

In-vivo-Kinematik: Was im Innern des Fusses tatsächlich passiert

Einem Forscherteam der ETH Zürich ist es gelungen, mittels Knochenschrauben zu messen, wie sich die Fussknochen tatsächlich zueinander bewegen (1–4). Die Ergebnisse ermöglichen einen Abgleich mit dem theoretischen Modell der Spiraldynamik. Sie wurden auf dem Kongress der Deutschen Fusschirurgen in München vorgestellt.

Peter Wolf

Klinische Fragen

Fussprobleme gehören in allen Altersklassen zu den häufigen Problemen des Bewegungssystems: muskulärer Knickfuss im Kindesalter, Überlastungen durch Laufsport und hohe Absätze, Spreizfüsse und Vorfussdeformitäten im Alter und so weiter. Viele der damit verbundenen grundlegenden Fragestellungen sind ungelöst, es existieren bis dato keine verlässlichen Daten. Was passiert tatsächlich im Innern des Fusses beim Gehen? Wie bewegen sich die Knochen zueinander? Wie kann der Fuss funktionell sinnvoll eingeteilt werden? Welchen biomechanischen nachweisbaren Einfluss haben Einlagen auf den Fuss? Intrakortikale Marker sollten qualitativ hochwertige Daten liefern und helfen, diese Fragen zu beantworten (Abbildung 1).

In-vivo-Kinematik

Bei bisher neun gesunden, männlichen Probanden wurden unter Lokalanästhesie und mit Genehmigung der ethischen Kommission in sieben Fusswurzel- und Mittelfussknochen intrakortikale Marker angebracht. Auf einer 9,5 Meter langen Gehstrecke wurden die Knochenbewegungen und die Bodenreaktionskräfte unter den Bedingungen barfüssigen Gehens oder langsamen Joggens sowie mit Einlagen oder modifizierten Schuhen gemessen. Spätestens vier Stunden nachdem die intrakortikalen Marker gesetzt worden waren, wurden diese entfernt; während einer Woche verspürten die Probanden leichte Beschwerden, Komplikationen gab es keine.

Auswertung der Daten

Gemessen an den Bodenreaktionskräften und der Unterschenkelbewegung änderte sich die Dynamik des individuellen Gangmusters nicht durch die intrakortikalen Marker. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die individuell charakteristischen Knochenbewegungen beob-

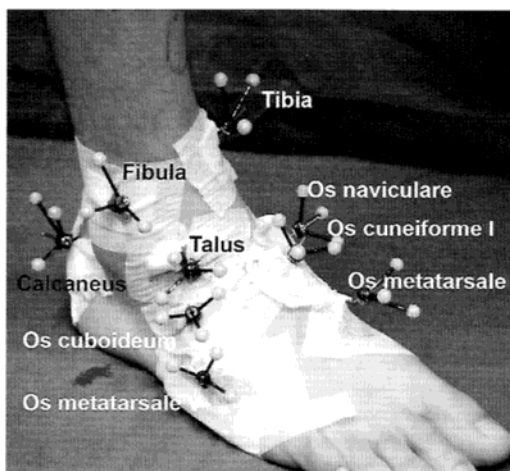


Abbildung 1: Intrakortikale Marker ermöglichen die tatsächliche Messung der Knochenbewegungen zueinander.

achtet wurden. Die Bewegungen wurden in Relation zu entspanntem Stehen ermittelt und dann in den drei anatomischen Hauptebenen (sagittal, frontal, transversal) beschrieben (Abbildung 2). Nachstehend eine Auswahl der interessantesten Ergebnisse (1–4) im Hinblick auf das Konzept der Spiraldynamik:

1. Die in vielen Lehrbüchern zitierte Segmentierung des Fuss skeletts in einen stabilen lateralen und einen mobilen medialen Anteil wird durch unsere Untersuchungen nicht gestützt, denn eine rigide Achse im lateralen Fuss (Calcaneus-Os cuboideum-Os metatarsale V) mit $< 5^\circ$ Rotation pro Gelenk liess sich nicht nachweisen; die Bewegungs-

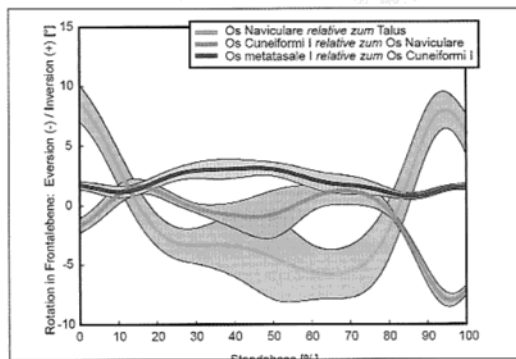


Abbildung 2: Darstellung der mittleren Rotationen (plus 95% Vertrauensintervalle) um die Fusslängsachse im medialen Strahl, beispielhaft für einen Probanden.

umfänge sind mit Werten um die 8° beziehungsweise 10° deutlich markanter. Dagegen ist die Relativbewegung medial, konkret zwischen Os metatarsale zu Os cuneiforme kleiner, der Bewegungsumfang im Mittel 5°.

2. Interessant ist das Rotationsverhalten in der Frontalebene: Alle Probanden zeigten proximal – beim Gehen wie beim Joggen – übereinstimmende Resultate: Os naviculare und Os cuboideum rotieren gemeinsam gegenüber Taluskopf und Calcaneus.

3. Der Bewegungsumfang zwischen Talus und Os naviculare ist der grösste der gemessenen Gelenke innerhalb des Fusses. Das deckt sich qualitativ mit der Beschreibung eines spiralförmigen Fussgewölbes, wie es in der Spiraldynamik-Literatur (6) beschrieben wird (Abbildung 3).

4. Beim Gehen zeigt sich eine sehr hohe individuelle Variabilität der relativen Bewegungen der Fussknochen zueinander. Beim Joggen ist diese Variabilität deutlich herabgesetzt, was dafür spricht, dass sich der Fuss erst unter vermehrter Belastung «funktionell klarer strukturiert».

5. Daneben zeigte sich, dass Einlagen sowie Schuhsohlenmodifikationen keinen unmittelbaren Effekt auf das Bewegungsverhalten der Fussknochen zueinander haben.



Dr. sc. ETH Peter Wolf
ETH Zürich
Labor für sensomotorische Systeme
Stellvertretender Leiter
Tannenstrasse 1, 8092 Zürich

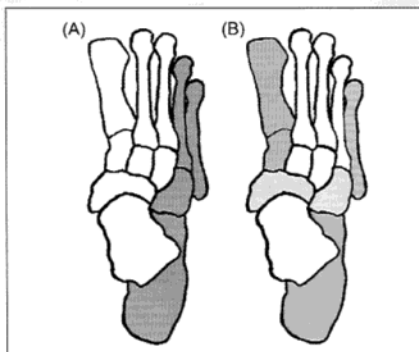


Abbildung 3: Segmentierung des Fuss skeletts. A) Die traditionelle Segmentierung des Fuss skeletts (5) in einen stabilen lateralen und einen mobilen medialen Anteil ist aufgrund der vorhandenen Messdaten nicht mehr haltbar; B) Funktionelle Segmentierung des Fuss skeletts (4): Der grosse Bewegungsumfang zwischen Talus und Os naviculare deckt sich qualitativ mit der Beschreibung eines spiralförmigen Fussgewölbes, wie es in der Spiraldynamik (6) beschrieben wird.

Weiterführende Literatur:

1. Wolf P et al. In-vivo-Bewegungen der Fussknochen im Gehen und langsamen Joggen. Orthopädieschuhtechnik, 2012, 24–27.
2. Arndt et al. Intrinsic foot kinematics measured in vivo during the stance phase of slow running. Journal of Biomechanics, 2007, 40, 2672–2678.
3. Nester et al. Foot kinematics during walking measured using bone and surface mounted markers. Journal of Biomechanics, 2007, 40, 3412–3423.
4. Wolf et al. Functional units of the human foot. Gait & Posture, 2008, 28, 434–441.
5. Platzer W. Taschenatlas der Anatomie, Thieme Verlag, 1975, Bildzitat, 215.
6. Larsen C. Füsse in guten Händen, Thieme Verlag, 2003, 43–44.

Infobox

ETH-Biomechaniker Peter Wolf, Fusschirurg Christian Sommer, Spiraldynamik-Arzt Christian Larsen und Physiotherapeut Christian Heel haben ihre Arbeiten in einem 90-Minuten-Block «Konservative Fussorthopädie» am Jahreskongress der Deutschen Gesellschaft für Fusschirurgie (GFFC) mit 400 Teilnehmern vorgestellt. Der innovative Ansatz stiess auf lebhaftes Interesse.