Maximum bzw. Minimum der Hüft-Innenrotation (IRh Max)	Maximum bzw. Minimum der Innen-Aussenrotationskurve des Oberschenkels relativ zum Becken
ROM der Hüft-Innenrotation (IRh ROM)	Differenz zwischen Maximum und Minimum der Innen-Aussenrotationskurve des Oberschenkels relativ zum Becken

Tabelle 2: Definition und Beschreibung der kinematischen Parameter.

### Resultate

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der untersuchten Parameter, sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche sind in der Tabelle 3 aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass sich die Männer mit PFPS von der männlichen Kontrollgruppe in keinem Parameter signifikant unterscheiden (Vergleich Gruppe 1 zu 2). Die Mittelwerte dieser Gruppen zeigten kleine Unterschiede, ausser bei den Maximalwerten der Tibia-Innenrotation (IRt Max), wo die Kontrollgruppe einen um 5.2° grösseren Mittelwert zeigte (12.7° im Vergleich zu 7.5°; allerdings mit jeweils grossen Streuungen). Bei den Frauen mit PFPS im Vergleich zur weiblichen Kontrollgruppe (Gruppe 3 zu 4) wurde ein signifikanter Unterschied bei den Maximalwerten der Tibia-Innenrotation gefunden, wo die Kontrollgruppe grössere Werte aufwies. Ferner wiesen bei diesen beiden Gruppen die Maximalwerte und ROM der Rückfuss-Eversion tendenziell signifikante Werte ( $p < 0.1$ ) zwischen den Gruppen auf. Es ist zu sehen, dass bei der ROM Rückfuss-Eversion (Eva

Parameter	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	p-Wert			
	Kontrollgruppe Männer	PFPS-Gruppe Männer	Kontrollgruppe Frauen	PFPS-Gruppe Frauen	1 vs 2	3 vs 4	2 vs 4	1 vs 3
EVa Max	3.6 ± 2.3	4.5 ± 3.6	2.0 ± 3.3	4.2 ± 1.8	ns	p < 0.1	ns	ns
EVa ROM	9.6 ± 1.8	7.8 ± 4.3	10.6 ± 5.1	6.0 ± 5.2	ns	p < 0.1	ns	ns
IRt Max	12.7 ± 5.6	7.5 ± 8.8	15.2 ± 6.0	10.2 ± 4.0	ns	p < 0.05	ns	ns
IRt ROM	7.6 ± 1.7	7.0 ± 2.9	8.4 ± 2.7	9.4 ± 3.4	ns	ns	ns	ns
IRk Max	3.6 ± 2.4	2.9 ± 4.8	4.5 ± 3.7	6.3 ± 3.2	ns	ns	p < 0.1	ns
IRk ROM	8.2 ± 3.1	7.9 ± 2.0	10.2 ± 5.0	10.6 ± 2.2	ns	ns	p < 0.05	ns
IRh Max	9.0 ± 4.6	11.0 ± 7.0	14.8 ± 4.3	14.2 ± 6.4	ns	ns	ns	p < 0.05
IRh ROM	5.1 ± 2.4	6.7 ± 3.6	5.7 ± 2.9	6.8 ± 3.8	ns	ns	ns	ns

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der untersuchten Parameter der verschiedenen Gruppen, und p-Werte der Gruppenvergleiche. EVa Max = maximale Rückfuss-Eversion, EVa ROM = ROM der Rückfuss-Eversion, IRt Max = maximale Tibia-Innenrotation, IRt ROM = ROM der Tibia-Innenrotation, IRk Max = maximale Knie-Innenrotation, IRk ROM = ROM der Knie-Innenrotation, IRh Max = maximale Hüft-Innenrotation, IRh ROM = ROM der Hüft-Innenrotation, ns = nicht signifikant.

ROM) die weiblichen Sportler der Kontrollgruppe grössere Werte aufwiesen, bei den Maximalwerten der Rückfuss-Eversion (EVa Max) dagegen diejenigen der PFPS-Gruppe.

Weiter ist ersichtlich, dass sich die weiblichen und männlichen Sportler mit PFPS (Gruppe 2 und 4) signifikant durch das ROM der Knie-Innenrotation (IRk ROM) voneinander unterschieden, wo die Frauen grössere Werte aufwiesen. Eine Tendenz in die gleiche Richtung zeigten die Maximalwerte der Knie-Innenrotation (IRk Max). Beim Vergleich zwischen den männlichen und weiblichen Kontrollgruppen (Gruppe 1 und 3) kam ein signifikanter Unterschied zum Vorschein und zwar bei den Maximalwerten der Hüft-Innenrotation (IRh Max), wobei die Frauen grössere Werte aufwiesen im Vergleich zu den Männern.

**Diskussion**

In der vorliegenden Arbeit wurden kinematische Unterschiede bei Sportlern, die unter PFPS leiden, gegenüber gesunden Sportlern des gleichen Geschlechts verglichen, um eine mögliche geschlechtsspezifische mechanische Ätiologie prüfen zu können. Die Auswertung wurde für das Laufen barfuss ausgeführt, obwohl die Beschwerden in der Regel während des Laufens mit Schuhen auftreten. Da die Probanden jedoch vorgängig zur Untersuchung über längere Zeit die Beschwerden hatten, wurde angenommen, dass sie auch während des barfüssigen Laufens ein ähnliches Bewegungsmuster zeigten wie beim Laufen mit Schuhen. Ebenso wurde davon ausgegangen, dass die Sportler mit PFPS dasselbe Bewegungsmuster wie mit Schmerzen zeigten, obwohl sie während der Messung schmerzfrei waren. So konnten auch mögliche akute schmerzvermeidende Reaktionen vermieden werden (siehe auch Stensdotter et al., 2007).

Die männlichen Sportler mit PFPS unterschieden sich nicht signifikant von den gesunden Sportlern (Gruppe 1 zu 2). In der Verteilung der Werte ist aber diejenige des ROM der Hüft-Innenrotation (IRh ROM) auffällig (Abb. 4): Die Werte bei der PFPS-Gruppe sind tendenziell grösser und haben einen breiteren Verteilungsbereich als die der Kontrollgruppe, und die Standardabweichungen sind vor allem in der PFPS-Gruppe gross. Interessant war auch, dass ein Sportler mit PFPS eine maximale Hüft-Aussenrotation statt eine maximale Innenrotation machte, was zu einer auffällig grossen Streuung führte (in der Abb. 4 mit \* gekennzeichnet).

Zu Hypothese 1: Wenn man die Differenzen der Mittelwerte der Parameter zwischen den Gruppen berechnet, bekommt man für die Maximalwerte der Tibia-Innenrotation (IRt Max) für die Männer (Gruppe 1 zu 2) und Frauen (Gruppe 3 zu 4) ein Differenz von 5.2° beziehungsweise 5.0° zugunsten der Kontrollgruppe (Tab. 3). Diese Werte sind deutlich grösser als ein sogenannter kritischer Grenzwert von rund 3°, der als Mass für wiederholte Messungen derselben Person gilt (Stacoff et al., 2007). Bei den Frauen waren diese Unterschiede signifikant (Abb. 5), bei den Männern waren die Streuungen dafür zu gross.

Eher unerwartet ist, dass bei den Maximalwerten der Tibia-Innenrotation (IRt Max) die beiden PFPS-Gruppen 2 und 4 klei-

neren Werte im Vergleich zu gesunden Sportlern zeigten (Tab. 3). Dies ist auch der Fall beim ROM Rückfuss-Eversion (EVa ROM), wo besonders die Frauen eine Tendenz zu kleineren Werten aufwiesen. Damit muss die erste Hypothese, dass die Frauen (Männer) der PFPS-Gruppe gegenüber Frauen (Männern) der Kontrollgruppe in kinematischen Parametern signifikant grössere Bewegungsumfänge zeigen, für beide Geschlechter verworfen werden. Dies wird unterstützt durch zwei Studien, in denen einerseits kleinere Maximalwerte in der Knie-Innenrotation in der PFPS-Gruppe beim barfüssigen Laufen und beim Laufen mit Schuhen im Vergleich zu

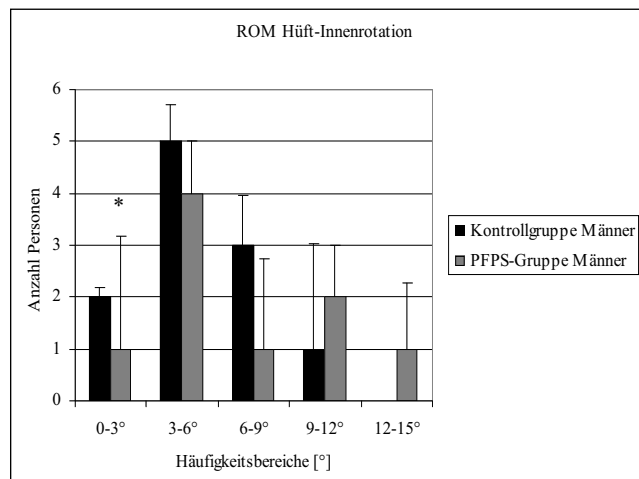


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der männlichen Sportler mit PFPS und der männlichen Kontrollgruppe in verschiedenen Bereichen in Grad mit Standardabweichung beim ROM Hüft-Innenrotation. Ein Stern [\*] zeigt an, dass im Bereich 0–3° ein Patient mit einer Hüft-Aussenrotation die Standardabweichung erhöht.

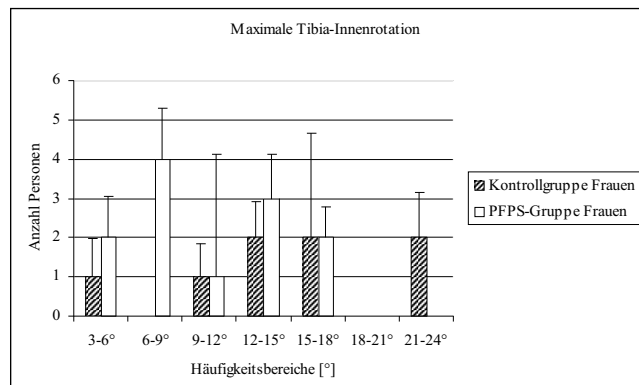


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der weiblichen Sportler mit PFPS und der weiblichen Kontrollgruppe in verschiedenen Bereichen in Grad mit Standardabweichung bei der maximalen Tibia-Innenrotation.

den Gesunden gefunden worden sind (Stefanyshyn et al., 1999b) und andererseits kleinere Maximalwerte der Tibia- und Knie-Innenrotation beim Laufen mit Schuhen im Bein mit Beschwerden im Vergleich zum gesunden Bein festgestellt worden sind (Heiderscheidt et al., 2002). Die Ergebnisse waren aber in beiden Studien nicht signifikant und es wurden nicht Frauen und Männer separat ausgewertet. Die vorliegende Studie und die oben erwähnten zwei Studien zeigen trotzdem einen Hinweis dafür, dass PFPS durch reduzierte Bewegungen begünstigt werden kann.

Zu Hypothese 2: Beim Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Sportlern mit PFPS (Gruppe 2 zu 4) fällt auf, dass ein signifikanter Unterschied im Bereich des Knies gefunden wurde: ROM der Knie-Innenrotation (IRk ROM, Tab. 3, Abb. 6). Die weiblichen Sportler wiesen signifikant grössere Werte als die männlichen Sportler auf, die Maximalwerte der Knie-Innenrotation zeigten zudem eine Tendenz zu grösseren Werten bei den weiblichen im Vergleich zu den männlichen Sportlern mit PFPS (Tab. 3).

Aus Abbildung 6 ist ersichtlich, dass die Männer und Frauen mit PFPS klar ihre eigenen Bereiche bezüglich ROM der Knie-Innenrotation haben, und dass somit die Hypothese 2 für diesen Parameter (IRk ROM) angenommen werden kann. Für die anderen Parameter gilt dies nicht.

Bei der Tibia-Rotation waren insgesamt vier Männer mit PFPS (Gruppe 2) vorzufinden, die eine maximale Knie-Aussenrotation statt eine entsprechende Innenrotation machten, was bei den Frauen (Gruppe 4) nicht vorkam. Dieses Phänomen kann aber zurzeit noch nicht erklärt werden.

Zu Hypothese 3: Der Vergleich zwischen den gesunden männlichen und weiblichen Sportlern wies nur einen signifikanten Unterschied auf: Gruppe 1 zu 3, IRh Max, Hüft-Innenrotation (Tab. 3, Abb. 7), wo die Frauen erwartungsgemäss grössere Werte aufwiesen ( $5,8^\circ$ ), was klar über dem kritischen Grenzwert von  $3^\circ$  (nach Stacoff et al., 2007) liegt. Der analoge Vergleich bei Patienten ergab einen nicht signifikanten Unterschied von  $3,2^\circ$ . Andererseits waren

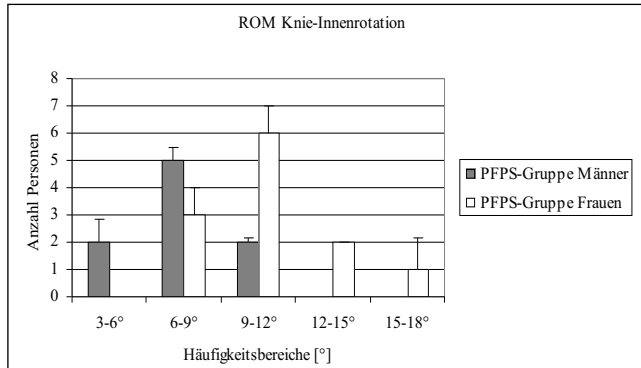


Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der männlichen und weiblichen Sportler mit PFPS in verschiedenen Bereichen in Grad mit Standardabweichung beim ROM Knie-Innenrotation.

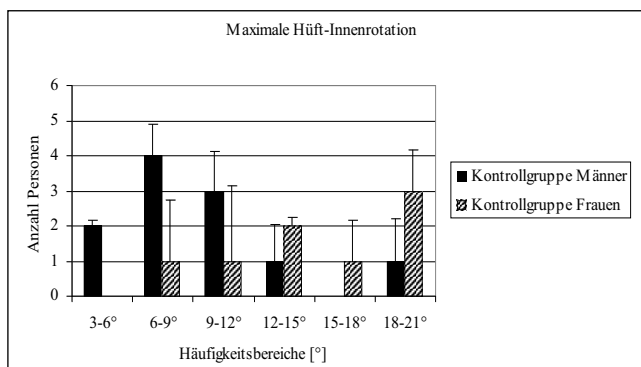


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der weiblichen und männlichen Kontrollgruppe in verschiedenen Bereichen in Grad mit Standardabweichung bei der maximalen Hüft-Innenrotation.

die Knie-Parameter, welche zwischen weiblichen und männlichen Sportlern mit PFPS signifikant waren, beziehungsweise eine Tendenz gezeigt hatten (Gruppe 2 zu 4), zwischen gesunden Männern und Frauen (Gruppe 1 zu 3) nicht signifikant. Die Frauen zeigten aber auch hier grössere Werte im Vergleich zu den Männern, wie auch in allen anderen Parametern, ausgenommen die Maximalwerte der Rückfuss-Eversion. In der Literatur wird die allgemein grössere Beweglichkeit der Frauen erklärt durch eine bessere Flexibilität der Muskulatur und der Bänder (Wang et al., 1993) und/oder durch eine veränderte Beinachsenstellung im Vergleich zu den Männern (Peltokallio, 2003; Tillman et al., 2005). Damit kann die Hypothese 3 für die Hüft-Innenrotation angenommen werden; andere Parameter unterstützen die Beobachtung bezüglich einer grösseren Beweglichkeit bei Frauen im Vergleich zu Männern.

## Schlussfolgerungen

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass generell grössere Bewegungsumfänge im Laufen an Rückfuss, Knie und Hüfte bei Frauen und Männern (Hypothese 1) nicht mit dem Auftreten von PFPS in Verbindung gebracht werden können. Im Gegenteil weisen gewisse Resultate darauf hin, dass PFPS bei weiblichen Sportlern auch durch kleinere (maximale Tibia-Innenrotation, ROM Rückfuss-Eversion) Bewegungsumfänge begünstigt werden kann.

Vergleicht man jedoch Frauen mit Männern, kann die Hypothese 2 für den Parameter ROM Knie-Innenrotation angenommen werden, da weibliche Sportler mit PFPS (Gruppe 4) gleichwohl signifikant grössere Bewegungsumfänge im Vergleich zu den Männern mit PFPS (Gruppe 2) aufweisen. Tendenziell haben Frauen mit PFPS auch bezüglich Knie-, Hüft- und Tibia-Innenrotation grössere Bewegungsumfänge als Männer mit PFPS, hingegen weisen die Männer mit PFPS bei der Rückfuss-Eversion grössere Bewegungsumfänge auf.

Frauen der Kontrollgruppe (Gruppe 3) zeigen signifikant grössere Maximalwerte in der Hüft-Innenrotation im Vergleich zur männlichen Kontrollgruppe (Gruppe 1), und damit kann die Hypothese 3 für diesen Parameter angenommen werden. Sechs von sieben anderen Parametern unterstützen dieses Argument tendenziell (jedoch nicht signifikant).

Die vorliegenden Resultate geben einen Hinweis darauf, dass einige selektive Parameter an Rückfuss, Knie und Hüfte mit der Ätiologie von PFPS geschlechtsspezifisch in Verbindung gebracht werden können.

## Danksagung

Die Autoren möchten sich für die medizinische Unterstützung durch das RehaZeno, Zürich, und die SportClinic, Zürich, bedanken. Ausserdem gilt der Dank der Eidgenössischen Sportkommission (ESK) für ihre finanzielle Unterstützung.

## Korrespondenzadresse:

Johanna Husa, Institut für Biomechanik, ETH Hönggerberg HCI E 355.1, 8093 Zürich

## Literaturverzeichnis

- Bachmann C., Gerber H., Stacoff A. (2008): Labormessmethoden und ausgewählte Beispiele zur instrumentierten Ganganalyse. Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 56 (2).
- Biedert R.M., Friedrich, N.F. (2004a): Anatomy. In: Patellofemoral disorders, diagnosis and treatment, R.M. Biedert (ed). Southern Gate, Chichester: Wiley.
- Biedert R.M. (2004b): Pathogenesis of patellofemoral pain. In: Patellofemoral disorders, diagnosis and treatment, R.M. Biedert (ed). Southern Gate, Chichester: Wiley.

- Bohnsack M., Börner C., Rühmann O., Wirth C.J. (2005): Patellofemorales Schmerzsyndrom. *Orthopäde* 34: 668–676.
- Cibulka M.T., Threlkeld-Watkins J. (2005): Patellofemoral pain and asymmetrical hip rotation. *Phys. Ther.* 85: 1201–1207.
- Clement D.B., Taunton J.E., Smart G.W., McNicol K.L. (1981): A survey of overuse running injuries. *Phys. Sports Med.* 9: 47–58.
- Crossley K., Bennell K., Green S., McConnell J. (2001): A systematic review of physical interventions for patellofemoral pain syndrome. *Clin. J. Sport Med.* 11: 103–110.
- Grimston S.K., Nigg B.M., Hanley D.A., Engsborg J.R. (1993): Differences in ankle joint complex range of motion as a function of age. *Foot & Ankle* 14: 215–222.
- Gross T., Keiser C., Strübi A. (2004): Situationsanalyse der Kniebeschwerden im Schweizer Laufsport. ETH Zürich, Bewegungs- und Sportwissenschaften. Diplomarbeit.
- Hamill J., van Emmerik R.E., Heiderscheit B.C., Li L. (1999): A dynamical systems approach to lower extremity running injuries. *Clin. Biomech.* 14: 297–308.
- Heiderscheit B.C., Hamill J., van Emmerik R.E.A. (2002): Variability of stride characteristics and joint coordination among individuals with unilateral patellofemoral pain. *J. Appl. Biomech.* 18: 110–121.
- Hepp W.R., Debrunner H.U. (2004): Orthopädisches Diagnostikum. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 7. Auflage.
- Hintermann B., Nigg B.M. (1998): Pronation in runners. *Sports Med.* 26: 169–176.
- Kapandji I.A. (1985): The physiology of the joints. Volume two. Churchill Livingstone, Edinburgh.
- Lee T.Q., Morris G., Csintalan R.P. (2003): The influence of tibial and femoral rotation on patellofemoral contact area and pressure. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 33: 686–693.
- List R., Unternährer S., Ukelo T., Wolf P., Stacoff A. (2008): Erfassen der Vor- und Rückfussbewegungen im Gehen und Laufen. Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 56 (2).
- Lun V., Meeuwisse W.H., Stergiou P., Stefanyshyn D. (2004): Relation between running injury and static lower limb alignment in recreational runners. *Br. J. Sports Med.* 38: 576–580.
- Mayer F., Grau S., Baur H., Hirschmüller A., Horstmann T., Gollhofer A., Dickhuth H. (2001): Verletzungen und Beschwerden im Laufsport. *Deutsches Ärzteblatt* 98: 1254–1159.
- McClay I., Manal K. (1997): Coupling parameters in runners with normal and excessive pronation. *J. Appl. Biomech.* 13: 109–124.
- Moussa M. (1994): Rotational malalignment and femoral torsion in osteoarthritic knees with patellofemoral joint involvement. A CT scan study. *Clin. Orthop.* 176–183.
- Näslund J., Näslund U., Odenbring S., Lundeberg T. (2006): Comparison of symptoms and clinical findings in subgroups of individuals with patellofemoral pain. *Physiother. Theory Pract.* 22: 105–118.
- Peltokallio P. (2003). Patellofemoraalinen kipusyndrooma. In: *Tyypilliset urheiluvammat, Teil I. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala, 1. Auflage.* 369–381.
- Powers C.M., Chen P.-Y., Reischl S.F., Perry J. (2002): Comparison of foot pronation and lower extremity rotation in persons with and without patellofemoral pain. *Foot Ankle Intl.* 23: 634–640.
- Stacoff A., Bachmann C., List R., Ukelo T., Stüssi E., Wolf P. (2007): Day-to-day variability of kinematic variables in running. *Proceedings of the VIII Footwear Biomechanics Symposium, Taipei, Taiwan*, 131.
- Stefanyshyn D., Stergiou P., Nigg B.M., Wiley J.P., Mohtadi N.G. (1999a): Knee joint moments and patellofemoral pain syndrome in runners. Part I: A case control study. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Footwear Biomechanics, University of Calgary*, 86–87.
- Stefanyshyn D., Stergiou P., Lun V.M.Y., Meeuwisse W.H., Nigg B.M. (1999b): Knee joint moments and patellofemoral pain syndrome in runners. Part II: A prospective cohort study. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Footwear Biomechanics, University of Calgary*, 86–87.
- Stensdotter A., Hodges P., Öhberg F., Häger-Ross C. (2007): Quadriceps EMG in open and closed kinetic chain tasks in women with patellofemoral pain. *J. Mot. Behav.* 39: 194–202.
- Stergiou P. (1996): Biomechanical factors associated with patellofemoral pain syndrome in runners. The University of Calgary, Canada. Unpublished Master Thesis.
- Stergiou N., Bates B.T. (1997): The relationship between subtalar and knee joint function as a possible mechanism for running injuries. *Gait Posture* 6: 177–185.
- Stergiou N., Bates B.T., Kurz M. J. (2003): Subtalar and knee joint interaction during running at various stride lengths. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 43: 319–326.
- Taunton J.E., Ryan M.B., Clement D.B., McKenzie D.C., Lloyd-Smith D.R., Zumbo B.D. (2003): A prospective study of running injuries: the Vancouver Sun Run «In Training» clinics. *Br. J. Sports Med.* 37: 239–244.
- Thomé R., Augustsson J., Karlsson J. (1999): Patellofemoral pain syndrome. A review of current issues. *Sports Med.* 28: 245–262.
- Tillmann M.D., Bauer J.A., Cauraugh J.H., Trimble M.H. (2005): Differences in lower extremity alignment between males and females – potential predisposing factors for knee injury. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 45: 355–359.
- Wang S.S., Whitney S.L., Burdett R.G., Janosky J.E. (1993): Lower extremity muscular flexibility in long distance runners. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 17: 102–107.
- Wilson J.D., Davis I.S. (2008): Lower extremity mechanics of females with and without patellofemoral pain with progressively greater task demands. *Clin. Biomech.* 23: 203–211.