

Der Femoralis-Jet des Läufers

M. Holtzmann, K. Leben

Privatärztliche Ambulanz für Venenheilkunde, Stuttgart



M. Holtzmann

Zusammenfassung

Beim rennenden Kind und beim Weltrekord-Läufer fallen das starke Anfersen und der kräftige Kniehub auf. Neben vielen biomechanischen Gründen für diese hervorragenden Bewegungsmuster, die offensichtlich angeboren sind, gibt es noch einen im Venensystem verborgenen Zusammenhang. Je extremer das Heel-to-butt-running und je extremer der Knee-Lift ausgeführt werden, desto kräftiger wird eine venöse Rückstromdüse, der Femoralis-Jet, ausgelöst. Die Potenz dieser venösen Düse basiert auf der Existenz eines klassischen (bio)mechanischen Kraftwandlers.

Ein endgradiges Ausschöpfen dieser venösen Rückstromdüse erhöht ergo die Schnelligkeit und Ausdauer eines Läufers. Der Sportler, der den Femoralis-Jet bewusst oder unbewusst am intensivsten einsetzt, kann wohl eher den Bogen vom maximierten venösen Backflow zur sportlichen Rekordleistung schlagen.

Schlüsselwörter: Anfersen, Kniehub, Heel-to-butt-running, Knee-Lift, Femoralis-Jet, venöse Pumpmechanismen, Leistungssteigerung, biomechanischer Kraftwandler

vasomed 31 (2019) xxx-xxx

▲ Hintergrund

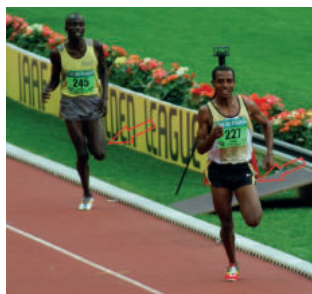


Abb. 1: Heel-to-butt-running. Kenenisa Bekele (rechts) beim Golden League 2006, Gaz de France, Paris Saint Denis. (Quelle: Originally posted to Flickr as Kenenisa Bekele – Smiling, Urheber: Thomas Faivre-Duboz).

Evolutionsbiologisch ist der menschliche Organismus zum Laufen bzw. Rennen konstruiert (1). Ganze Muskelgruppen (Mm. gluteae) (2) sind zu nichts anderem als zum Rennen angelegt. Der humane Bewegungsorganismus ist derart ideal und komplex ausgeformt worden, dass wir zum ausdauerndsten Läufer dieses Planeten aufgestiegen waren. Die Ausdauerjagd garantierte für viele 100.000 Jahre das Überleben der Menschheit (3). Nichts im menschlichen

Abb. 2: Heel-to-butt-running. Usain Bolt (rechts) beim 100-m-Sprint in Rio de Janeiro 2016. (Quelle: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/rio-2016/foto/2016-08/atletismo-classificatoria-dos-100-metros-rasos>. Urheber: Fernando Frazo/Agncia Brasil).

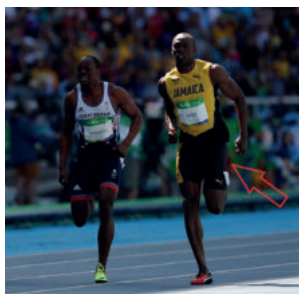


Abb. 3: Knee-Lift - das Bein wird als verkürztes und damit schnelleres Pendel nach vorne gezogen. Je schneller der Läufer ist, desto höher wird das Knie frontal angehoben. Usain Bolt (2. links) beim 200-m-Sprint in Rio de Janeiro 2016. (Quelle: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/rio-2016/foto/2016-08/bolt-conquista-tricampeonato-tambem-nos-200-metro>. Urheber: Fernando Frazo/Agncia Brasil)

Organismus ist zufällig. Jede anatomische Ausformung, jeder anatomische Verlauf hat in vernetzten Systemen neben der primären Funktion meistens noch versteckte Zusatzfunktionen.

Wenn man kleine Kinder z.B. bei einem Bambini-Lauf eines Stadtlafes beobachtet fällt auf, dass sie fast ausnahmslos beim schnellen Rennen stark anfersen. Und wenn man Weltklasse-Langstreckenläufer wie *Kenenisa Bekele* (Abb. 1) und Weltrekord-Sprinter wie *Usain Bolt* (Abb. 2) in Zeitlupe studiert, so sieht man den genetisch angelegten Laufstil

der Kinder in noch extremerer Form, nämlich wie ein fast abstandsloses Anfersen (Heel-to-butt-running) einen starken Kniehub (Knee-Lift) (Abb. 3) einleitet.

Neben allen biomechanischen, ergonomischen, physikalischen und orthopädischen lauftechnischen Aspekten ist hier jedoch noch eine Schnelligkeit und Ausdauer unterstützende Funktion verborgen. Und diese betrifft die Sportphlebologie.

In vielen mir bekannten Lehrbüchern der Phlebologie und Physiologie wird eine Oberschenkelmuskel-Pumpe angedeutet (4, 5). Aber wie sie exakt funktioniert, wann sie durch welche Muskeln ausgelöst wird und wie kräftig sie ist, bis hin zur Reichweitenbestimmung ihrer Druckwelle, wurde nie exakt entschleiert. Es existieren lediglich einige sehr allgemeingültige und ungenaue Hypothesen (6). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass meistens die technischen Möglichkeiten, insbesondere die farbkodierte Duplexsonographie zu ihrer Aufklärung, noch nicht zur Verfügung standen. Einzig *Hach* und *Hach-Wunderle* (7) konnten eine Kompression der Vena femoralis durch den Musculus sartorius, wie sie annahmen, phlebographisch dokumentieren und vergaben daher den Namen Sartorius-Muskelpumpe. Ihre zweite These über die Kompression der Vena femoralis durch Anspannung des Musculus quadriceps (7) lässt sich in der vertikalen sonographischen Realität nicht nachvollziehen.

Diese Arbeit geht der Frage nach, inwieweit es einen verborgenen physiologischen, leistungssteigernden Grund gibt, der den Ausnahmelaufer so extrem anfersen und das Knie frontal so stark anheben lässt.

Material und Methoden

Diesen Grund gibt es. Wenn man den Farbduplex-Schallkopf auf die Vena cava inferior setzt, so kann man in einem nachgestellten Laufbewegungszyklus während des Anfersens und dem damit eingeleiteten Kniehub ähnlich wie bei der Auslösung des Poplitea-Jets (8) eine explosionsartige Strömungswelle dokumentieren (siehe später Abb. 7).

Solchermaßen kräftige venöse Strömungswellen müssen durch venöse Düsen (Jets) ausgelöst werden.

Anatomische muskuläre Hauptakteure während des Vorgangs des Anfersens

1. Der Musculus sartorius beugt im Kniegelenk und beginnt beim Anfersen mit der Beugung im Hüftgelenk, dabei abduziert er das Bein. Außerdem ist er bei gestrecktem Bein ein Überstrecker (Poplitea-Jet).
2. Die ischiocrurale Muskulatur fungiert als Hüftstrecker und Kniebeuger.
3. Der Musculus adductor magnus ist auch ein Strecker im Hüftgelenk.

Da der Musculus sartorius beim extremen Anfersen maximal aktiv ist und dabei eine Abduktion bewirkt, müssen alle Adduktoren, um das Bein in der vorwärts gerichteten Schwungachse zu halten, gegen diese Abduktionstendenz ausgleichend kontrahieren.

Anatomisch topographischer Verlauf der Vena femoralis

Die Vena femoralis verläuft, von ventral gesehen, der Adduktorengruppe aufgelagert, im Canalis adductorius (Abb. 4), einer im Querschnitt dreieckig geformten Faszienhülle, deren Spitze nach zentral gerichtet ist und deren Basis an die Faszie des M. sartorius grenzt.

Diese topographische Anordnung ist äußerst wichtig und wird in nahezu jedem bedeutenden großen Standard-Anatomiewerk nicht korrekt dargestellt. In der sonographischen Realität liegt die Vene immer – von der Oberfläche her gesehen – unter der Arterie (9). Dagegen bilden die meisten Anatomiewerke den Venenverlauf neben oder sogar oberhalb der Arterie falsch ab (10-13).

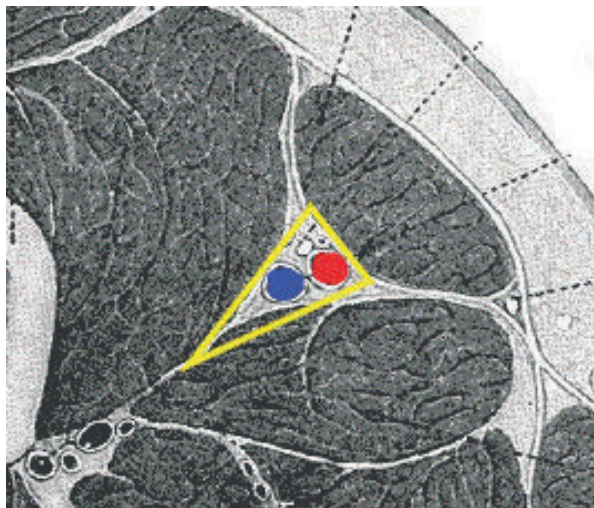


Abb. 4: Über der Vena femoralis (schallkopfnah) ist im Canalis adductorius die harte Arteria femoralis gelagert.

(Grafik: M. Holtzmann modifiziert nach H. Gray, *Anatomy of the human body*, 1918).

Der Canalis adductorius und seine national und international unterschiedliche Nomenklatur und Ausdehnungsbeschreibung

(amerikanisch auch *subsartorial canal*)

Diese im Querschnitt dreieckige Faszien-Konstellation mit den Begrenzungen Membrana vastoadductoria, Septum intermusculare femoris mediale und den Adduktorenfaszien führt die Femoralgefäße sowie den Nervus saphenus. In manchen deutschen Anatomiewerken wird dieser Raum als Septum intermusculare femoris mediale benannt, der

nicht die Merkmale eines Septums trägt, sondern überwiegend ein breites Bindegewebslager darstellt, in dem Leitungsbahnen verlaufen (14). Diese Faszienloge erstreckt sich in der sonographischen Realität und in amerikanischen anatomischen Darstellungen (15) über nahezu den gesamten Oberschenkel bis zu ihrem distalen Ende, dem Hiatus adductorius. Im deutschen Sprachraum wird die Ausdehnung regelmäßig mit nur 6 cm angegeben (16, 17). In dieser Arbeit schließen wir uns der amerikanischen Ausdehnungsbeschreibung an.

Anatomisch physikalischer Druckaufbau

Beim Anfersen und beim frontalen Kniehub wird je nach Stärke des Bewegungsumfanges der Musculus sartorius schwach bis stark kontrahiert. Kompensatorisch wird gegen die durch den Musculus sartorius induzierte Abduktionsbewegung die Adduktorengruppe angespannt (Abb. 5).

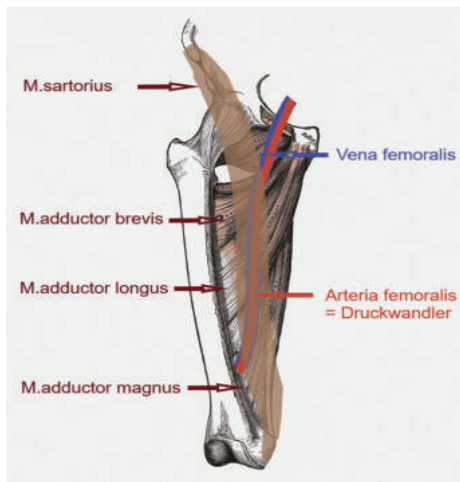


Abb. 5: Der Canalis adductorius wird vom Musculus sartorius überdacht. (Grafik: M. Holtzmann modifiziert nach H. Gray, Anatomy of the human body, 1918).

Neben dieser kompensatorischen Kontraktion der Adduktorengruppe erfolgt eine wellenhafte fraktionierte Reihenfolge der Anspannung von distal nach proximal. Nämlich während der Hüftstreckung erfolgt eine Kontraktion des Musculus adductor magnus. Daran schließt sich beim Übergang in die Hüftbeugung im Kniehub die Kontraktion des Musculus adductor longus mit dem Musculus adductor brevis an. Die Adduktorengruppe führt folglich eine hintereinander geschaltete Kompression aus, ein abschnittsweises Auspressen der Vena femoralis von distal nach proximal im Bewegungszyklus.

Der Muskelbauch des Musculus sartorius (große Fläche mit mäßigem Druck) gibt zunächst den Druck an die unter ihm gelegene Arteria femoralis weiter (Abb. 4 und 6). Diese fungiert bei ihrer anatomischen Lage als klassischer mechanischer Kraftwandler (Auflageflächenreduktion bedeutet Druckverstärkung). Der so durch die kleinere

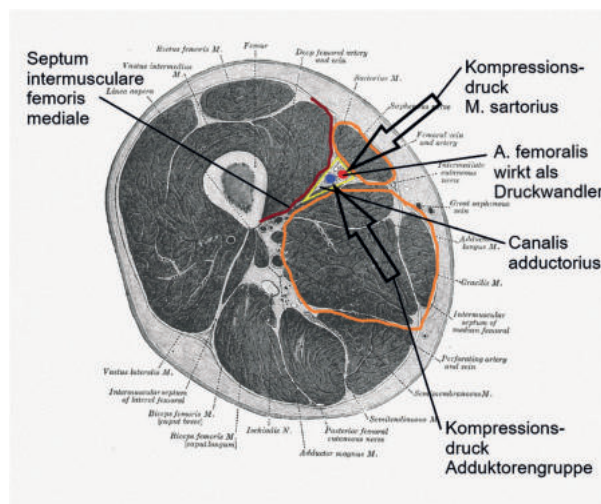


Abb. 6: Somit gerät die Vena femoralis von zwei Seiten unter aktiven Druck. (Grafik: M. Holtzmann modifiziert nach H. Gray, Anatomy of the human body, 1918).

Fläche potenzierte Druck wird direkt auf die Vena femoralis weitergegeben. Die Arterie wirkt dabei wie ein Kolben, der sich im spitzwinklig verengenden Zylinder (Canalis adductorius) mit Druck senkt und dabei die Vene „verdichtet“ (komprimiert).

Von dorsomedial produzieren die Muskelbäuche der Adduktorengruppe die zweite aktive Krafteinwirkung auf die Vena femoralis (Abb. 6). Als natürliches Widerlager gegen die Kompressionskräfte wirkt das Septum intermusculare femoris mediale (Abb. 6).

Je kräftiger und ausgeprägter die Anfers-Bewegung ausgeführt wird, desto stärker schwellen die Muskelbäuche der kontrahierenden Muskeln an und desto höher wird der per Kraftwandler potenzierte Druck auf nahezu den gesamten Verlauf der in der Vertikalen prall gefüllten Vena femoralis. Das Ergebnis ist eine kräftige venöse Strömungswelle, nachweisbar in der Vena cava inferior bis zur Mündung ins rechte Herz (Abb. 7).

Aus dem Anfersen wird im Laufzyklus des Extremsportlers ein hoher Kniehub eingeleitet. Beim Anheben des Knies wird durch exakt dieselben Mechanismen die venöse Düse, der Femoralis-Jet, ausgelöst. Allerdings nimmt die Druckkomponente der Mm. adductor longus et brevis und des M. gracilis, die jetzt in ihrer Funktion als Hüftbeuger anschwellen, zu. Es ist der Abschluss der fraktionierten Auspressbewegung der Adduktoren. Auch hier gilt die Regel: Je ausgeprägter, je kräftiger die Bewegung ausgeführt wird, desto vehementer ist der resultierende venöse Jet.

Ergebnisse

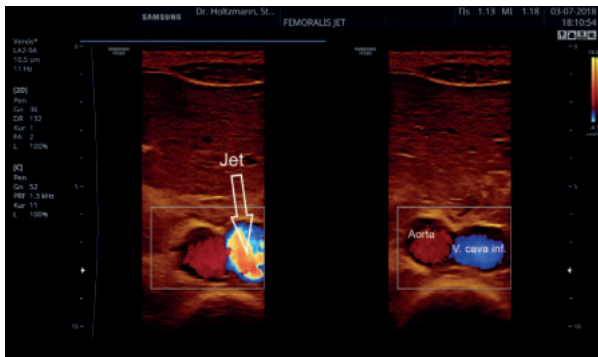


Abb. 7: Sonographischer Leistungsnachweis des Femoralis-Jets in der Vena cava inferior. Rechtes Bild: stehender Proband. Linkes Bild: Aufdehnung der Vena cava inferior durch die Strömungsdruckwelle beim stehend aktiv stark anfersenden Probanden. Solch eine wuchtige Druckwelle wird nur von einer venösen Düse und keiner der sogenannten „Saug-Druck-Pumpen“ (7) ausgelöst.

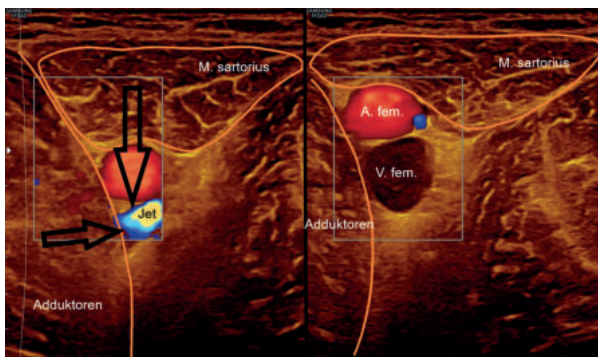


Abb. 8: Auslösung des Jets in der Vena femoralis. Rechtes Bild: prall gefüllte Vena femoralis ohne messbare Strömung beim stehenden Probanden. Linkes Bild: Der kontrahierende Musculus sartorius überträgt die Schwellkraft auf die kleinerflächige harte Arteria femoralis (Kraftwandler), was mit einer Potenzierung der Kraft einhergeht. Die Vene wird in die spitzwinklig zulaufende bindegewebige Einfassung des Canalis adductorius gepresst. Von dorsal gerät die Vene zusätzlich unter den Druck der kontrahierenden Adduktoren. Das Ergebnis ist eine langstreckige Querschnittsverkleinerung und die Auslösung des Femoralis-Jets. Die Stärke des Jet-Antriebs ist an der Farbkodierung ablesbar.

Diskussion

Die vielen historischen im Altertum und in der Neuzeit postulierten venösen Pumpmechanismen (18, 19) mögen, sofern sie existieren, sicher in der Gesamtheit des physiologisch biologischen Funktionssystems unverzichtbare, tragende Rollen spielen. Jedoch was Leistung, Reichweite und Potenz anbelangt stehen die jetzt enthüllten und

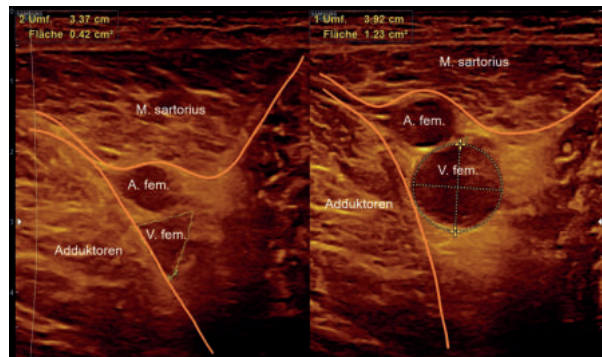


Abb. 9: Rechts: stehender Proband. Links: Typisch ist eine dreieckige Verformung der Vena femoralis bei aktiver Femoralis-Düse. Die Vene wird in die zentralgerichtete Spitze des dreieckig geformten Canalis adductorius gepresst (Abb. 4) und nimmt dann auch die Querschnittsform eines Dreiecks an, hier mit einer Flächenreduktion auf ein Drittel.

dechiffrierten venösen Jets für den humanen Lauforganismus ganz oben in der Hierarchie. Stechen doch sowohl der Femoralis-Jet als auch der Poplitea-Jet (8) aufgrund ihrer vehementen Leistung aus allen anderen venösen Pumpen heraus.

In beiden Fällen stehen mechanische Kraftwandler im Zentrum ihres Wirkgeschehens. Die Kraftwandler sind in diesen Fällen anatomische Konstellationen zur Veränderung einer Druckkraft in Bezug auf ihren Betrag. Beim Poplitea-Jet ist es die Hebelwirkung, die die Druckkraft auf die prallgefüllte Vena poplitea in der Beinstreckung potenziert.

Beim Femoralis-Jet geschieht die Kraftwandlung durch Auflageflächenreduktion. Von der größeren Auflagefläche des Musculus sartorius wird die durch die Schwellung des Muskels entstehende Kraft auf die kleine Auflagefläche der Arteria femoralis übertragen, die dann die dabei multiplizierte Kraft auf die Vene überträgt. Die Vena femoralis wird dabei in die spitzwinklige Ecke des Canalis adductorius gepresst und strömungsrelevant komprimiert.

Die beiden jetzt entschleierte Jets gehören sicher zu den evolutionären Anpassungen, die uns zu außergewöhnlich guten Langstreckenläufern gemacht haben (20). Sie gehören zu angeborenen Energiesparmechanismen beim Gehen und Rennen (21).

In der Sportphysiologie und Sportmedizin wurde der venöse Rückstrom bisher noch kaum berücksichtigt. Eine Ausnahme bildet die Anwendung von Kompressionsmedien (22), die aber nicht von der Sportmedizin, sondern von den Sportlern selbst ins Spiel gebracht wurden.

Der venöse Backflow im Allgemeinen und bestimmte bewegungsassoziierte Rückstromdüsen im Besonderen

wurden früher weder beachtet noch untersucht. Dabei ist das Programm zur optimalen Ausnutzung genetisch in uns festgelegt. Das rennende Kind setzt die Jets unbewusst ein. Der begabte unverfälscht laufende Weltrekordler schöpft diese Ressourcen ebenfalls unbewusst optimal aus, was in letzter Konsequenz die sportliche Höchstleistung ermöglicht. Leistungssteigerung durch besseren venösen Backflow - das ist/war wohl das letzte Geheimnis des perfekten Läufers.

Literatur

1. Bramble DM, Lieberman DE. Endurance running and the evolution of Homo. *Nature* 2004;432:345-352.
2. Lieberman DE, Raichlen DA, Potzner H. The human gluteus maximus and its role in running. *J Exp Biol.* 2006;209(Pt 11):2143-55.
3. Lieberman DE. Unser Körper. Geschichte, Gegenwart, Zukunft. Evolution zum Laufen. S. Fischer Verlag, Frankfurt/Main 2015; 112-120.
4. Rabe E, Gerlach HE. Praktische Phlebologie, Physiologie und Pathophysiologie, 2. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2005; 7.
5. Silbernagl S, Despopoulos jr. A, Draguhn A. Taschenatlas Physiologie, Kap. Venöser Rückstrom, 9. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2018; 230.
6. Kühnel W, Fritsch H. Taschenatlas Anatomie, Band 2: Innere Organe, Aufbau und Funktion von Blut- und Lymphgefäßen, 11. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2013; 90.
7. Hach W, Gruß JD, Hach-Wunderle V, Jünger M. VenenChirurgie. 3. Aufl. Schattauer, Stuttgart 2007; 8-9.
8. Holtzmann M. Die physiologische Vena-poplitea-Kompression bei der Beinstreckung - der Pplitea-Jet. *vasomed* 2018;3:118-121.
9. Amann-Vesti B, Thalhammer C. Kursbuch Doppler- und Duplexsonographie, 4. Aufl. Abb. 4.32: Darstellung der A. und V. femoralis superficialis rechts knapp oberhalb des Adduktorenkanals. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2015.
10. Paulsen F, Waschke J. Sobotta - Atlas der Anatomie, 24. Aufl, Abb. 4.176: Transversalschnitt durch die Mitte des Oberschenkels. Elsevier, München 2017; 429.
11. Platzer W. Taschenatlas der Anatomie, Band 1: Bewegungsapparat, Muskeln der Hüfte und des Oberschenkels, 11. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2013; 233.
12. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Wesker K, Voll M. Prometheus Lernatlas der Anatomie, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem, 4. Aufl. Abb. 3.11 A: Querschnitt durch einen rechten Oberschenkel. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2014; 528.
13. Netter FH. Atlas der Anatomie, 6. Aufl. Abb. Hüfte und Oberschenkel. Urban & Fischer Verlag bei Elsevier, München 2015; 492.
14. Graumann W, Sasse D. Compact-Lehrbuch Anatomie, Band 2: Bewegungsapparat. 1. Aufl. Abb. 2-50: Fascia lata des rechten Oberschenkels. Schattauer Verlag, Stuttgart 2004; 164.
15. Moore KL, Dalley AF. Clinically Oriented Anatomy, 4. Aufl. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore 1999; 549.
16. Bommas-Ebert U, Teubner B, Voß R. Kurzlehrbuch Anatomie und Embryologie. Topographie der unteren Extremität. 3. Aufl. Georg Thieme Verlag, 2011; 228.
17. Lippert H. Lehrbuch Anatomie, 7. Aufl. Urban & Fischer bei Elsevier, München, Jena 2006; 794f.
18. May R. Langenbecks Archiv für Chirurgie, Band 325. Die funktionelle Pathologie der Venen, 1969; 839.
19. Kappert A. Lehrbuch und Atlas der Angiologie, 9. Aufl. Abb. 24: Wirkung der Muskel-Venen-Pumpe beim Gefäßgesunden und bei venöser Insuffizienz der unteren Extremitäten. Hans Huber Verlag, Bern 1979; 15.
20. Carrier DR. The energetic paradox of human running and hominid evolution. *Current Anthropology* 1984;25:483-495.
21. Alexander RM. Energy-saving mechanisms in walking and running. *J Exp Biol* 1991; 209: 2143-2155.
22. Lötzerich H. Kompression und Sport. *vasomed* 2017;2:60-64.

Korrespondenzadresse

Dr. med. Michael Holtzmann
Privatärztliche Ambulanz für Venenheilkunde
Königstraße 4
70173 Stuttgart
E-Mail: dr.holtzmann@gmail.com