



Sven Reuter

Angewandte Sportphysiotherapie – Untere Extremität

Evidenz für Befund und
Behandlung

Angewandte Sportphysiotherapie - Untere Extremität

Sven Reuter

Angewandte Sportphysiotherapie - Untere Extremität

Evidenz für Befund und Behandlung

 Springer

Sven Reuter
SRH Hochschule für Gesundheit
Stuttgart, Baden-Württemberg, Deutschland

ISBN 978-3-662-62051-9 ISBN 978-3-662-62052-6 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-62052-6>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Fotonachweis Umschlag: © Jan Papenfuss (Athlet: Matthias Brugger)

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Evidenz und Sportphysiotherapie, passt das zusammen?

Kaum ein Bereich der Medizin ist so stark von Traditionen geprägt wie die Sportphysiotherapie und die Sportmedizin. Nicht zu übersehen sind die Trends, die kommen und oft auch schnell wieder verschwinden. Der Eindruck entsteht, dass gerade solche Prozeduren ihren Weg in den Sport finden, für die es am wenigsten Evidenz gibt.

Der Grundgedanke dieses Buches liegt nicht darin, Bewährtes aus der Praxis zu ersetzen. Alle Kollegen, die im Sport tätig sind, wissen, dass es in den meisten Situationen nicht darauf ankommt, die aktuellste Studienlage zu kennen. Neben Wissen und Erfahrung spielen viele andere Faktoren eine Rolle, um in den wichtigen Situationen die richtigen Entscheidungen treffen zu können. Aber noch viel entscheidender ist die Zusammenarbeit im Team. Die zunehmende Spezialisierung erfordert von uns Medizinern ein wachsendes Verständnis auch in anderen Bereichen. Der Sportphysiotherapeut und Sportmediziner ist mehr denn je als ein „Generalist“ gefordert, der seinen Blick über seinen traditionellen Erfahrungsbereich hinaushebt.

Dieses Buch soll als eine Ergänzung zu bewährtem Praxiswissen verstanden werden. Es geht nicht darum, neue Techniken zu präsentieren, sondern vielmehr um grundsätzliche Überlegungen und Strategien, die wir nutzen können, um unsere Athleten bei der Erreichung ihrer Ziele optimal zu unterstützen. Dazu sollten wir alle verfügbaren Ressourcen nutzen. Die Evidenz kann uns helfen, unsere Einschätzungen zu präzisieren und Therapieentscheidungen für alle Beteiligten transparenter zu gestalten.

Danksagung

Mein Dank gilt in allererster Linie meiner Frau für ihre unglaubliche Unterstützung, ohne die dieses Buch nicht möglich gewesen wäre. Ich danke Matthias Elling für seine unermüdlich positive Einstellung in den zahlreichen fachlichen Diskussionen, für seine Organisation und für die Zusammenstellung des Bildmaterials.

Den leitenden Physiotherapeuten des Deutschen Mehrkampfteams Frank Zander und Patrick Pfingsten gilt mein besonderer Dank für ihre Unterstützung und die erfolgreiche Zusammenarbeit seit vielen Jahren. Danke auch an den Bundestrainer Zehnkampf Christopher Hallmann für die permanente Ansprechbarkeit bei allen Fragen, Paul Schwarz für die Mithilfe bei den Bildern und meiner Lektorin Heidrun Häberle. Frau Kania und Frau Niesel aus dem Springer Verlag gilt mein Dank für die Realisierung dieses Buches.

Inhaltsverzeichnis

1 Muskelverletzungen	1
1.1 Muskelverletzungen der unteren Extremität	1
1.1.1 Verletzungen der Hamstrings	4
1.1.2 Verletzungen der Adduktoren	39
1.1.3 Verletzungen des M. rectus femoris	48
1.1.4 Verletzungen des M. triceps surae	58
1.2 Dehnen	67
Literatur	69
2 Hüftgelenk und Leiste	75
2.1 Beschwerden im Bereich des Hüftgelenkes und der Leistenregion	75
2.1.1 Femoroazetabuläres Impingement	75
2.1.2 Leistenbeschwerden	80
2.1.3 Proximale Hamstring-Tendinopathie	93
2.1.4 Tiefes gluteales Schmerzsyndrom	96
2.1.5 Gluteale Tendinopathie	100
Literatur	103
3 Kniegelenk	107
3.1 Akute Verletzungen des Kniegelenkes	107
3.1.1 Verletzungen des vorderen Kreuzbandes	108
3.1.2 Meniskusverletzungen	147
3.1.3 Return to Sport	156
3.1.4 Verletzungen des hinteren Kreuzbandes, der posterolateralen Ecke und multiligamentäre Knieverletzungen	168
3.1.5 Verletzungen des medialen Kollateralbandes	178
3.1.6 Luxation der Patella	187
3.2 Beschwerden im medialen, lateralen, vorderen und hinteren Kniegelenkbereich	189
3.2.1 Vorderer Knieschmerz	189
3.2.2 Tendinopathie des M. popliteus	207
3.2.3 Iliotibiales Bandsyndrom	208
3.2.4 Verletzungen des proximalen Tibiofibulargelenkes ...	214
Literatur	215

4	Unterschenkel	231
4.1	Mediales Tibia-Stress-Syndrom	231
4.2	Chronisches belastungsbedingtes Kompartmentsyndrom	233
4.3	Stressfrakturen der Tibia	236
	Literatur	239
5	Sprunggelenk und Achillessehne	243
5.1	Akutverletzungen des Sprunggelenkes	243
5.1.1	Laterale Bandverletzungen des Sprunggelenkes	248
5.1.2	Verletzungen der Syndesmose	256
5.2	Mediale Beschwerden am Sprunggelenk	261
5.2.1	Tendinopathie des M. tibialis posterior	261
5.2.2	Tendinopathie des M. flexor hallucis longus	264
5.2.3	Tarsaltunnelsyndrom	265
5.3	Laterale Beschwerden am Sprunggelenk	267
5.3.1	Tendinopathie der Peronealsehnen	267
5.3.2	Subtalare Instabilität	268
5.3.3	Kuboid-Syndrom	269
5.3.4	Anterolaterales Impingement des Sprunggelenkes ...	270
5.3.5	Posteriores Impingement des Sprunggelenkes	271
5.4	Achillessehne	273
5.4.1	Midportion-Tendinopathie	273
5.4.2	Beschwerden im Ansatzbereich der Achillessehne ...	281
5.4.3	Achillessehnenruptur	284
	Literatur	289
6	Fuß	297
6.1	Vorfuß	298
6.1.1	Frakturen an der Basis des 5. Mittelfußknochens	298
6.1.2	Turf Toe	300
6.1.3	Verletzungen der plantaren Sehnenplatte	302
6.1.4	Stressfraktur Ossa sesamoidea	304
6.2	Mittelfuß	305
6.2.1	Stressfraktur des Os naviculare	305
6.2.2	Verletzungen im Bereich der Intertarsalgelenke	307
6.2.3	Verletzungen im Bereich der Tarsometatarsalgelenke (Lisfranc-Gelenk)	308
6.3	Rückfuß	309
6.3.1	Plantarer Fersenschmerz	309
6.3.2	Stressfraktur des Kalkaneus	316
6.3.3	Engpassyndrom des N. plantaris lateralis (Baxter- Nerv)	317
	Literatur	317
7	Perspektiven	321
	Literatur	326

Über den Autor



Prof. Dr. med. Sven Reuter

ist Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie, Sportmediziner und Physiotherapeut.

Als Physiotherapeut arbeitete er im Bayer-04-Physioteam am Olympiastützpunkt Rheinland mit einer Vielzahl verschiedener Athleten zusammen. Als Arzt absolvierte er seine sportorthopädische Spezialisierung an Kliniken in Köln und München. Seit 2011 ist er Mannschaftsarzt des Mehrkampfteams im Deutscher Leichtathletik-Verband und begleitet Athleten regelmäßig im Rahmen internationaler Einsätze und Trainingslager.

2016 wurde er zum Professor für Therapiewissenschaften (Schwerpunkt Physiotherapie) an der SRH Hochschule für Gesundheit am Campus Stuttgart berufen. Er ist ständiger Lehrbeauftragter an der Universität Salzburg im Studiengang „Master of Science Sports Physiotherapy“ und Geschäftsführer bei PrehabSportsMedicine in Starnberg.

Inhaltsverzeichnis

1.1	Muskelverletzungen der unteren Extremität	1
1.1.1	Verletzungen der Hamstrings	4
1.1.2	Verletzungen der Adduktoren	39
1.1.3	Verletzungen des M. rectus femoris	48
1.1.4	Verletzungen des M. triceps surae	58
1.2	Dehnen	67
	Literatur	69

1.1 Muskelverletzungen der unteren Extremität

Muskelverletzungen zählen zu den häufigsten Verletzungen im Sport. So stellen Muskel-Sehnen-Verletzungen im Fußball immer noch den größten Anteil aller Verletzungen an der unteren Extremität dar (Lopez-Valenciano et al. 2020).

Die Schwere einer Muskelverletzung kann durch die Weiterentwicklung und die Verfügbarkeit von Sonografie und MRT zunehmend besser beurteilt werden. Klassifikationssysteme von Muskelverletzungen haben neben der Beurteilung der Verletzungsschwere auch das Ziel, die Rehabilitation an die individuelle Läsion anzupassen. Inwieweit jedoch eine Prognose der (sportartspezifischen) Ausfallzeit möglich ist, wird weiterhin diskutiert (Vermeulen et al. 2020). Möglicherweise spielt die Lokalisation der Muskelverletzung eine Rolle für die zu erwartende

Dauer der Rehabilitation sowie für die Wahrscheinlichkeit einer Wiederverletzung (Brukner und Connell 2016; Macdonald et al. 2019). So scheinen Verletzungen im Bereich freier Sehnenanteile (z. B. proximale Conjoint Tendon der Hamstrings) zu einer prolongierten Rehabilitation zu führen (Askling et al. 2008).

Diese klinischen Aspekte (insbesondere die Sehnenbeteiligung im Rahmen der Muskelverletzung) haben zuletzt zu einer Beschreibung von Klassifikationssystemen, wie der „British Athletics Muscle Injury Classification (BAMIC)“, geführt. Die BAMIC ist eine MRT-basierte Klassifikation, in der Muskelverletzungen nach Lokalisation und dem Verletzungsausmaß beurteilt werden (Macdonald et al. 2019).

Inwieweit tatsächlich eine Korrelation zwischen einer intramuskulären Sehnenbeteiligung und der Dauer der Rehabilitation besteht, wird diskutiert (van der Made et al. 2018). Mittlerweile gibt es zunehmend Hinweise für eine

Verlängerung der Rehabilitationszeit bei Beteiligung kollagener Strukturen, wie der Sehne oder der Aponeurose (Cross et al. 2004; Prakash et al. 2018; Macdonald et al. 2019). Andererseits scheint eine vollständige Wiederherstellung der intramuskulären Sehnenkontinuität nach einer Verletzung keine zwangsläufige Voraussetzung für die Wiederaufnahme sportlicher Aktivitäten zu sein (Vermeulen et al. 2020). Möglicherweise bestehen hier auch sportartspezifische Unterschiede (bzw. spielt die sportartspezifische Belastung des betroffenen Muskels eine Rolle).

Anderer Klassifikationen berücksichtigen darüber hinaus auch den Verletzungsmechanismus, die Lokalisation der Verletzung, den Schweregrad und die Anzahl der Wiederverletzungen (Valle et al. 2017).

Valle et al. beschreiben, dass der extrazellulären Matrix der Muskelfaser eine entscheidende Rolle für die Beurteilung des Schweregrades und der Prognose der Läsion zukommt.

Zuletzt wurde ein histomorphologischer Ansatz zu einer detaillierteren Einteilung struktureller Muskelläsionen präsentiert (Study Group of the Tendon System from the Spanish Society of Sports et al. 2020). Hintergrund ist auch hier die Beobachtung, dass die Heilungsdauer abhängig

von der Lokalisation der Verletzung zu sein scheint. Die Autoren-Gruppe geht zudem davon aus, dass Muskelverletzungen immer die myotendinöse oder die myofasziale Verbindung betreffen.

Unterschieden werden zwei Hauptkategorien (Abb. 1.1):

- Verletzungen der myotendinösen Verbindung (= Verletzung der Aponeurose oder der Sehne mit ihren Ausläufern zur Muskelfaser)
- Verletzungen der myofaszialen Verbindung (Verletzung des Epi-/Perimysiums mit den Ausläufern zur Muskelfaser)

Neben diesen beiden Formen sind auch intramuskuläre Verletzungen sowie Kombinationen verschiedener histomorphologischer Läsionsarten im Zusammenhang mit ein und derselben Verletzung möglich. Prognostisch wird in dieser Klassifikation die Dauer der Regeneration von myofaszialen und intramuskulären Verletzungen günstiger beschrieben als der Verlauf bei einer Beteiligung der Sehne oder der Aponeurose (bzw. deren Ausläufern).

Neben diesen strukturellen Verletzungen des Muskels wurde in der Vergangenheit auch eine

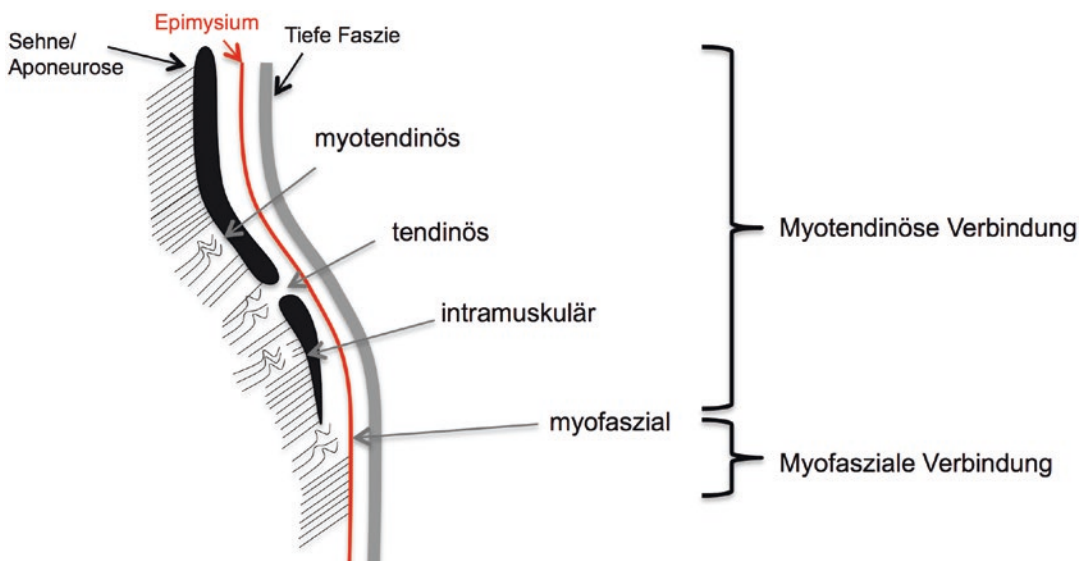


Abb. 1.1 Schematische Darstellung verschiedener Verletzungs-Lokalisationen im myofaszialen und myotendinösen Bereich des Skelettmuskels (Study Group of the Tendon System from the Spanish Society of Sports et al. 2020)

Kategorie der „funktionellen Muskelverletzungen“ beschrieben (Mueller-Wohlfahrt et al. 2013). Die neueren Klassifikationssysteme können als Erweiterung des Bereichs der strukturellen Muskelverletzungen verstanden werden, die zusätzliche Faktoren wie Verletzungsmechanismus, Lokalisation, Schweregrad und Anzahl der Wiederverletzungen berücksichtigen (Abb. 1.2).

Eine radiologische Beurteilung erscheint insbesondere bei einem Verdacht auf eine strukturelle Muskelverletzung hilfreich, da sich diese Läsionen allein durch eine klinische Untersuchung nicht objektivieren lassen. Die Diagnose einer intramuskulären Sehnenbeteiligung basierend nur auf der klinischen Untersuchung (ohne Bildgebung) erscheint nicht möglich (Crema et al. 2017). In der klinischen Präsentation kann es zudem zu einer Überschneidung der Symptome von „funktionellen“ und „strukturellen“ Muskelverletzungen kommen (Tol et al. 2013).

Eine möglichst frühzeitige MRT-Bildgebung (24–48 h) nach der Verletzung scheint dann vorteilhaft und wird empfohlen (Valle et al. 2017).

Wie bereits erwähnt gibt es zunehmend Hinweise, dass eine Beteiligung aponeurotischer oder (intra-)tendinöser Muskelanteile zu einem prolongierten Heilungsverlauf führen (Cross et al. 2004; Prakash et al. 2018; Macdonald et al. 2019). Da diese Verletzungen eine Adaptation der Rehabilitation erfordern (Progression von Volumen und Intensität, Zeitpunkt des Beginns von Plyometrie, Exzentrik und des Trainings am Bewegungsende etc.), kann hier eine Bildgebung in Ergänzung zur klinischen Einordnung hilfreich sein.

Das übergeordnete Ziel der Rehabilitation ist es, den physiologischen Heilungsverlauf (Abb. 1.3) nach einer Muskelverletzung möglichst günstig zu beeinflussen und das Ausmaß der Ausbildung der Fibrose zu reduzieren.

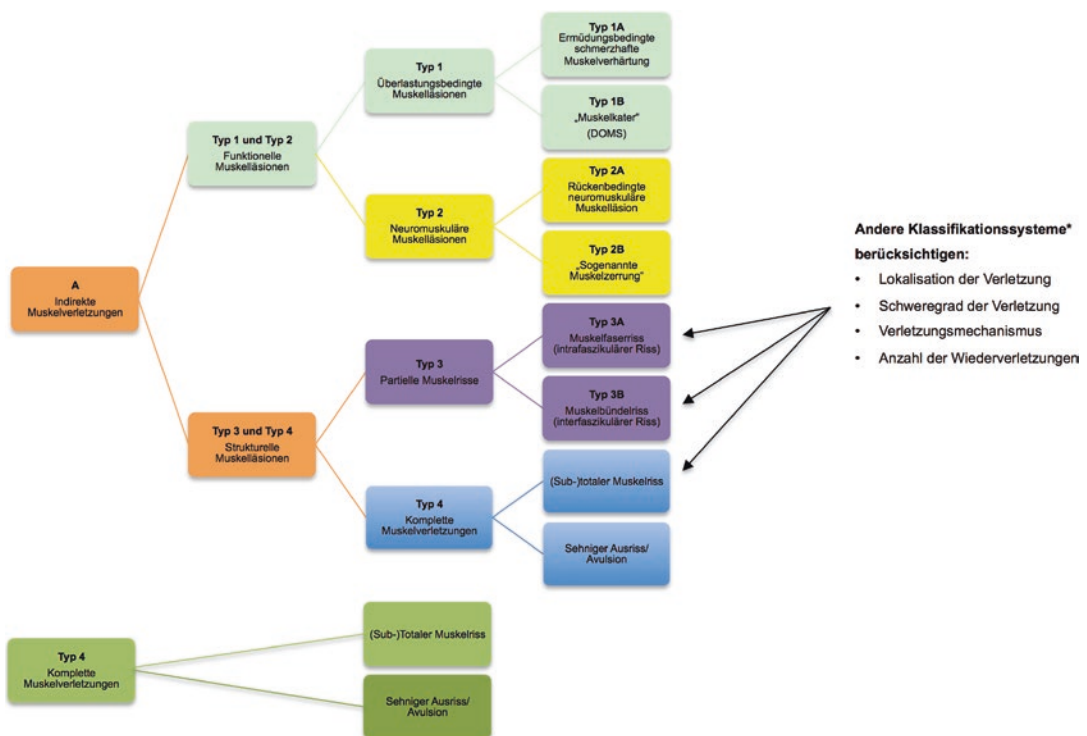


Abb. 1.2 Klassifikation von Muskelverletzungen (Mueller-Wohlfahrt et al. 2013). *(Valle et al. 2017; Macdonald et al. 2019; Study Group of the Tendon System from the Spanish Society of Sports et al. 2020)

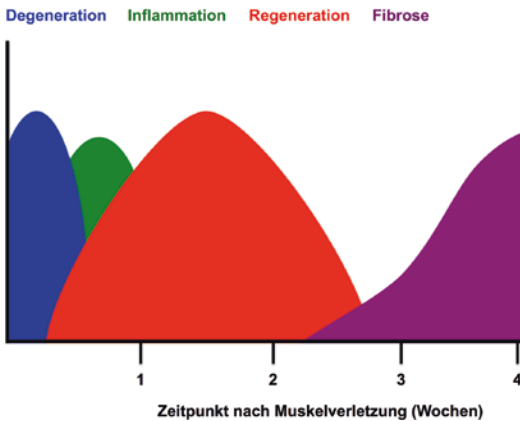


Abb. 1.3 Heilungsprozess der Skelettmuskulatur in mehreren sich überlappenden Phasen (Gharaibeh et al. 2012)

1.1.1 Verletzungen der Hamstrings

Die Inzidenz von Verletzungen der Hamstrings wird mit einem Anteil von 12–16 % aller Verletzungen angegeben und konnte trotz aller Bemühungen in den letzten Jahren nicht wesentlich reduziert werden (Ekstrand et al. 2016).

Zu einem großen Anteil ist der M. biceps femoris (83 %) betroffen. Läsionen des M. semimembranosus (12 %) und des M. semitendinosus (5 %) sind seltener (Hallen und Ekstrand 2014).

Akute Verletzungen der Hamstrings lassen sich in zwei Gruppen (Abb. 1.4) einteilen (Asklng et al. 2000, 2012):

- **Typ-1-Verletzungen**, die im Rahmen von Sprintaktivitäten auftreten und dann häufig den M. biceps femoris im myotendinösen Übergang betreffen.
- **Typ-2-Verletzungen**, die im Zusammenhang von Bewegungen mit einer Kombination aus Hüftgelenkflexion und Kniegelenkextension auftreten und im Bereich der proximalen freien Sehne des M. semimembranosus lokalisiert sind.

Die Ätiologie von Hamstring-Verletzungen ist komplex. Ein höheres Lebensalter, eine alte Muskelverletzung der Hamstrings/Wade oder eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes stellen ein erhöhtes Risiko für eine erneute Hamstring-

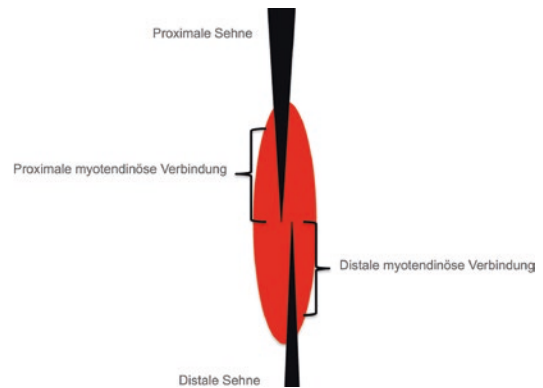


Abb. 1.4 Typ-1-Verletzungen (Sprint-assoziiert) betreffen primär den M. biceps femoris und sind oftmals im proximalen myotendinösen Übergang lokalisiert. Typ-2-Verletzungen (Dehnungs-assoziiert) sind typischerweise in der Nähe des Tuber ischiadicum lokalisiert und betreffen den M. semimembranosus. Adaptiert an (Asklng et al. 2007; Brukner und Khan 2016)

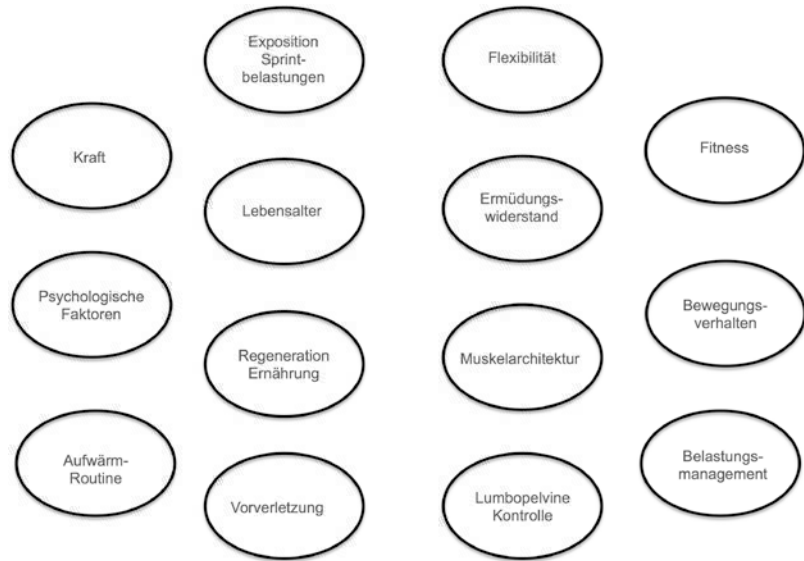
Verletzung dar (Green et al. 2020). Die Hamstrings spielen eine Rolle in der Rotationssicherung des Kniegelenkes, woraus sich ein möglicher Zusammenhang mit Verletzungen des vorderen Kreuzbandes (VKB) ergibt. Der M. biceps femoris wirkt gegen eine tibiale Innenrotation gegenüber dem Femur und stabilisiert die posterolaterale Ecke des Kniegelenkes (Stepien et al. 2019). Darüber hinaus ist er der effektivste Anteil der Hamstrings zur Reduktion von Belastungen auf das VKB (durch seine Reduktion der anterioren tibialen Translation) (Biscarini et al. 2013; Dolman et al. 2014).

Buckthorpe et al. beschreiben eine Vielzahl von Faktoren (Abb. 1.5), die im Zusammenhang mit der Prävention von Hamstring-Verletzungen berücksichtigt werden können.

Bittencourt et al. haben zuletzt ein Modell im Zusammenhang mit Sportverletzungen beschrieben, das die Komplexität und die Interaktion dieser multiplen Faktoren berücksichtigt (Bittencourt et al. 2016). Abb. 1.6 zeigt exemplarisch die Einordnung einiger der o. g. Faktoren in ein „Determinanten-Netzwerk“ im Zusammenhang mit Hamstring-Verletzungen. Basierend darauf wird klar, dass eine Vorhersage von Verletzungen kaum möglich erscheint.

Anders als bei Verletzungen des VKB lag zuletzt der Diagnostik und der Therapie von

Abb. 1.5 Faktoren, die im Zusammenhang mit Hamstring-Verletzungen stehen können (Buckthorpe et al. 2019)



HS-Verletzungen ein vergleichsweise reduktionistischer Ansatz zugrunde.

Ausgehend von der Beobachtung, dass VKB-Verletzungen im Rahmen von (Sprung-) Landungen oder Richtungswechseln auftreten, kommt der Analyse dieser Aktivitäten und dem Training eines entsprechend assoziierten Bewegungsverhaltens immer schon ein wichtiger Stellenwert zu. Das heißt, die Therapie einer VKB-Verletzung wurde immer schon mit einem Blick auf die Risikokinematik/Aktivitäten durchgeführt. Im Gegensatz dazu wird bei HS-Verletzungen oftmals in erster Linie der Muskel „behandelt“ und/oder trainiert (meist exzentrisch). Dies ist insofern verwunderlich, da bekannt ist, dass HS-Verletzungen vor allem bei Sprintaktivitäten auftreten. Anders gesagt ist die Risikoaktivität einer HS-Verletzung gleichermaßen bekannt (wie die einer VKB-Verletzung), findet in der Rehabilitation aber vergleichsweise weniger Beachtung (als die Kinematik bei einer VKB-Verletzung).

Die weiterhin hohe Inzidenz von HS-Verletzungen zeigt, dass eine Reduktion auf einzelne Risikofaktoren (und deren Therapie) nicht zielführend zu sein scheint (Mendiguchia et al. 2012). Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer multifaktoriellen Rehabilitation, die nicht nur auf die Hamstrings selbst ausgerichtet sein sollte

(z. B. isoliertes exzentrisches Krafttraining).¹ Es etablieren sich daher zunehmend Ansätze, die Analyse und Training der verletzungsspezifischen Risikoaktivität berücksichtigen (z. B. Sprint in der Leichtathletik, Richtungswechsel und Sprint im Fußball). Auf der anderen Seite erscheint ein rein „Sprint-orientierter Ansatz“ ebenso wenig geeignet, der Komplexität dieser Verletzungen gerecht zu werden.

Ein großer Anteil der HS-Verletzungen tritt in Zusammenhang mit Sprintaktionen auf (Arnason et al. 2008). Kurze Beschleunigungen und lineares Sprinten sind zwei der wichtigsten Leistungsvoraussetzungen im Fußball (Faude et al. 2012). Die HS zeigen eine geschwindigkeitsabhängige Aktivierung, d. h. je höher die Geschwindigkeit, desto größer ist ihre muskuläre Aktivität (Schache et al. 2014). Die Progression von Jogging-Geschwindigkeiten hin zu Sprint-Geschwindigkeiten ist abhängig von der Leistungsfähigkeit der Plantarflexoren und der Hüftgelenkmuskulatur. So spielen bei Geschwindigkeiten bis ca. 7 m/s vor allem die Plantarflexoren eine wichtige Rolle. Bei Geschwindigkeiten darüber hinaus kommt es zu einem

¹Zumal Sprinter (Spezialisten) meist exzentrisch sehr stark sind und bereits über eine adäquate Fasziellänge verfügen (Mendiguchia et al. 2020).

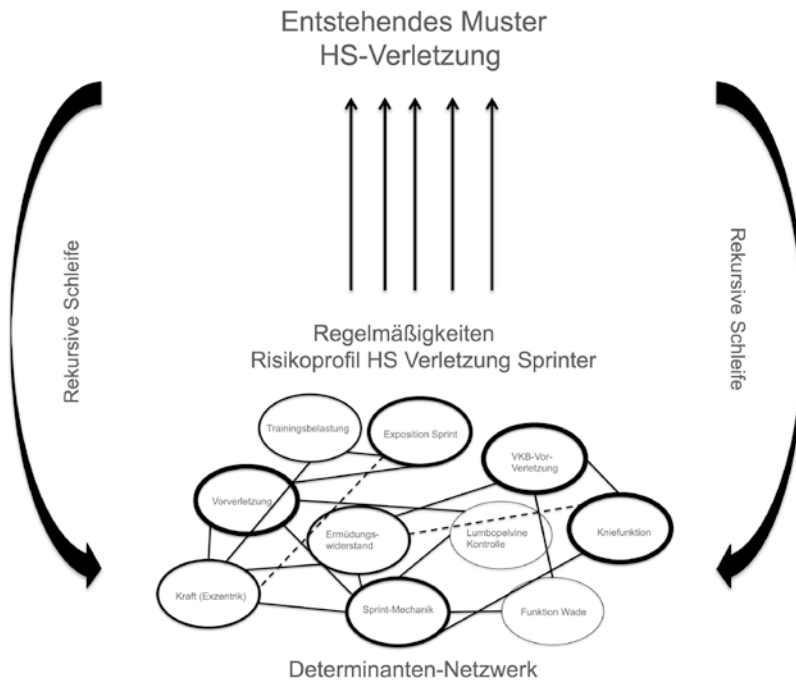


Abb. 1.6 Komplexes Modell für Sportverletzungen (exemplarisches Beispiel für Hamstring (HS)-Verletzungen bei einem Sprinter). In Anlehnung an (Bittencourt et al. 2016). Erklärung zu Abb. 1.6: Die Gruppe der Variablen am unteren Ende bildet das Netzwerk der Determinanten, welches sich aus beitragenden Variablen mit unterschiedlicher Gewichtung zusammensetzt. Variablen, die durch dunklere Linien eingekreist sind, haben mehr Interaktionen als Variablen, die durch hellere Linien eingekreist sind (und üben damit einen größeren Einfluss auf das Re-

sultat aus). Gestrichelte Linien stellen eine schwache Wechselwirkung dar, dicke Linien stellen eine starke Wechselwirkung zwischen Variablen dar. Die Variablen und Interaktionen würden für einen Athleten aus einer anderen Sportart vollkommen anders aussehen (bzw. gewichtet werden). Beachte: Es handelt sich um eine exemplarische Darstellung des Modells, in der nur einige der für HS-Verletzungen relevanten Variablen aufgeführt sind und deren Interaktion für die Veranschaulichung gewählt wurde

Wechsel auf eine Hüftstrategie, bei der die Kraft dann hauptsächlich durch die Hüftgelenkmuskulatur entwickelt wird (Schache et al. 2014). In der Schwungbeinphase und der Standbeinphase (Sprint) sind die HS einer hohen Spannung, unter gleichzeitiger Verlängerung zur Kontrolle der Kniegelenkextension (exzentrische Kontraktion), ausgesetzt. Diskutiert wird, ob HS-Typ-1-Verletzungen in der späten Schwungbeinphase oder in der frühen Standbeinphase auftreten (Kenneally-Dabrowski et al. 2019). In Sprintaktivitäten spielen die Hamstrings zudem eine wichtige Rolle in der horizontalen Kraftentwicklung, insbesondere in der Beschleunigungsphase (Ishoi et al. 2019). Die horizontale Kraftentwicklung ist wiederum eng mit der Sprintleistung verknüpft (Morin et al. 2015). Bei Athleten, die in der Lage sind, große horizontale Kräfte zu entwickeln, wurde

eine verstärkte Aktivierung der Hamstrings kurz vor der Bodenkontaktphase sowie eine größere exzentrische HS-Maximalkraft gemessen (Morin et al. 2015). Unter Ermüdung zeigt sich eine Veränderung der horizontalen Kraftentwicklung: Während sich die Aktivität der Hamstrings verringert, erhöht sich die Aktivität der Glutealmuskulatur (Edouard et al. 2018).

- Möglicherweise spielt die Glutealmuskulatur (insbesondere M. gluteus maximus) eine entscheidende Rolle zur Sicherstellung der horizontalen Kraftentwicklung unter Ermüdungsbedingungen.

Dies könnte bedeuten, dass die Hüftextensoren unter Ermüdung die HS-Funktion „kompensieren“ und diese so möglicherweise vor einer

Überlastung schützen (Edouard et al. 2018). Dementsprechend erscheint es sinnvoll, Sprintaktivitäten (insbesondere Beschleunigungen) sowie ein Training der Glutealmuskulatur in die Rehabilitation miteinzubeziehen und auch unter Ermüdung zu trainieren. Beobachtet wurde im Zusammenhang mit HS-Verletzungen, dass eine Verringerung der horizontalen Kraftentwicklung (v. a. in der Beschleunigungsphase) auch nach erfolgreicher Reintegration in den Sport (Return to Sport) noch vorhanden ist (Mendiguchia et al. 2016).

- ▶ Hamstring-Verletzungen scheinen demnach verschiedene Kraftqualitäten zu beeinträchtigen und beschränken sich nicht nur auf eine Verminderung der konzentrischen und/oder exzentrischen Maximalkraft.

Eine verminderte lumbopelvine Kontrolle wird als biomechanischer Risikoparameter für HS-Verletzungen diskutiert. Die Evidenz hierzu ist derzeit allerdings noch limitiert (Schuermans et al. 2017). Der Zusammenhang einer exzessiven Beckenkipfung und daraus resultierenden Veränderungen des Muskel-Längen-Spannungsverhältnisses (mit Einfluss auf die Muskelfunktion) erscheint nachvollziehbar. Auf der anderen Seite ermöglicht die Beckenkinematik (insbesondere eine anteriore Beckenkipfung) eine Vorspannung passiver Elemente, durch die wiederum (bis zu einem bestimmten Punkt) die Bewegungseffizienz potenziell gesteigert werden kann.

Faktoren wie eine exzessive nach posterior orientierte Sprint-Mechanik mit einem resultierenden niedrigen Kniehub können eine Rolle spielen, wie effizient der Athlet läuft. Daneben ist auch die Fähigkeit der Kraftübertragung unter hohen Geschwindigkeiten ein wichtiger Leistungsparameter, der durch die „Steifigkeit“ der Extremität (ausgehend vom Fuß) beeinflusst wird. Aus Perspektive einer interdisziplinären Athleten-Betreuung ist hier eine enge Kommunikation zwischen medizinischem Team und dem Trainer absolut unerlässlich, um diese individuellen Potenzialbereiche in die Rehabilitation einzubeziehen.

Prognose

In der Literatur sind verschiedene Faktoren beschrieben, die möglicherweise im Zusammenhang mit der Prognose von HS-Verletzungen stehen. Bei den meisten Faktoren ist die Evidenz jedoch widersprüchlich (Schut et al. 2017).

- Beteiligung der intramuskulären oder freien Sehne => längere Rehabilitationsdauer (Askling et al. 2007; Pollock et al. 2016)
- Je proximaler die Verletzung => längere Rehabilitationsdauer (Askling et al. 2007)
- Passive Bewegungseinschränkung der betroffenen Seite im Straight Leg Raise- oder Active Knee Extension-Test einige Tage nach der Verletzung => längere Rehabilitationsdauer (Malliaropoulos et al. 2010; Moen et al. 2014)
- Die Rehabilitation von Typ-2-Verletzungen dauert im Vergleich zu Typ-1-Verletzungen länger (Askling et al. 2006, 2007).
- Der Zeitpunkt, an dem schmerzfreies Joggen (nach einer HS-Verletzung) erstmals wieder möglich ist, korreliert mit der Wiederherstellung der Sportfähigkeit (Verrall et al. 2003):
 - 1–2 Tage \leq 2 Wochen bis zur Sportfähigkeit
 - 3–5 Tage \geq 2 Wochen bis zur Sportfähigkeit
 - 5 Tage \geq 4 Wochen bis zur Sportfähigkeit
- Ausgedehnter Palpationsschmerz (longitudinal), Abbruch der Aktivität nach Verletzung innerhalb von 5 min, stärkerer Schmerz zum Zeitpunkt der Verletzung => längere Rehabilitationsdauer (Guillodo et al. 2014; Wangenstein et al. 2015)

Schut et al. beschreiben moderate bis limitierte Evidenz der RTS-Vorhersage nach akuter HS-Verletzung durch die Parameter: Muskelschmerz während Alltagsaktivitäten, „Geräusch“ im Rahmen der Verletzung, Abbruch der Aktivität innerhalb von 5 min nach Verletzung, Schmerz bei der Rumpfbeugung, Schmerz in aktiver Knieflexion, Ausdehnung des Palpationsschmerzes, Hämatom, Schmerzintensität zum Zeitpunkt der Verletzung, Einschätzung der Sportfähigkeit durch den Athleten und den Untersuchenden (Schut et al. 2017).

- ▶ Aufgrund der multifaktoriellen und komplexen Charakteristik von Hamstring-Verletzungen ist es fraglich, ob überhaupt einzelne Faktoren identifizierbar sind, die eine Individuum- und sportartübergreifende Return to Sport-Prognose bei Hamstring-Verletzungen erlauben (Schut et al. 2017)

Diagnostik

Tab. 1.1 zeigt eine Übersicht über die Diagnostik bei Verletzungen der Hamstrings (Abb. 1.7, 1.8, 1.9 und 1.10).

Therapie

Die Akuttherapie einer HS-Verletzung erfolgt nach den POLICE/PEACE-Prinzipien.

Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Anwendung einer neuromuskulären elektrischen Stimulation (NMES) ein posttraumatisches Ödem möglicherweise reduzieren kann (Burgess et al. 2019; Wainwright et al. 2019). Evidenz zur NMES-Anwendung bei muskulären Verletzungen gibt es bislang noch nicht. Ein frühzeitiger Einsatz von NMES bei Muskelverletzungen zur Ödemreduktion und zur Limitation einer post-

Tab. 1.1 Diagnostik bei Hamstring-Verletzungen

Inspektion	Palpation	Aktive Bewegung	Andere
<ul style="list-style-type: none"> • Hämatom • Beckenstellung • Muskelrelief • Gangbild 	<ul style="list-style-type: none"> • Hamstrings • Tuber ischiadicum • Gluteale Muskulatur • Adduktoren (insbesondere M. adductor magnus) • Lendenwirbelsäule • Iliosakralgelenk 	<ul style="list-style-type: none"> • Hüftextension • Aktive Knieextension in Rückenlage • Bewegung der Lendenwirbelsäule • Widerstand: <ul style="list-style-type: none"> o Knieflexion o Hüftextension (in Knieextension) o SL Bridging 	<ul style="list-style-type: none"> • Bent-Knee Stretch-Test • Heel-Drag-Test

SL: unilateral

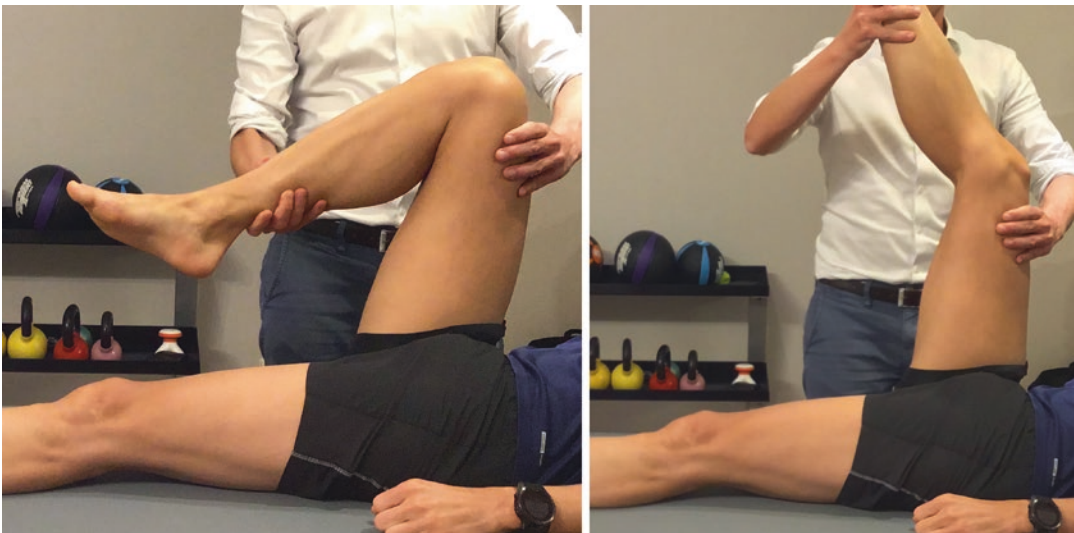


Abb. 1.7 Bent-Knee Stretch-Test. Hüftgelenk und Kniegelenk werden maximal in Flexion gebracht. Im Anschluss wird das Knie langsam durch den Untersuchenden in Extension geführt (Ahmad et al. 2013)



Abb. 1.8 Aktive Knieextension in Rückenlage



Abb. 1.9 Heel Drag-Test (Bowman et al. 2013)



Abb. 1.10 Single-Leg Bridging. Als Schnelltest in verschiedenen Kniegelenkflexionswinkeln durchführbar (0–90°)

traumatischen Inhibition der Muskulatur ist aus klinischer Perspektive aber denkbar.

► Praxistipp

- Es ist eine Vielzahl an HS-Trainingsvarianten beschrieben.
- Grundsätzlich sollte immer hinterfragt werden, welches Ziel mit einer bestimmten Trainingsvariante verfolgt wird.
- Im Rahmen einer Progression/Regression lassen sich viele Faktoren „manipulieren“: Bewegungsausmaß, externes Gewicht, Perturbation, Bewegungsebene, Hebel­länge (lang/kurz), Widerstand, Kontraktionsform usw.
- Die HS-Rehabilitation sollte ein breites Spektrum an Trainingsvarianten unter der Berücksichtigung der Muskelphysiologie sowie (sportartspezifischer) kinetischer und kinematischer Charakteristika (z. B. Sprint) abdecken.
- Für das Training gilt grundsätzlich: Gesamtes Spektrum der Kraft-Geschwindigkeits-Relation abdecken („Surf the curve“) und dabei die sportartspezifischen relevanten Bereiche fokussieren.

In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass Trainingsvarianten mit Betonung der Muskellänge den Verlauf der Rehabilitation positiv beeinflussen können. Basierend darauf wurden Interventionen wie das „Lengthening (L)-Protokoll“ entwickelt, das bereits 3–5 Tage nach der Verletzung begonnen werden kann (Abb. 1.11) (Askling et al. 2014). Im Gegensatz zu neueren Ansätzen wird im L-Protokoll die Lokalisation der Verletzung nicht berücksichtigt. Zudem steht das lokale Training der HS im Vordergrund. Ein vergleichbarer Ansatz (ein „lokal“-fokussiertes Muskeltraining) wurde in der Vergangenheit z. B. auch bei Adduktorenverletzungen verfolgt.

L (Lengthening)-Protokoll Schmerzfreie Durchführung, Beginn 3–5 Tage nach der Verletzung, pro Tag 1 Variante (Askling et al. 2014)

Mittlerweile haben sich multifaktorielle Rehabilitationsprotokolle etabliert, die neben der lo-

kalen Therapie der HS (meist in der Frühphase) auch eine Vielzahl weiterer Faktoren berücksichtigen.

So beschreiben McDonald et al. grundsätzliche Behandlungsprinzipien im Zusammenhang mit HS-Verletzungen in der Leichtathletik (Macdonald et al. 2019). Neben der spezifischen (strukturellen) Diagnose und der Klassifikation der Verletzung werden eine Förderung der Zusammenarbeit des sportwissenschaftlichen und medizinischen Teams sowie das Einbeziehen von Trainer und Athlet in die gemeinsame Entscheidungsfindung in den Mittelpunkt der Therapie gestellt. Darüber hinaus werden folgende Ansätze empfohlen:

a) Muskel- und Bewegungs-Training

- Berücksichtigung der unterschiedlichen Funktion der HS im Sprint:
 - M. biceps femoris (erfährt die größte Dehnung): Höhere Aktivierung in der Beschleunigungsphase und in der terminalen Schwungbeinphase
 - M. semimembranosus (Krafterzeuger): Spielt eine wichtige Rolle in der Kraftabsorption und der Kraftentwicklung in der Stand-/Schwungbeinphase
 - M. semitendinosus (erfährt die größte Verlängerungsgeschwindigkeit): Ist v. a. während hoher Geschwindigkeit aktiv
 - => Auswahl der Trainingsinterventionen entsprechend dem Zielmuskel
 - => Progressives Lauftraining zur funktionellen Aktivierung aller Muskeln
 - => Lauf(technik)-Training zur Verbesserung der horizontalen Kraftentwicklung, z. B. durch Adressierung einer anterioren Beckenkipfung und/oder bei einer eingeschränkten Hüftgelenkflexion

b) Zielorientiertes Krafttraining

- Ziel: Es soll eine große exzentrische Kraftkapazität aufgebaut werden. Warum?
 - Die terminale Schwungbeinphase im Sprint erfordert eine große exzentrische Kraft.



Abb. 1.11 Extender (oben): 2xtäglich/3x12 Wiederholung. Diver (mittig): 1xtäglich/3x6 Wiederholungen. Slider (unten): 1xtäglich/3x4 Wiederholungen

- Es besteht ein Zusammenhang zwischen einem exzentrischen Kraftdefizit und einer Wiederverletzung der HS.
- Eine HS-Verletzung bedingt ein Kraftdefizit und architektonische Muskelveränderungen => Exzentrisches Training führt zu

einer Erhöhung der Faszikellänge* (= protektiver Effekt).

- * auch Sprintbelastungen führen zu einer Erhöhung der Faszikellänge (M. biceps femoris) (Mendiguchia et al. 2020)
- Exzentrisches Krafttraining hat einen verletzungspräventiven Effekt.

- Ziel: Der Muskel-Sehnen-Übergang soll spezifisch entwickelt werden.

Warum?

- Möglicherweise kommt es am Ende der Schwungbeinphase zu einer isometrischen Kontraktion (anstelle einer Exzentrik) der HS mit einer Verlängerung der musklotendinösen Einheit, primär durch die Verlängerung der Sehne.
- Eine isometrische Kontraktion kann möglicherweise die mechanische Arbeit der kontraktile Elemente reduzieren (Unterstützung des Federmechanismus der Sehne im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus).
- Hochdosiertes isometrisches Training kann die Funktion (ausgehend von der Annahme einer isometrischen Kontraktion in der terminalen Schwungbeinphase) spezifischer trainieren als ein exzentrisches Training.
- Ziel: Es soll eine Ermüdungswiderstandskapazität entwickelt werden (z. B. durch SL Roman Chair Hold).

Warum?

- Ermüdung erhöht das Verletzungsrisiko der HS.
- Der Ermüdungswiderstand ist in Folge der muskulären Verletzung reduziert.
- Ziel: Überwindung der selektiven muskulären Inhibition durch die Verletzung.

Warum?

- Eine HS-Verletzung kann zu akuten und chronischen zentralnervösen Beeinträchtigungen mit selektiver Inhibition der Muskulatur führen.
- Isometrisches Training führt zur Reduktion der muskulären Inhibition der HS.
- Schweres isometrisches Training führt zur Verbesserung der motorischen HS-Ansteuerung. Bei Schmerz => mit Hilfe von Isometrie kann eine muskuläre Inhibition reduziert werden. Dadurch wird

exzentrisches Training (oder andere Trainingsformen) ermöglicht.

c) **Anwendung eines multifaktoriellen Ansatzes unter Berücksichtigung von zusätzlichen Faktoren, die zum Verletzungsrisiko beitragen könnten**

- Eine verminderte lumbopelvine Kontrolle mit vermehrter Beckenbewegung könnte die Belastung der HS erhöhen.
=> Integration von lumbopelvinem Training (Frontal-/Sagittal-/Transversalebene), Antirotationstraining (spinale Steifigkeit erhöhen), Training der einbeinigen Standstabilität. Manuelle Therapie zur Beeinflussung von Schmerzen.
- Hüftgelenk: Schwäche und/oder Aktivierungsdefizit des M. gluteus maximus als potenzieller Risikofaktor für HS-Verletzung (insbesondere unter Ermüdung, s. o.).
- Hüftgelenk: Eingeschränkte Hüftflexion bei femoroazetabulärem Impingement => dadurch verminderter Kniegelenkhub und vermehrte Belastung auf HS.

Basierend auf diesen Managementprinzipien und in Abhängigkeit von der Verletzungsklassifikation ist eine individuelle Rehabilitation möglich. Die Progression orientiert sich an der Verletzungsschwere. Schnelle Intensitäten und exzentrische Belastungen werden bei höhergradigen Verletzungen (insbesondere bei intramuskulärer Sehnenbeteiligung)² später begonnen als bei Verletzungen ohne Sehnenbeteiligung (Macdonald et al. 2019). Tab. 1.2 zeigt exemplarisch eine Progression der HS-Belastung am Beispiel einer moderaten, distalen Verletzung des M. biceps femoris im myotendinösen Übergang. Ergänzend zu diesem Pro-

²Diskutiert wird, inwieweit eine intramuskuläre Sehnenbeteiligung einen Einfluss auf die Rehabilitationsdauer haben kann (Pollock et al. 2016; van der Made et al. 2018). Eine Anpassung des Trainings in Bezug auf sehnenbelastende Interventionen (Exzentrik, Plyometrie, höhere Geschwindigkeit usw.) erscheint möglicherweise sinnvoll. Einen Konsensus hierzu gibt es derzeit nicht.

Tab. 1.2 Belastungsprogression am Beispiel einer distalen Bizeps-femoris-Verletzung (BAMIC 2b) (Macdonald et al. 2019)

Woche	1	2
Ziel	1.Vermeidung Inhibition 2.Förderung Gewebeheilung	1.Aufbau Ermüdungswiderstand 2.Betonung hüftdominante exzentrische Belastung
Elongations-Stress	Niedrig	Niedrig-moderat
Intensität/Volumen	Niedrig (z. B. 10–12 RM)/moderat-hoch (z. B. 4–5 Sätze)	Moderat (8–10 RM)/moderat (3–4 Sätze)
Häufigkeit pro Woche	3–4	3–4
Übungsauswahl	<ul style="list-style-type: none"> • Isometrische Hamstring Curls • DL Roman Chair Isometrie • Kniebeugen • Aufsteiger 	<ul style="list-style-type: none"> • SL Roman Chair Isometrie • 90–90 Bridge Kapazität • Isometrische Hamstring Curls unter zunehmender Muskellänge • SL RDL
Woche	3	4
Ziel	1.Progression Exzentrik in großer Muskellänge 2.Erhöhung exzentrische Belastung distal durch kniedominante Trainingsauswahl	1.Erhöhung kniedominante exzentrische Belastung
Elongation	Moderat	Hoch
Intensität/Volumen	Moderat-hoch (z. B. 6–8 RM)/moderat-hoch (z. B. 3–4 Sätze)	Hoch (2–6 RM)/moderat-niedrig (2–3 Sätze)
Häufigkeit pro Woche	3	2
Übungsauswahl	<ul style="list-style-type: none"> • SL RDL • SL Roman chair mit Gewicht • Nordics 	<ul style="list-style-type: none"> • SL RDL • SL Roman chair mit Rudern • Nordics • Flywheel

DL: bilateral, SL: unilateral, RDL: Romanian Deadlift, RM: Wiederholungsmaximum

Tab. 1.3 HS-Aktivierung verschiedener Trainingsvarianten (Bourne et al. 2017)

Kniedominant (mediale HS)	Hüftdominant (laterale HS)
<ul style="list-style-type: none"> • Nordics • Biceps Curl • Flywheel Curl 	<ul style="list-style-type: none"> • Stiff Leg Deadlift • Hüft Extension Pulley • Hüft Extension • Russian Deadlift • Bridging

gramm wird ein progressives Laufprogramm durchgeführt.

- Ein Sprinttraining nach einer exzentrischen Krafttrainingseinheit wird auf-

grund einer Verminderung der Aktivierung der HS nicht empfohlen.

- Ein Krafttraining (auch mit Exzentrik) nach einem Sprinttraining (1–2 h) ist möglich, am Folgetag sollte dann allenfalls ein niedrig-dosiertes Lauftraining erfolgen.

- ▶ **Praxistipp** Tab. 1.3 und 1.4 zeigen die unterschiedlichen Aktivierungsmuster knie- bzw. hüftdominanter Trainingsvarianten. Knieflexionstrainings-Varianten (kniedominant) aktivieren v. a. die mediale HS-Gruppe, während hüftdominante Trainingsvarianten eher die lateralen HS aktivieren (Bourne et al. 2017). Die Abb. 1.12, 1.13, und 1.14

Tab. 1.4 Regionale HS-Aktivierung verschiedener Trainingsvarianten (Mendez-Villanueva et al. 2016)

		Flywheel Leg-Curl	Nordics	Russian Belt Deadlift	Hip Extension Conic-Pulley
M. biceps femoris (langer Kopf)	proximal	+		+	++
	medial	++		+	+
	distal	++	+	+	
M. biceps femoris (kurzer Kopf)	proximal	++	++	+	
	medial	++	++		
	distal	++	++	+	
M. semitendinosus	proximal	++	++	++	+
	medial	++	++	++	++
	distal	++	++	+	
M. semimembranosus	proximal			++	
	medial	++		+	
	distal			+	



Abb. 1.12 Nordic Hamstrings (Nordics)



Abb. 1.13 Russian Belt Deadlift

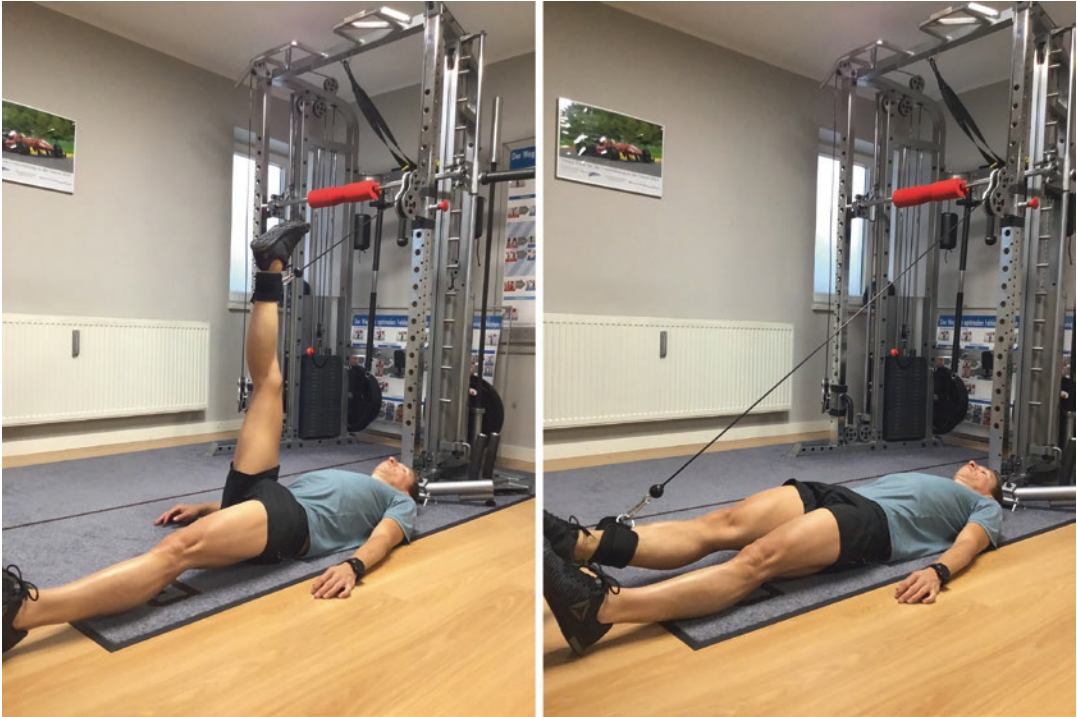


Abb. 1.14 Hip Extension Pulley

zeigen exemplarisch drei Trainingsvarianten.

Tab. 1.5 zeigt beispielhaft einen Rehabilitationsalgorithmus bei HS-Verletzungen, der im Zusammenhang mit Grad I-Verletzungen bei Fußballern durchgeführt wurde. Auch dieser Algorithmus folgt einem multifaktoriellen Ansatz unter Berücksichtigung der HS-Aktivität im Fußball (Sprint und Schießen). Die Autoren schlagen zudem ein Periodisierungsschema (Tab. 1.6) mit Schwerpunkt-Kombinationen innerhalb drei unterschiedlicher Einheiten (= Session 1–3) vor. Dabei steht im Vordergrund, dass die Lauf-Ein-

heit einen ausreichenden Abstand zum Krafttraining hat, so dass der Athlet diese dann möglichst erholt durchführen kann. Auch im HS-Protokoll von McDonald et al. wird auf eine Trennung zwischen Lauftraining und Krafttraining hingewiesen, eine konkrete Periodisierung ist aber nur von Mendiguchia et al. beschrieben. Intensität, Volumen und Spezifität des Laufprogramms werden hingegen bei McDonald et al. detaillierter beschrieben.

Regenerationsphase nach HS-Verletzung

Trainingsbeispiele basierend auf (Mendiguchia et al. 2017) (Abb. 1.15, 1.16, 1.17, 1.18, 1.19, 1.20 und 1.21).

Tab. 1.5 Rehabilitationsalgorithmus bei HS-Verletzungen (Mendiguchia et al. 2017)

	Regenerationsphase	Funktionelle Phase
Manuelle Therapie Session: 1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> • Massage der Plantarfascie, M. gastrocnemius und HS (Vermeidung der betroffenen Seite) • LWS-Mobilisation • Neurale Mobilisation (3 × 12) • NMES 	<ul style="list-style-type: none"> • Massage M. gastrocnemius und HS (inklusive der betroffenen Seite) • LWS-Mobilisation
Flexibilität Session: 2,3	<ul style="list-style-type: none"> • M. iliopsoas Flexibilität mit Retrotorsion Becken (4 × 15 s) • Dynamische Quadrizeps-Mobilität • HS: Dynamische Mobilität mit Ball (2 × 8) • HS: Dynamische Mobilität in RL (2 Varianten) (2 × 8) 	<ul style="list-style-type: none"> • HS Dynamische Mobilität + kontralat. M. iliopsoas Flex. (2 × 5) • HS Wand Flexibilität (Push/Pull) (3 × 3)
Glutealmuskulatur Session: 2	<p>Gluteus maximus (Täglich eine Option wählen, die toleriert wird)</p> <p>Option A</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hüftextension Bauchlage (2 × 10 × 3 s) • SL Bridge + Kick kontralat. (2 × 5 × 3 s) • DL Bridge (50 % KG, 3 × 6 × 3 s) <p>Option B</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hip Thrust (40 % KG, 3 × 6 × 3 s) • SL Bridge + Kick kontralat. (wie toleriert) (10 % KG, 2 × 4 × 3 s) • SL Hip Thrust + Kick kontralat. (wie toleriert) (3 × 6 × 3 s) <p>Gluteus medius</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clamshell mit Band (3 × 6 × 3 s) • Hüft-Abd. in Seitlage mit Band (3 × 6 × 3 s) 	<p>Gluteus maximus (wähle eine Option)</p> <p>Option A</p> <ul style="list-style-type: none"> • SL Hip Thrust + Kick kontralat. (10 % KG, 3 × 4 × 3 s) • DL Hip Thrust + Kick kontralat. (60 % KG, 3 × 8 × 3 s) • Walking Sled Push (75 % KG, 15 m × 2) <p>Option B</p> <ul style="list-style-type: none"> • SL Hip Thrust (Schulter + Fuß erhöht) + Kick kontralat. (2 × 4 × 3 s) • SL WS-Extension + Perturbation (2 × 4) • Schwungbein Hüftextension + kontralat. Hüftflex. (2 × 3Wechsel) <p>Gluteus medius</p> <ul style="list-style-type: none"> • Side Step laufen mit Miniband (5 × 5 m und zurück) • Monster Running mit Miniband (5 × 5 m und zurück)
HS-Kraft Session: 2	<ul style="list-style-type: none"> • Isometrie in BL (mittlere und große Länge) (2 × 5 × 5 s) • Isometrie stehend große Länge (2 × 5 × 5 s) • Isometrie in RL (toleriertes ROM) (2 × 5 × 5 s) • Submaximale manuelle Exzentrik in BL (Intensität wie toleriert) (2 × 8) 	<p>(4 HS-Übungen/Session, jeweils 2 hüft- und 2 kniedominante Varianten auswählen)</p> <p>Hüftdominant</p> <ul style="list-style-type: none"> • DL Deadlift mit 4 kg MedBall (2 × 8) • Lunge (15 % KG, 2 × 6) • SL Deadlift mit 15 kg + StepUp (2 × 6) <p>Kniedominant</p> <ul style="list-style-type: none"> • DL Slide Curl (2 × 6) • Nordics (2 × 4) • Sprinter Exzentrik Leg Curl (2 × 6)

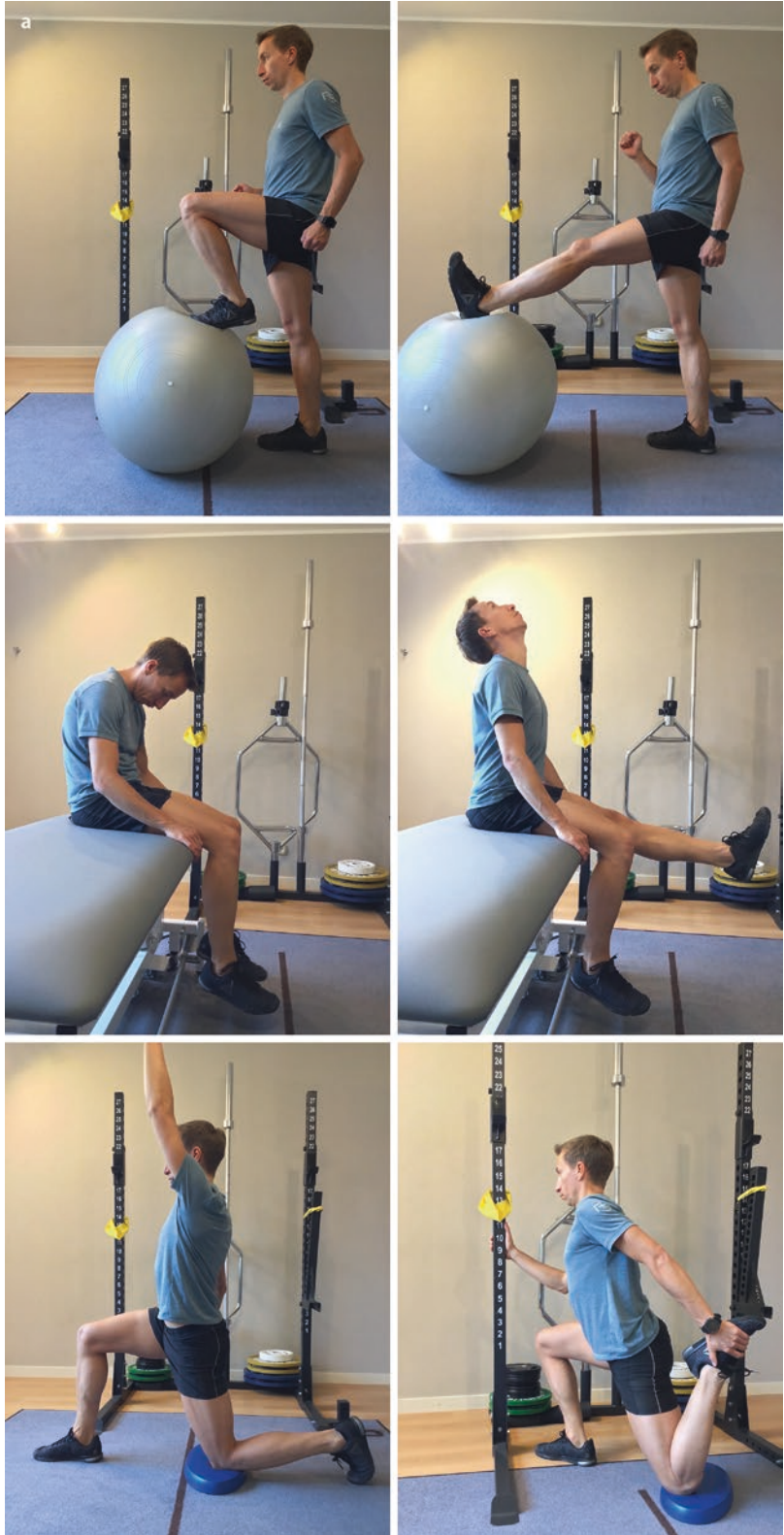
<p>Plyometrie Session: 2</p>		<ul style="list-style-type: none"> • DL Hurdle Hop mit Rumpfflexion (2 x 4) • DL Weitsprung mit 5 kg (2 x 4) • 2 explosive Scherensprünge (3x) • SL Horizontaler Sprung (2 x 3) • Sprunggelenk Übung 1 (20 % KG, 10 m x 4) • Sprunggelenk Übung 2 (20 % KG, 10 m x 4)
<p>Sprunggelenk Stabilität Session: 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • DL HS/Gastrocnemius Dissoziation (3 x 6) • SL HS/Gastrocnemius Dissoziation (3 x 6) • Seit-Schritt Bounding (25 % KG, 2 x 10) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pezizball kreisen (3 x 2) • Scherensprung mit Armen auf Brust (2 x 5 x 5 s) • SL Stand rotating reaches 4 kg (2 x 6) • TRX Helikopter (2 x 4) • Sprinter push/pull mit Seilzug (2 x 6)
<p>Lumbopelvine Kontrolle Session: 2,3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Seitlicher Plank, Füße auf Bank + Perturbation (2 x 5 x 5 s) • Birdog (2 x 5 x 5 s) • Langer Hebel posterior Plank (2 x 4 x 5 s) • Beinschere Arme seitlich auf dem Boden (2 x 5 x 5 s) 	
<p>Lauftechnik Session: 1</p>	<p>Lauftraining Frontalebene</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seitsschritte niedrig-moderater Intensität (10 m x 5) • Grapvine-Schritte niedrig-moderater Intensität (10 m x 5) • Vor-/Rückwärtsschritt über Linie während Seitwärtsbewegung in niedrig-moderater Intensität (10 m x 5) <p>Sagittalebene (vertikal betonte Ausführung v. a. in den ersten Tagen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8 Laufübungen (statisch auf der Stelle, dynamisch über 8 m) • Laufen 5 m + 5 m Abbremsen (4 x) • Laufen 10 m + 5 m Abbremsen (3 x) • Laufen 15 m + 5 m Abbremsen (3 x) 	<p>Warm-up:</p> <ul style="list-style-type: none"> • HS ballistisches Stretching (2 x 6) • Statische „B“-Übung mit Band (2 x 5) <p>Hurdle Drills (1 Satz geringe/1 Satz höhere Intensität):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hurdle Drill 1 (2x) • Hurdle Drill 2 (2x) • Hurdle Drill 3 (2x) • Hurdle Drill 4 (2x) • Military March (15 m x 2) • Lunge + Deadlift (4 pro Seite) • Lunge + B-Drill (4 pro Seite) • Vom Skipping zum Laufen (20 m x 4) • Sprint Bounding (15 m x 3) • Rennen mit Hürdensprüngen (15 m x 1) • Sprinten 5 m = 3 x 10 / = 3 x 15 m = 4 m / 20 = 3 x 30 m = 2 x 40 m = 1 x (15 s Pause für jeden m Sprint) • Beschleunigung mit Gewichtschlitten (30 % KG), 5 m = 3 x 10 m = 2x
<p>Übergangskriterien</p>		
<p>Variablen</p>		
<p>Schmerz nach Verletzung:</p>	<p>Test</p> <p>Isometrie BL in 15° Knieflexion</p>	<p>Kriterium</p> <p>Kein Schmerz</p>
<p>Isolierte Kraft in großen Muskellängen</p>	<p>HHD in 10° Knieflexion</p>	<p><10 % Asymmetrie</p>
<p>Neurale Defizite</p>	<p>Slump Test</p>	<p>Kein Schmerz</p>
<p>HS Flexibilität</p>	<p>Aktiver Knieextensionstest</p>	<p><10 % Asymmetrie</p>
<p>Hüftflexor Flexibilität</p>	<p>Mod. Thomas-Test</p>	<p>5° Symmetrie</p>

NMES: Neuromuskuläre elektrische Stimulation, KG: Körpergewicht, SL: unilateraler, DL: bilateraler, BL: Bauchlage, HHD: Handheld Dynamometry

Tab. 1.6 Die in Tab. 1.5 beschriebenen Schwerpunkte werden inhaltlich auf 3 Einheiten (Sessions) verteilt, die dann tageweise nacheinander trainiert werden (Mendiguchia et al. 2017).

Einheit	1	2	3
Manuelle Therapie	✓	✓	✓
Flexibilität		✓	✓
Glutealmuskulatur		✓	
HS-Kraft		✓	
Plyometrie		✓	
Sprungelenk Stabilität		✓	
Lumbopelvine Kontrolle		✓	✓
Lauftechnik	✓		

Abb. 1.15 a, b
Beispiele „Flexibilität“
(Regenerationsphase)



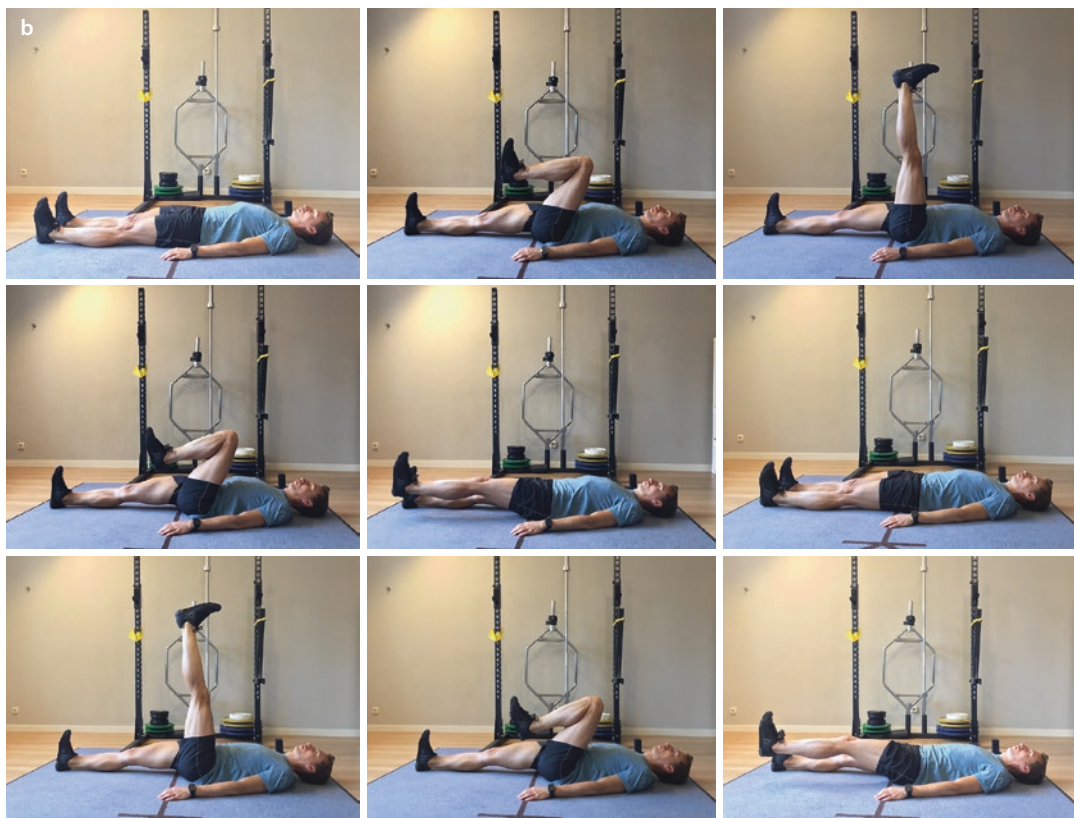


Abb. 1.15 (Fortsetzung)



Abb. 1.16 a, b Beispiele „Training M. gluteus maximus (Option A)“ (Regenerationsphase)