
Evaluation geschlechtsspezifischer Differenzen der Biomechanik des Laufens bei verschiedenen Geschwindigkeiten

(AZ 070122/10)

Dominic Gehring & Albert Gollhofer (Projektleiter)

Universität Freiburg, Institut für Sport und Sportwissenschaft

Problem

Innerhalb eines Jahres leiden 37–56 % aller Läuferinnen und Läufer an Überlastungsschäden, welche zu einer Einschränkung oder Einstellung des Trainings führen (Nigg, 2001). Interessanterweise wird die am häufigsten diagnostizierte laufinduzierte Knieverletzung, das Patellofemorale Schmerzsyndrom (PFSS), verstärkt bei Frauen beobachtet (Taunton et al., 2002). Betrachtet man die Gesamtschau aller möglichen in der wissenschaftlichen Literatur diskutierten Risikofaktoren des Patellofemorales Schmerzsyndroms, so lassen sich anatomische, biomechanische sowie trainingsbedingte Faktoren identifizieren (Hreljac et al., 2000).

Bezüglich der Lauf-Biomechanik lassen Ergebnisse einer sowohl retrospektiv als auch prospektiv angelegten Studie den Schluss zu, dass die Kniegelenksbelastung der Frontalebene während des Laufens als Prädiktor des PFSS gewertet werden kann (Stefanyshyn et al., 2006). In jener Untersuchung konnte festgestellt werden, dass es einen Zusammenhang zwischen Kniegelenksimpuls (Integration des Gelenkmoments während des Bodenkontaktes) in der Frontalebene und dem Auftreten des PFSS gibt. Diejenigen Athletinnen und Athleten, welche PFSS hatten bzw. entwickelten, wiesen einen signifikant erhöhten externen Adduktionsimpuls im Vergleich zu asymptomatischen Läuferinnen bzw. Läufern auf. Eine spezifische Unterscheidung zwischen den Geschlechtern wurde jedoch nicht vorgenommen. In einer weiteren biomechanischen Studie verglichen Ferber et al. (2003) zwar die Gelenkskinematik und -kinetik der unteren Extremitäten zwischen Männern und Frauen, gingen jedoch nicht speziell auf die Gelenkimpulsgestaltung in der Frontalebene ein. Demzufolge liegen bis zum heutigen Zeitpunkt keine Untersuchungen vor, welche diesen Parameter als Prädiktor des PFSS zwischen männlichen und weiblichen Läufern untersuchten. Zu vermuten wäre, dass eine bei Frauen verstärkte Hüftadduktion und Knieabduktion während des Bodenkontaktes (Ferber et al., 2003; Chumanov et al., 2008) in Zusammenhang mit einer erhöhten Kniegelenksbelastung der Frontalebene stehen könnte (Stefanyshyn et al., 2006).

Somit besteht ein eindeutiges Forschungsdefizit bezüglich der Evaluation geschlechts- und geschwindigkeitstypischer Laufmuster, welche die Mechanik von Hüft- und Kniegelenk berücksichtigt. Ziel der Studie war es somit, in einem komplexen bewegungsanalytischen Ansatz die Gelenkskinematik und Gelenkskinetik von Hüft- und Kniegelenk in der Frontalebene zwischen Frauen und Männern bei verschiedenen Laufgeschwindigkeiten zu vergleichen.

Methode

An der Studie nahmen 16 männliche und 16 weibliche Probanden teil, die als erfahrene Läufer mit einem Laufpensum von mind. 50 km/Woche eingestuft werden konnten. Orthopädische oder neurologische Pathologien durften bei Studienteilnahme nicht vorliegen. Die Probandinnen und Probanden führten jeweils 10 gültige Versuche bei einer durch eine Lichtschranke kontrollierten Geschwindigkeit von 3, 4 bzw. 5 m/s durch. Hierbei wurde mittels eines bewegungsanalytischen Ansatzes die Gelenkinematik und -kinetik des rechten Beines während des Bodenkontaktes mit einer Kraftmessplatte (AMTI, Waterton, USA) bestimmt. Hierzu wurden retroreflektierende Hautoberflächenmarker (\varnothing 14mm) auf Rückfuß, Unterschenkel, Oberschenkel und Hüfte aufgebracht und hiermit die Gelenkskinematik berechnet (MX-Kameras; Vicon Motion Systems; 200 Hz). Über einen invers-dynamischen Ansatz wurden ferner die Gelenkmomente von Knie- und Hüftgelenk bestimmt (Bodybuilder, Vicon Motion Systems). Für die statistische Datenauswertung wurden die maximalen Gelenkmomente der Frontalebene sowie der Impuls (Integration des Gelenkmomentes über die Zeit) extrahiert. Zur statistischen Analyse der Zielparameter wurde eine Varianzanalyse mit dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht (männlich, weiblich) und dem Innersubjektfaktor Geschwindigkeit (3, 4, 5 m/s) verwendet. Hierbei wurde ein Signifikanzniveau von 5 % festgesetzt.

Ergebnisse

Kinematik

Die Hüftadduktion sowohl zu Beginn des Bodenkontaktes als auch in ihrer maximalen Ausprägung während der Standphase war bei Läuferinnen signifikant ausgeprägter als bei Läufern ($p < 0,003$; siehe Abb. 1). Am Kniegelenk zeigte sich ein gegenläufiges Bild. Schon zu Beginn des Bodenkontaktes wiesen die Frauen eine weniger adduzierte Positionierung auf ($p = 0,001$), welche sich auch in der maximalen Adduktionsstellung widerspiegelte ($p = 0,001$; siehe Abb. 1). Eine Interaktion von Geschlecht x Geschwindigkeit konnte nicht festgestellt werden.

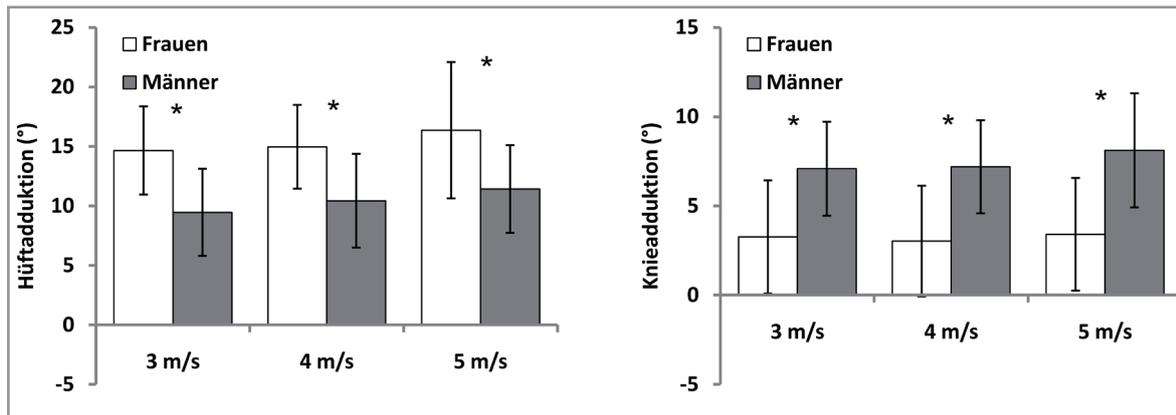


Abb. 1. Darstellung der signifikant unterschiedlichen maximalen Hüftadduktion (links) und Knieadduktion (rechts) während des Bodenkontaktes zwischen den Geschlechtern bei den verschiedenen Laufgeschwindigkeiten. Positive Werte entsprechen einer Adduktion, negative Werte einer Abduktion.

Gelenkmomente

Das maximale Hüftadduktionsmoment war bei den Läuferinnen im Vergleich zu Läufern signifikant erhöht ($p = 0,003$; Abb. 2). Hierbei zeigt sich auch ein Geschlecht \times Geschwindigkeits-Interaktionseffekt: Während die Erhöhung des Gelenkmoments der Frauen bei der niedrigsten Geschwindigkeit lediglich +55 % betrug, so stieg die Differenz auf +69 % bei der mittleren und +82 % bei der hohen Geschwindigkeit an ($p = 0,015$). Andererseits war der Gesamtimpuls der Hüftkinetik in der Frontalebene bei den Frauen lediglich bei der niedrigen Geschwindigkeit (+20 %) erhöht (Geschlecht \times Geschwindigkeits-Interaktion: $p = 0,034$).

Bezüglich des Kniegelenks zeigte sich eine Tendenz zu erhöhten maximalen initialen Adduktionsmomenten bei Frauen ($p = 0,070$; Abb. 2).

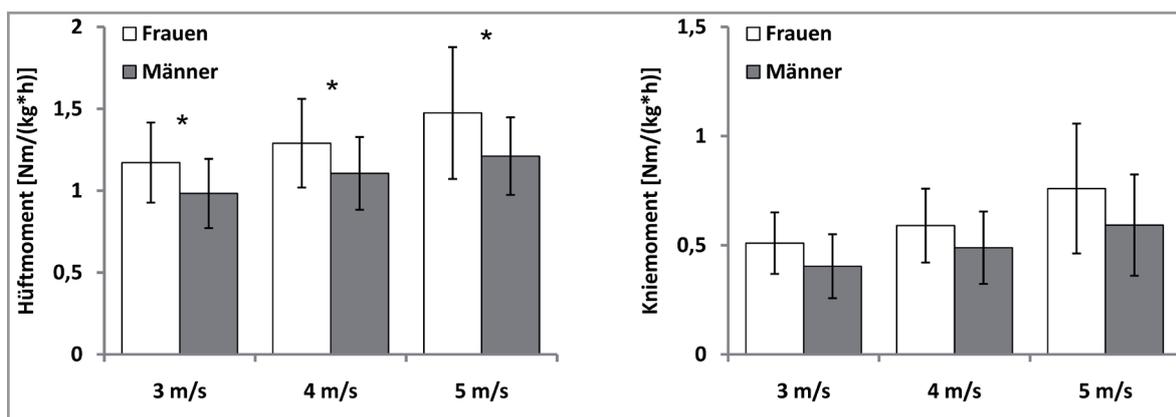


Abb. 2. Darstellung der signifikant unterschiedlichen maximalen Hüftadduktionsmomente (links) sowie der tendenziell unterschiedlichen ersten Moment-Spitze der Knieadduktion (rechts) zwischen Männern und Frauen.

Nahezu unabhängig von der Laufgeschwindigkeit war diese Moment-Spitze bei den Frauen um ca. 25 % erhöht. Der Gesamtimpuls der Knieadduktion war nicht unterschiedlich zwischen den weiblichen und männlichen Athleten.

Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Laufcharakteristik zwischen weiblichen und männlichen Läufern zu evaluieren. Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung geht klar und eindeutig hervor, dass Männer und Frauen unterschiedliche Winkelstellungen in Hüft- und Kniegelenk während der Phase des Bodenkontaktes einnehmen. Diese Diskriminierung der beiden Gruppen zeigte sich nicht nur in der maximalen Ausprägung der Gelenkwinkelstellung in der mittleren Standphase, sondern bereits zu Beginn des Bodenkontaktes. Aus den vorliegenden Daten ist aber auch abzuleiten, dass die geschlechtsspezifischen Differenzen unabhängig von der gewählten Laufgeschwindigkeit sind. Somit erweitert dies die Ergebnisse von Chumanov et al. (2008) und Ferber et al. (2003): In jenen Arbeiten konnte beim Gehen und bei geringeren Laufgeschwindigkeiten (bis 3,6 m/s) gezeigt werden, dass sich geschlechtsspezifische Bewegungsmuster unabhängig von der Belastung manifestieren. Es erscheint wahrscheinlich, dass anatomische Unterschiede zwischen den Geschlechtern diese Ergebnisse beider Studien erklären (Merchant et al. 2008), jedoch bedarf es hierzu weiterer grundlegender Untersuchungen welche auch die aktive neuromuskuläre Gelenkkontrolle mit berücksichtigen.

Bei der Betrachtung der Kniegelenkskinetik fällt auf, dass der Adduktionsimpuls (Integral unter der Moment-Zeit-Kurve) bei Frauen zwar nicht generell jedoch bei reduzierter Geschwindigkeit erhöht war. Bei der langsamen Laufgeschwindigkeit von 3 m/s hatten die weiblichen Athleten einen im Durchschnitt um 13 % erhöhten Gelenksimpuls. Mit zunehmender Belastung (Belli et al., 2002) wurde der Impuls – vor allem aufgrund einer bei Frauen verstärkten Verkürzung der Bodenkontaktzeit – der männlichen Gruppe angeglichen. Die mittlere Amplitude des Adduktionsmomentes war bei Frauen somit gleichermaßen erhöht wie die passiven Moment-Spitzen, die kurz nach Beginn des Bodenkontaktes auftreten. Somit scheint der in Zusammenhang mit Verletzungen diskutierte rasante Anstieg der Gelenkmomente zu Beginn der Bodenkontaktphase (Noehren et al., 2007) bei Frauen deutlicher als bei Männern ausgeprägt zu sein.

Noch deutlicher als beim Kniegelenk zeigten sich die Adduktionsmomente der Hüfte bei den Frauen vergrößert. Zieht man die zusätzlich schon stärker adduzierte Hüftgelenksposition hinzu, so ergibt sich eine zwischen Männern und Frauen vollkommen unterschiedliche mechanische Situation der Hüft-Belastung.

Inwieweit diese phänomenologischen Ergebnisse auf eine in klinischem Maße relevante unterschiedliche Gelenksbelastung zwischen Frauen und Männern schließen lassen, muss vor dem Hintergrund der vorliegenden Studie reflektiert werden. So wurden in dieser Studie gesunde Läuferinnen und Läufer verglichen, welche als erfahrene Sportlerinnen/Sportler mit hohem Trainingsumfang charakterisiert werden können. Es kann folglich nicht ausgeschlossen werden, dass das hier beobachtete für Frauen typische Laufmuster im Rahmen der geschlechtsspezifisch

physiologisch tolerierbaren Grenzen liegt. Nichtsdestotrotz, nimmt man die männlichen Läufer als Referenz, so passen die Abweichungen der weiblichen Athleten in die gängigen Erklärungsmodelle zur Entstehung von Überlastungsverletzungen im Laufsport (Powers, 2003; Noehren et al., 2007; Stefanyshyn et al., 2006). Weiterführende Studien zur Klärung von Verletzungsmechanismen und Risikofaktoren von Überlastungsverletzungen im Laufsport unter besonderer Berücksichtigung des Faktors Geschlecht sind daher anzuraten.

Die aktuelle Studie konnte zeigen, dass die Biomechanik des Laufens auch bei Lauferfahrenen geschlechtsspezifische Charakteristika aufweist. Frauen hatten eine stärker adduzierte Hüftstellung, eine reduzierte Knieadduktion sowie teilweise erhöhte Gelenkmomente bei verschiedenen Laufgeschwindigkeiten. Diese Untersuchung deckt somit geschlechtsspezifische Bewegungsmuster beim Laufen auf, welche in zukünftigen Studien unter dem Gesichtspunkt der Verletzungsprävention von Laufverletzungen bei Männern und Frauen berücksichtigt werden sollten.

Literatur

- Belli, A., Kyröläinen, H. & Komi, P. V. (2002). Moment and power of lower limb joints in running. *International journal of sports medicine*, 23 (2), 136-141.
- Chumanov, E. S., Wall-Scheffler, C. & Heiderscheit, B. C. (2008). Gender differences in walking and running on level and inclined surfaces. *Clinical biomechanics (Bristol., Avon.)*, 23 (10), 1260-1268.
- Ferber, R., Davis, I. M. & Williams, D. S., III (2003). Gender differences in lower extremity mechanics during running. *Clinical biomechanics (Bristol., Avon.)*, 18 (4), 350-357.
- Hreljac, A., Marshall, R. N. & Hume, P. A. (2000). Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (9), 1635-1641.
- Merchant, A. C., Arendt, E. A., Dye, S. F., Fredericson, M., Grelsamer R. P., Leadbetter, W. B., Post, W. R. & Teitge, R. A. (2008). The female knee: anatomic variations and the female-specific total knee design. *Clinical orthopaedics and related research*, 466 (12), 3059-3065.
- Nigg, B. M. (2001). The role of impact forces and foot pronation: a new paradigm. *Clinical journal of sport medicine*, 11 (1), 2-9.
- Noehren, B., Davis, I. & Hamill, J. (2007). ASB clinical biomechanics award winner 2006 – Prospective study of the biomechanical factors associated with iliotibial band syndrome. *Clinical biomechanics (Bristol., Avon.)*, 22 (9), 951-956.
- Powers, C. M. (2003). The influence of altered lower-extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: a theoretical perspective. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 33 (11), 639-646.
- Stefanyshyn, D. J., Stergiou, P., Lun, V. M., Meeuwisse, W. H. & Worobets, J. T. (2006). Knee angular impulse as a predictor of patellofemoral pain in runners. *The American journal of sports medicine*, 34 (11), 1844-1851.
- Taunton, J. E., Ryan, M. B., Clement, D. B., McKenzie, D. C., Lloyd-Smith, D. R. & Zumbo, B. D. (2002). A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *British journal of sports medicine*, 36 (2), 95-101.