

Biomechanische Überlegungen zu Impaktkräften beim Laufen = Réflexions de biomécanique sur les forces d'impact lors de la course

Autor(en): **Nat / Mult, H.C. / Nigg, Benno M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Physioactive**

Band (Jahr): **48 (2012)**

Heft 3

PDF erstellt am: **16.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-928637>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Biomechanische Überlegungen zu Impaktkräften beim Laufen

Réflexions de biomécanique sur les forces d'impact lors de la course

PROF. DR. SC. NAT., DR. H. C. MULT. BENNO M. NIGG

Die normalen Impaktkräfte beim Laufen sind vom Verletzungspotenzial her überbewertet worden. Impaktkräfte und ihre Dämpfung – zum Beispiel mit Schuhen – scheinen eher eine Frage des Komforts zu sein. Ein neues Modell, um Impaktkräfte zu verstehen, ist das Muskel-Tuning.

Schuhe und Schuheinlagen sind ein wichtiges «Instrument» für unsere Fortbewegung. Sie erfüllen verschiedene Funktionen, wie zum Beispiel Dämpfen von Bodenreaktionskräften, Kontrolle und Unterstützung der Fussbewegung, Schutz gegen Umwelteinflüsse und Training von Muskeln der unteren Extremitäten.

Zurzeit sind viele verschiedene Schuh- und Einlagenprodukte auf dem Markt, und manche dieser Produkte suggerieren, dass sie eine bestimmte funktionelle Wirkung erzeugen.

Les forces d'impact normales exercées pendant la course à pied ont été surestimées au niveau de leur potentiel de blessure. Les forces d'impact et leur amortissement, par exemple par les chaussures, semblent plutôt être une question de confort. L'ajustement musculaire constitue un nouveau modèle permettant de comprendre les forces d'impact.

Les chaussures et les semelles intérieures sont un «instrument» important pour nous déplacer. Elles remplissent différentes fonctions comme l'amortissement des forces de réaction du sol, le contrôle et le soutien du mouvement des pieds, la protection contre les intempéries et l'entraînement des muscles des membres inférieurs.



Die Laufgeschwindigkeit beeinflusst die vertikalen Impaktkräfte stark (je schneller, desto höher die Impaktkräfte). | La vitesse de la course influence fortement les forces d'impact vertical (plus la course était rapide, plus les forces d'impact étaient élevées). Foto/photo: ©Mikael Damkier – Fotolia.com

Die Zielsetzung dieses und der nachfolgenden Artikel besteht darin, die wichtigsten funktionellen Aspekte von Schuhen und Schuheinlagen zu diskutieren, verschiedene Mythen aufzudecken und das jetzige Wissen zusammenzufassen, sodass es in der Praxis angewendet werden kann. Dabei werden viele Überlegungen aus Studien mit dem Laufschuh besprochen [1]. Die Anwendung ist jedoch breiter und konzentriert sich auf alle Schuhe und Schuheinlagen.¹

Impaktkräfte und aktive Kräfte

In der Literatur wird zwischen «Impaktkräften» und «aktiven Kräften» unterschieden (siehe auch *Glossar*):

Impaktkräfte beim Gehen, Laufen und Springen sind Kräfte, die durch den Zusammenstoß von Fuß und Boden entstehen. Sie treten typischerweise in den ersten 20 Prozent des Bodenkontaktes auf und die Kraftspitzen sind für das Gehen, Laufen und Springen etwa 0,5- bis 3-mal das Körpergewicht. Die Signalfrequenz dieser Kräfte ist typischerweise zwischen 10 und 20 Hz.

Aktive Kräfte sind Kräfte, die durch Muskelaktivität kontrolliert sind. Sie treten typischerweise in den letzten 80 Prozent des Bodenkontaktes auf mit Kraftspitzen zwischen 1- und 5-mal das Körpergewicht und einer Signalfrequenz von 1 bis 3 Hz.

Impaktkräfte sind oft als Ursache von Verletzungen und Beschwerden besprochen worden. Aus diesem Grunde wurde vorgeschlagen, dass Impaktkräfte durch dämpfende Schuhe, Schuheinlagen und Bodenbeläge reduziert werden sollen. Verschiedene Forschungsgruppen forschten über den Zusammenhang zwischen diesen Impaktkräften und Verletzungen sowie Beschwerden. Andere Gruppen testeten Methoden, um solche Impaktkräfte zu dämpfen. Die Resultate der meisten Studien waren überraschend und bestätigten

Actuellement, de nombreuses chaussures et semelles intérieures sont présentes sur le marché. Quelques-uns de ces produits suggèrent qu'ils produisent un effet fonctionnel précis.

L'objectif de cet article et du suivant consiste à débattre des aspects fonctionnels les plus importants des chaussures et des semelles intérieures, de tirer au clair différents mythes et de faire le point sur les connaissances actuelles afin de les utiliser dans nos cabinets. Nous débattons de nombreuses réflexions découlant d'études sur la chaussure de course [1]. Toutefois, leur utilisation est plus large et se concentre sur toutes les chaussures et semelles de chaussures.¹

Forces d'impact et forces actives

La littérature établit une différence entre les «forces d'impact» et les «forces actives» (voir également *Glossaire*):

Lors de la marche, la course et du saut, *les forces d'impact* sont des forces générées par les pieds au moment où ils heurtent le sol. Elles apparaissent typiquement dans les 20% initiaux du contact avec le sol et les pointes de force sont d'environ 0,5 à 3 fois le poids du corps pour la marche, la course et le saut. La force du signal de ces forces est typiquement située entre 10 et 20 Hz.

Les forces actives sont des forces contrôlées par l'activité musculaire. Elles surviennent habituellement dans les derniers 80% du contact avec le sol avec des pointes de force de 1 à 5 fois le poids du corps et une fréquence du signal de 1 à 3 Hz.

On a souvent avancé que les forces d'impact étaient la cause de blessures et de douleurs. Pour cette raison, on a proposé que les forces d'impact soient réduites par des chaussures, des semelles intérieures et des revêtements de sol amortisseurs. Différents groupes de recherche ont étudié le rapport entre ces forces d'impact et les blessures ainsi que

Glossar

Impaktkräfte

Kräfte, die am Anfang eines Bodenkontaktes auftreten. Sie sind bedingt durch das abrupte Abbremsen des Beins durch den Boden. Sie wirken von aussen am menschlichen Bein (äussere Impaktkräfte) und als innere Impaktkräfte an inneren Strukturen (z.B. Gelenke, Sehnen, Bänder).

Aktive Kräfte

Kräfte, die in der Mitte und am Ende eines Bodenkontaktes auftreten. Sie sind bedingt und kontrolliert durch Muskelaktivität. Sie wirken von aussen am menschlichen Bein (äussere aktive Kräfte) und als innere aktive Kräfte an inneren Strukturen (z.B. Gelenke, Sehnen, Bänder).

Glossaire

Forces d'impact

forces survenant au début d'un contact avec le sol. Elles sont induites par le freinage brusque de la jambe par le sol. Elles s'exercent depuis l'extérieur sur la jambe de l'homme (forces d'impact externes) et, en tant que forces d'impact internes, sur les structures internes (articulations, tendons, ligaments).

Forces actives

forces survenant au milieu et à la fin d'un contact avec le sol. Elles sont conditionnées et influencées par l'activité musculaire. Elles s'exercent depuis l'extérieur sur la jambe de l'homme (forces actives externes) et, en tant que forces actives internes, sur les structures internes (articulations, tendons, ligaments).

¹ Der Beitrag stützt sich auf die international publizierte Literatur, vor allem aber auf ein kürzlich erschienenen Buch mit dem Titel «Biomechanics of Sport Shoes» (Nigg, 2010). [1]

¹ La contribution se fonde sur les publications internationales, notamment sur un livre paru récemment et intitulé «Biomechanics of Sport Shoes» (Nigg, 2010). [1]

den scheinbar offensichtlichen Zusammenhang zwischen Impaktkräften und Verletzungen und Beschwerden nicht. Nachfolgend einige Beispiele.

Äussere und innere Impaktkräfte

Bei den Impaktkräften kann zwischen äusseren Impaktkräften (die aussen am Fuss gemessen werden können) und inneren Impaktkräften (z.B. im Fuss- oder Kniegelenk) unterschieden werden.

Äussere Impaktkräfte:

- Äussere Impaktkräfte änderten sich nur wenig, wenn die Härte der Sohlen von Laufschuhen verändert wurde.
- Veränderungen der Sohlenhärte hatten einen starken Einfluss auf den Anstieg der Kräfte, die am Boden gemessen wurden (vertikale Bodenreaktionskraft).
- Die Laufgeschwindigkeit beeinflusste die vertikalen Impaktkräfte stark (je schneller, desto höher die Impaktkräfte).

Innere Impaktkräfte:

- Innere Impaktkräfte im Bereiche des Fussgelenks, berechnet mit Hilfe von äusseren Messungen und Modellberechnungen, reagierten wenig auf Veränderungen der Sohlenhärte von Laufschuhen.
- Aktive innere Kräfte (Kräfte auf innere Strukturen [z.B. Gelenke, Sehnen, Bänder], die durch muskuläre Kräfte erzeugt werden) sind normalerweise 2- bis 5-mal grösser als die entsprechenden inneren Impaktkräfte. Wenn Kräfte die Ursache für Verletzungen sind, dann würde man somit eher Verletzungen wegen der aktiven als wegen der Impaktkräfte erwarten.

Epidemiologische Erkenntnisse

Die Epidemiologie zeigt unter anderem auf, dass die Rolle der Impaktkräfte bei Laufverletzungen überschätzt wurde:

- Die Häufigkeit von Osteoarthritis ist etwa gleich für Läufer und Nichtläufer.
- Laufen auf einem weichen oder einem harten Bodenbelag erzeugt etwa gleich viele Verletzungen.
- Die Häufigkeit der gesamten akuten Laufbeschwerden/-verletzungen war in einer prospektiven Studie nicht unterschiedlich für Läufer mit niedrigen, mittleren oder hohen Impaktkräften [1].
- Die Häufigkeit der gesamten Laufbeschwerden/-verletzungen war in einer retrospektiven Studie nicht verschieden für Fersen- oder für Vorfussläufer [2].
- Die Häufigkeit von Ermüdungsfrakturen (stress fractures) war in derselben retrospektiven Studie grösser für Fersensläufer als für Vorfussläufer.

les douleurs. D'autres groupes ont testé des méthodes permettant d'amortir de telles forces d'impact. Les résultats de la plupart des études se sont avérés surprenants et n'ont pas confirmé le rapport qui semblait évident entre forces d'impact, blessures et douleurs. Voici quelques exemples.

Forces d'impact externes et internes

Dans les forces d'impact, on peut différencier les forces d'impact externes (pouvant être mesurées sur le pied) et internes (par exemple à l'articulation du pied ou du genou).

Forces d'impact externes:

- Les forces d'impact changeaient peu lorsque l'on changeait la dureté de la semelle des chaussures de course.
- Les modifications de la dureté de la semelle avaient une forte influence sur l'augmentation des forces qui étaient mesurées au sol (force de réaction verticale au sol).
- La vitesse de la course influençait fortement les forces d'impact vertical (plus la course était rapide, plus les forces d'impact étaient élevées).

Forces d'impact internes:

- Les forces d'impact internes dans la zone de l'articulation du pied, calculées à l'aide de mesures externes et de modélisations, ont peu réagi aux modifications apportées à la dureté de la semelle des chaussures de course.
- Les forces internes actives (forces sur les structures internes [articulations, tendons, ligaments] qui sont générées par les forces musculaires) sont normalement 2 à 5 fois plus importantes que les forces d'impact internes correspondantes. Lorsque ces forces sont la cause de blessures, on s'attendrait plutôt à des blessures causées par des forces actives que par des forces d'impact.

Données épidémiologiques

L'épidémiologie montre entre autres que l'on a surestimé le rôle des forces d'impact dans les blessures des coureurs:

- La fréquence de l'ostéo-arthrite est à peu près équivalente chez les coureurs et les non-coureurs.
- Courir sur un revêtement de sol souple ou dur provoque à peu près autant de blessures.
- Dans une étude prospective, la fréquence des douleurs/blessures aiguës n'était pas différente si les coureurs avaient des forces d'impact basses, moyennes ou hautes [1].
- Dans une étude rétrospective, la fréquence des douleurs/blessures des coureurs n'était pas différente si les coureurs avaient une foulée postérieure ou antérieure [2].

- Die Häufigkeit von allgemeinen Laufbeschwerden/-verletzungen war in einer prospektiven Studie etwa 100 Prozent höher für Athleten mit einem kleinen (langsamen) Belastungsanstieg als für Athleten mit einem grossen (schnellen) Kraftanstieg(!).

Biologische Reaktionen

Biologische Reaktionen auf Impaktkräfte sind die Folgenden:

- Impaktaktivitäten (z.B. Laufen, Kunstturnen, Tanzen) erzeugen normalerweise eine Zunahme der Knochenmasse. Aktivitäten mit wenig Impaktkomponenten (z.B. Schwimmen) erzeugen keine solchen Effekte.
- Kontrollierte Kräfte mit einer 1 Hz Signalfrequenz konnten die Knochenmasse nicht konstant halten (Knochenverlust). Die gleichen Experimente mit einer Signalfrequenz von 15 Hz erzeugten eine Vermehrung der Knochenmasse. (Die Signalfrequenz von Impaktkräften beim Laufen ist zwischen 10 und 20 Hz.)
- Die Effekte von Impaktkräften während menschlicher Bewegungen auf Knorpel, Sehnen und Bänder sind zurzeit nicht verstanden. Anfängliche Resultate sind widersprüchlich.

Impaktkräfte beim Laufen mit geringem Verletzungspotenzial

Es ist wohl keine Frage, dass exzessive Impaktkräfte während sportlichen Bewegungen Schäden am menschlichen Bewegungsapparat erzeugen können. Dabei ist es jedoch wichtig, dass der Begriff «exzessive Impaktkräfte» genau definiert wird. Zurzeit ist eine solche Definition noch nicht vorhanden. Basierend auf dem derzeitigen Wissen und neuesten experimentellen wissenschaftlichen Resultaten schlägt der Autor vor, dass wiederholte Impaktkräfte, die während normaler körperlicher Betätigung auftreten, nicht exzessive sind, das heisst, dass sie in einem Bereich sind, der vom Verletzungspotenzial her gesehen (akut oder chronisch) normalerweise nicht gefährlich ist.

Es scheint, dass Impaktkräfte und entsprechende Dämpfung (Cushioning) vielmehr eine Frage des Komforts sind. Sicher ist jedoch, dass die äusseren Impaktkraftkomponenten in der Forschung der letzten Dekaden überbewertet wurden. Die erstaunlichen Resultate führten dazu, dass neue Modelle vorgeschlagen wurden, um die Impaktkräfte besser zu verstehen. Ein solches Modell ist das Konzept des «Muskel-Tunings».

Das Konzept des Muskel-Tunings

Im Konzept für Muskel-Tuning wird die Impaktsituation wie folgt beschrieben:

- Dans la même étude rétrospective, la fréquence des fractures de fatigue (stress fractures) était plus importante pour les coureurs attaquant du talon que pour ceux qui attaquaient de l'avant-pied.
- Dans une étude prospective, la fréquence des douleurs/blessures générales était environ 100% plus élevée pour les athlètes ayant une petite (lente) augmentation de l'effort que pour les athlètes ayant une importante (rapide) augmentation de la force(!).

Réactions biologiques

Les réactions biologiques aux forces d'impact sont les suivantes:

- Les activités à impact (course, gymnastique artistique, danse) produisent normalement une augmentation de la masse osseuse alors que les activités ayant peu de composantes d'impact (natation) ne provoquent pas ces effets.
- Les forces contrôlées ayant une fréquence de signal de 1 Hz ne pouvaient pas garder la masse osseuse constante (perte osseuse). Les mêmes expériences avec une fréquence du signal de 15 Hz ont causé une augmentation de la masse osseuse. (La fréquence du signal des forces d'impact lors de la course à pied se situe entre 10 et 20 Hz).
- À ce jour, on ne comprend pas encore les effets des forces d'impact sur le cartilage, les tendons et les ligaments pendant le mouvement. Les premiers résultats sont contradictoires.

Les forces d'impact de la course ont un faible potentiel de blessure

Il est incontestable que des forces d'impact excessives pendant des mouvements sportifs puissent provoquer des dommages sur l'appareil locomoteur. Toutefois, il est important de définir précisément le terme «forces d'impact excessives». On ne dispose actuellement pas de cette définition. Sur la base des connaissances actuelles et des résultats scientifiques les plus récents, l'auteur propose que les forces d'impact répétées survenant pendant un mouvement normal ne sont pas excessives, elles se situent dans une fourchette qui n'est normalement pas dangereuse du point de vue du potentiel de blessure (aiguë ou chronique).

Il semble que les forces d'impact et l'amortissement (cushioning) soient beaucoup plus une question de confort. Il est néanmoins certain que les composants externes des forces d'impact ont été surestimés par la recherche au cours des dernières décennies. Des résultats étonnants ont entraîné la proposition de nouveaux modèles afin de mieux comprendre les forces d'impact. Ce modèle est dénommé concept du «muscle tuning» ou «ajustement musculaire».

- Impaktkräfte während menschlicher Bewegungen sind ein Eingangssignal, das durch Amplitude, Frequenz und Zeit charakterisiert ist.
- Diese Signale werden durch unser sensorisches System erfasst und das zentrale Nervensystem (ZNS) reagiert, indem es (wenn nötig) die Aktivität von bestimmten Muskelgruppen anpasst (Tuning).
- Diese Anpassung geschieht, um Weichteilvibrationen zu verkleinern.
- Die Effekte des Muskel-Tunings sind stark, wenn die Signalfrequenz der Impaktkraft nahe bei der Eigenfrequenz der Weichteile ist und Resonanzeffekte auftreten können.
- Die Effekte des Muskel-Tunings sind personen- und weichteilspezifisch.
- Muskel-Tuning kann die Leistung, die Ermüdung und den Komfort beeinflussen.

Evidenz für Muskel-Tuning bei beruflichen Tätigkeiten (Anpassung der myoelektrischen Aktivität, wenn die Vibrationen möglicherweise gefährliche Resonanzsituationen erzeugen) wurde früher beschrieben (z.B. Dupuis und Jansen, 1981) [3].

Evidenz für Muskel-Tuning in einer allgemeinen Situation wurde 2002 publiziert [4]. In diesem Experiment standen die Versuchspersonen (10 junge Männer) barfuss auf dem Vorfuss auf einer Vibrationsplatte. Die Eingangsvibrationen der Vibrationsplatte wurden systematisch zwischen zirka 5 und 65 Hz variiert. Die entsprechenden Weichteilvibrationen für Quadrizeps, Hamstrings, Triceps surae und Tibialis anterior wurden mit Beschleunigungsmessern erfasst. Die entsprechenden Muskelaktivitäten (Rectus femoris, Biceps femoris [caput longum], medialer Gastrocnemius und Tibialis anterior) wurden mit bipolaren EMG-Elektroden gemessen. Die Resultate dieses Experimentes (*Abbildung 1*) zeigen ein deutliches Muskel-Tuning. Die Frequenzantwort für den Triceps surae zeigt eine natürliche Frequenz (ca. 12–14 Hz). Die entsprechende Muskelaktivität des Gastrocnemius medialis zeigt bei dieser Frequenz ein klares Maximum, um mögliche Resonanzeffekte zu verkleinern.

Impaktkräfte – praktische Bedeutung

Folgende praktischen Schlussfolgerungen können gezogen werden:

- 1) Bezüglich Verletzungen scheint es, dass den Impaktkräften eine zu grosse Bedeutung zugemessen wurde und wird. Es scheint wenig typische «Impaktverletzungen» zu geben.
- 2) Wenn das Ziel einer Intervention (z.B. Schuh oder Schuheinlage) die Reduktion von Laufbeschwerden ist,



Die wichtigsten Indikatoren für Laufverletzungen sind Distanz, Intensität und Erholung zwischen den Aktivitäten. | Les indicateurs les plus importants pour les blessures des coureurs sont la distance, l'intensité et la récupération entre les activités. Foto/photo: © flucas – Fotolia.com

Le concept du tuning (ajustement) musculaire

Dans le concept de l'ajustement musculaire, la situation d'impact est décrite comme suit:

- Les forces d'impact pendant les mouvements humains sont un signal d'entrée qui est caractérisé par l'amplitude, la fréquence et la durée.
- Ces signaux sont captés par notre système sensoriel et notre système nerveux central (SNC) réagit (si nécessaire) en adaptant l'activité de groupes musculaires précis (tuning).
- Cette adaptation permet de réduire les vibrations des parties molles.
- Les effets de l'ajustement musculaire sont forts si la fréquence du signal de la force d'impact est proche de la fréquence des parties molles et si un effet de résonance peut survenir.
- Les effets de l'ajustement musculaire sont spécifiques à l'individu et aux parties molles.
- L'ajustement musculaire peut influencer sur la performance, la fatigue et le confort.

Des preuves de l'ajustement musculaire dans les activités professionnelles (adaptation de l'activité myoélectrique si les vibrations peuvent provoquer des situations dangereuses de résonance) ont été décrites par le passé (Dupuis et Jansen, 1981) [3]. Des preuves de l'ajustement musculaire ont été publiées en 2002 dans une situation générale [4]. Dans cette expérience, les sujets de l'étude (10 hommes jeunes) se tenaient pieds nus, l'avant-pied sur une plaque vibrante. Les vibrations d'entrée de la plaque vibrante ont varié systématiquement.

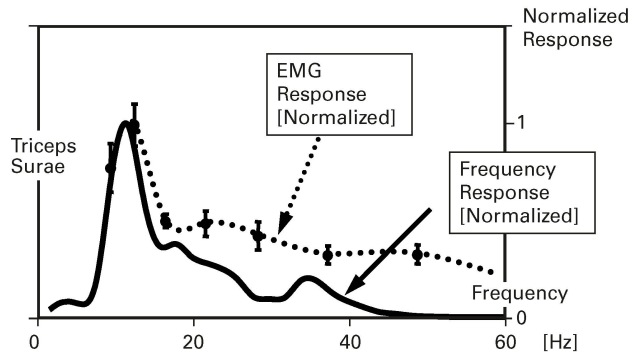


Abbildung 1: Illustration des Muskel-Tunings am Triceps surae. Frequenzantwort (ausgezogene Linie) und Muskelaktivitätsantwort (punktierter Linie) für variable Eingangssignale von einer Vibrationsplatte (ca. 5 Hz bis 65 Hz) für eine Person im Zehenstand (von Wakeling et al., 2002 mit Erlaubnis). [4] Die Figur zeigt, dass die Muskelaktivität maximal ist, wenn die Vibrationsfrequenz nahe bei der natürlichen Frequenz des Triceps surae ist. Illustration de l'ajustement musculaire du triceps sural. Fréquence (ligne continue) et activité musculaire (pointillés) en réponse au signal d'une plate-forme vibratoire (variable entre 5 et 65 Hz) pour une personne sur la pointe des pieds (von Wakeling et al., 2002 avec autorisation). [4] La figure montre que l'activité musculaire est maximale quand la fréquence de la vibration est proche de la fréquence naturelle du triceps sural.

kann man kaum erwarten, dass äussere Impaktkräfte, die von Kraftmessplatten bestimmt worden sind, helfen, die Verletzungshäufigkeit zu reduzieren. Man müsste Informationen über die inneren Kräfte in einer Struktur haben, um solche Effekte zu erzeugen.

- 3) Ein Wechsel vom Fersenlauf zum Vorfusslauf beeinflusst die Gesamthäufigkeit von Verletzungen nicht. Ein solcher Wechsel verschiebt die inneren Belastungen und kann somit eine Veränderung von spezifischen Verletzungen bewirken. Für den Praktiker ist es deshalb wichtig, die funktionellen Ursachen zu kennen und entsprechend zu reagieren.
- 4) Es wäre zum Beispiel unangebracht, Achillessehnenbeschwerden mit einem Wechsel vom Fersenlauf zum Vorfusslauf zu «korrigieren». Vorfusslauf verstärkt die Belastung in der Achillessehne.
- 5) Man darf nicht vergessen, dass die wichtigsten Indikatoren für Sport- und speziell Laufverletzungen Distanz, Intensität und Erholung zwischen den Aktivitäten sind.
- 6) Impaktkräfte und Impaktdämpfung sind primär eine Frage von Komfort. Dämpfungsstrategien, die komfortabel sind, sollten empfohlen werden.

Literatur | Bibliographie

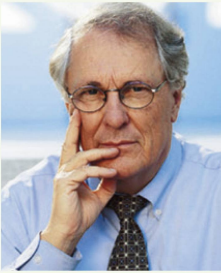
1. Nigg, B.M. Biomechanics of Sport Shoes. Topline Printing Inc., Calgary, Canada. 2010.
2. Daoud, A.I., Geissler, G., Wang, F., Saretsky, J., Daoud, Y. and Liebermann, D.E. Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Preprint, 2012.
3. Dupuis, H. and Jansen, G. Immediate effects of vibration transmitted to the hand. In: Bianchi, G. Frovlov, K.V. and Oledzky, A. (Eds.), *Man under vibration – suffering and protection*. Elsevier, Amsterdam, pp. 76–86, 1981.
4. Wakeling, J.M., Nigg, B.M. & Rozitis, A.I. Muscle activity damps the soft tissue resonance which occurs in response to pulsed and continuous vibrations. *J. Appl. Physiol.* 93:1093–1103, 2002.

quement entre environ 5 et 65 Hz. Les vibrations des parties molles pour les quadriceps, les ischio-jambiers, le triceps sural et le tibial antérieur ont été captées par des accéléromètres. Les activités musculaires correspondantes (droit antérieur, biceps fémoral [long chef], gastrocnémien médial et tibial antérieur) ont été mesurés au moyen d'électrodes EMG bipolaires. Les résultats de cette expérience (figure 1) indiquent un ajustement musculaire manifeste. La réponse de la fréquence pour le triceps sural montre une fréquence naturelle (environ 12–14 Hz). À cette fréquence, l'activité musculaire du gastrocnémien médial montre un maximum clair afin de réduire les effets de la résonance.

Forces d'impact – signification pratique

On peut en déduire les conclusions pratiques suivantes:

- 1) Concernant les blessures, il semble que l'on ait attribué et que l'on attribue toujours une trop grande importance aux forces d'impact. Il semble exister peu de «blessures d'impact» typiques.
- 2) Lorsque l'objectif d'une intervention (chaussure ou semelle intérieure) est la réduction des douleurs liées à la course, on peut difficilement s'attendre à ce que des forces d'impact externes qui ont été définies par des plaques de mesure de la force, contribuent à réduire la fréquence des blessures. Il faut disposer d'informations sur les forces internes au sein d'une structure pour produire de tels effets.
- 3) Passer d'une foulée postérieure à une foulée antérieure n'influence pas la fréquence globale des blessures. Un tel changement déplace les charges internes et peut donc modifier des blessures spécifiques. C'est pourquoi il est important que le praticien connaisse les causes et puisse y réagir comme il se doit.
- 4) Il serait par exemple inapproprié de «corriger» une douleur du tendon d'Achille par un changement de la foulée postérieure à la foulée antérieure. La foulée antérieure amplifie la charge sur le tendon d'Achille.



Benno M. Nigg

Prof. **Benno M. Nigg**, Dr. sc. nat., Dr. h. c. mult., ist Professor für Biomechanik an der «University of Calgary» in Kanada. Der vielfach ausgezeichnete Schweizer studierte Physik und doktorierte an der ETH Zürich und lehrt und forscht seit 1981 in Calgary.

Pr **Benno M. Nigg**, Dr Sc. nat., Dr h. c. mult., est professeur de biomécanique à l'université de Calgary au Canada. Ce Suisse, plusieurs fois distingué, a étudié la physique et a obtenu un doctorat à l'EPF de Zürich. Il est enseignant et chercheur depuis 1981 à Calgary.

- 5) Il ne faut pas oublier que les indicateurs les plus importants pour le sport, et spécialement pour les blessures des coureurs, sont la distance, l'intensité et la récupération entre les activités.
- 6) Les forces d'impact et l'amortissement de l'impact sont avant tout une question de confort. Il convient de recommander des stratégies d'amortissement confortables. |

Weiterführende Literatur | Bibliographie pour aller plus loin

Nigg, B.M. (2010): Biomechanics of Sport Shoes. Topline Printing Inc., Calgary.

Bestellung | Commande: NiggShoeBook@kin.ucalgary.ca

Schuheinlagen und stützende Schuhe – Mythen und Erkenntnisse

Semelles intérieures de chaussures et chaussures renforcées: mythes et connaissances

PROF. DR. SC. NAT., DR. H. C. MULT. BENNO M. NIGG

Wenn von Schuhen und von Schuheinlagen geredet wird, dann wird immer wieder der Begriff «Pronation» gebraucht. Pronation ist definiert als die Einwärtsrotation des Fusses um die subtalare Achse (die untere Sprunggelenkachse). Diese Achse ist für Laien und Fachleute schwer zu sehen. Darum diskutiert man im Allgemeinen die Fusseversion, eine Rotation um eine longitudinale Fussachse (*Abbildung 2*). Die Messungen, die nun besprochen werden, sind Daten für die Fusseversion.

Was über Fusseversion bekannt ist

Publizierte Forschungsergebnisse für Pronation oder Fusseversion können wie folgt summiert werden [1]:

1. Die Korrelation zwischen Barfuss-Eversion, Schuh-Eversion und Selbsteinschätzung ist schwach. Es ist dementsprechend schwierig, eine Person bezüglich Pronation zu klassifizieren.

Lorsque l'on parle de chaussures et de semelles de chaussures, on emploie toujours le terme de «pronation». On définit la pronation par une rotation du pied et de l'axe subtalaire (axe inférieur de l'articulation du pied) vers l'intérieur. Profanes et spécialistes ont du mal à voir cet axe. À cet effet, on discute généralement d'une éversion du pied, une rotation autour d'un axe longitudinal du pied (*figure 2*). Les mesures dont nous débattons sont des données relatives à l'éversion.

Ce que l'on sait de l'éversion du pied

On peut résumer comme suit les résultats des recherches sur la pronation ou éversion du pied [1]:

1. La corrélation entre l'éversion du pied nu, l'éversion du pied chaussé et l'auto-évaluation est faible. En conséquence, il est difficile de classer une personne par rapport à la pronation.