

EXZENTRISCHES TRAINING

WIRKUNGSMECHANISMEN, STEUERGRÖSSEN UND PRAKTISCHE RELEVANZ

Autoren: Jan Seiler, Christoph Schärer,
Fabian Lüthy, Jonas Spiess

Exzentrisches Krafttraining, auch als negatives Training bezeichnet, stellt eine spezifische Form des Widerstandstrainings dar, bei der der Fokus auf die exzentrische Phase der Muskelkontraktion gelegt wird. Diese Trainingsmethode wird in der Sportwissenschaft und Rehabilitation zunehmend als effektives Mittel zur Verbesserung der Muskelkraft, der Sehnenfestigkeit und der neuromuskulären Koordination anerkannt. Der folgende Artikel erläutert Steuerungsgrößen, Wirkungsmechanismen und stellt die praktische Relevanz im Hochleistungssport und der Rehabilitation, anhand konkreter Beispiele, heraus

Exzentrische Muskelarbeit

Um eine Bewegung zu verlangsamen beziehungsweise zu kontrollieren, bringt die Muskulatur Kraft gegen die Erdanziehung auf. Dabei verrichtet der Muskel sogenannte exzentrische Muskelarbeit, bei welcher der Muskel während der Kraftentwicklung aktiv verlängert wird. Durch die Verlängerung des Muskels nimmt die Spannung zu, und die Kraftfähigkeit wird erhöht. Diese Effekte sind darauf zurückzuführen, dass neben den kontraktile Elementen der Muskelfasern auch parallel- und serienelastische Strukturen durch Dehnung maßgeblich zur Kraftentwicklung beitragen. Die erhöhte Kraftentwicklung bei der exzentrischen Muskelarbeit findet im Vergleich zur konzentrischen Muskelarbeit zudem bei reduziertem Energieverbrauch statt. Bei schnellen, reaktiven Bewegungen wird durch zusätzlich ausgelöste Reflexmechanismen auch die rekrutierte Muskelfaseranzahl gesteigert.

Vereinfacht betrachtet kann die exzentrische Muskelarbeit als Stoßdämpfer Kräfte absorbieren oder als Feder gespeicherte Energie in eine weiterführende Bewegung einbringen. Die Funktionsfähigkeit ist abhängig von der gestellten Aufgabe, den auftretenden äußeren Kräften und der zur Verfügung stehenden Zeit.¹

Steuerung der mechanischen Belastung beim exzentrischen Training

Grundsätzlich ist eine hohe mechanische Spannung die Voraussetzung für das Erreichen einer hohen mechanischen Belastung. Die mechanische Spannung innerhalb einer Muskelfaser ist dabei zentral für die Auslösung einer strukturellen Adaptation, wobei Letzteres auch über reduzierte mechanische Belastung beim Trainieren mit leichten Lasten bis zur muskulären Erschöpfung erreicht werden kann. Eine hohe mechanische Spannung mit gleichzeitig hoher mechanischer Belastung muss folglich über den Einsatz hoher Lasten oder durch das Generieren hoher exzentrischer Kräfte mittels schneller, reaktiver Bewegungsformen erzielt werden (Abb. 1).

Foto: BASPO

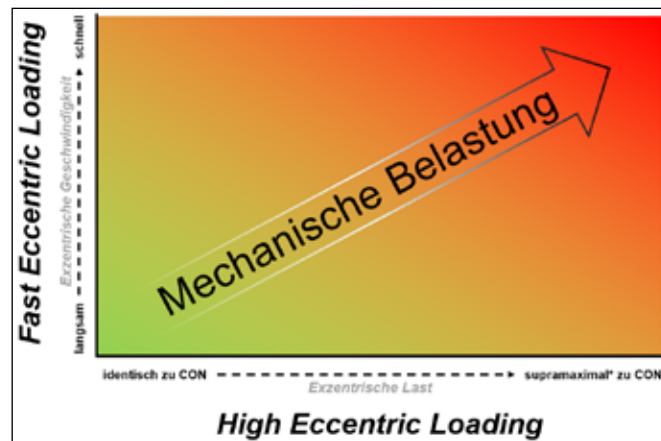


Abb.1: Beeinflussung der Größe der mechanischen Belastung durch exzentrisch akzentuiertes Training in Abhängigkeit von Last und Geschwindigkeit (*größer dem konzentrischen Einwiederholungsmaximum)



Abb. 2: Countermovement Jump mit Release der Kurzhanteln im Umkehrpunkt



Abb. 3: Bankdrücken mit „Weightreasern“

Die einfachste Form, um erhöhte exzentrische Kräfte zu generieren, ist die Plyometrie. Dabei werden sehr hohe Brems- und Bodenreaktionskräfte erzeugt. Durch den gezielten Einsatz von Zusatzlasten können diese Kräfte weiter erhöht werden. Typische Formen sind sogenannte Weight Release-Techniken, bei denen Zusatzlasten im Umkehrpunkt der Bewegung fallen gelassen werden (Abb. 2).

Dadurch entsteht eine, für die entlastete konzentrische Phase, unverhältnismäßig große Bremskraft, die die konzentrische Leistung akut positiv beeinflussen kann. Die Effektivität dieser sogenannten exzentrischen Akzentuierung (engl.: Accentuated Eccentric Loading, AEL) ist dabei sehr stark vom generellen Kraftniveau sowie vom Verhältnis der exzentrischen und konzentrischen Last abhängig.²

Trainingsmittel zur Akzentuierung der exzentrischen Bewegungsphase

Der Begriff „Accentuated Eccentric Loading“ hat in den letzten Jahren sehr viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Dabei wird, wie in Abbildung 1 dargestellt zwischen geschwindigkeits- (Fast Eccentric Loading, FEL) und lastorientierter (High Eccentric Loading, HEL) Belastung unterschieden. Die intensivste Form ist die Kombination der beiden Belastungsformen. Diese ist aber ausschließlich sehr gut trainierten Sportlern mit großer Erfahrung im exzentrischen Training vorbehalten.³

Eine exzentrische Akzentuierung kann sehr einfach durch die Kombination einer unilateralen exzentrischen mit einer bilateralen konzentrischen Bewegungsphase erzielt werden. Nach einer progressiven Herantastungsphase bei hohen, aber submaximalen Lasten (kleiner dem konzentrischen Einwiederholungsmaximum), sollten die Lasten in der unilateralen Phase jeweils grösser als das Einwiederholungsmaximum sein.⁴

Durch den Einsatz von sogenannten „Weightreasern“ ist es möglich, die exzentrische Bewegungsphase unabhängig von der konzentrischen Bewegungsphase akzentuiert zu belasten (Abb. 3).

Dabei sind aus praktischen Gründen normalerweise nur Einzelwiederholungen möglich. Eine exzentrisch akzentuierte Einzelwiederholung kann jedoch zu einer akuten Steigerung der konzentrischen Leistung in wenigen unmittelbar folgenden Wiederholungen bei moderater Last (zirka 60 Prozent vom Einwiederholungsmaximum) führen.⁵

Eine seit einigen Jahren weit verbreitete Form der exzentrischen Belastung ist das Flywheel-Training. Dabei werden Schwungräder, die als Masse dienen, in der konzentrischen Bewegungsphase beschleunigt und in der exzentrischen Phase wieder abgebremst (Abb. 4).

Das klassische Training mit Schwungrädern führt in erster Linie zu einer bewussteren Wahrnehmung der exzentrischen Phase. Da die Energie eines Schwungrads von der konzentrischen Leistung (Input) abhängig ist, entsteht in der exzentrischen Phase keine einwirkende Kraft größer als das Einwiederholungsmaximum. Aufgrund des je nach Einstellung mehr oder weniger reaktiven Einzugs wird die Bremsleistung in Abhängigkeit der Einzugs geschwindigkeit trotzdem verstärkt. Zur Erzielung einer akzentuierten Exzentrik muss die konzentrische Phase jedoch manuell unterstützt oder das Abbremsen in der exzentrischen Phase bewusst verzögert werden. Bei Geräten der neueren Generation kann die exzentrische Belastung auch

motorgesteuert intensiviert werden. Selbstverständlich ist auch beim Training mit dem Flywheel die Kombination von bilateraler und unilateraler Belastung sowie zusätzlich eine sich in den Bewegungsphasen unterscheidende Übungswahl (Abb. 5) zielführend umsetzbar.⁶

Mittlerweile existiert eine große Palette verschiedener motor-gesteuerter Geräte für das exzentrische Training. Bei einem Großteil davon kann das Muskel-Sehnengewebe mittels isokinetischer Belastung, vorwiegend sehr langsam und deutlich über dem Einwiederholungsmaximum, auf dem gesamten Bewegungsumfang sicher belastet werden. Eine Herausforderung dabei kann die jeweils sehr lange Muskel-Sehnenspannungszeit sein, die einerseits wünschenswert ist, andererseits aber eine starke Ermüdung des zentralen Nervensystems mit sich bringt. Für die methodische Umsetzung sind diesbezüglich sogenannte Cluster-Formen (siehe Abschnitt 4) empfehlenswert.

Allgemein gilt für die Auslösung einer akzentuierten exzentrischen Reizsetzung, dass bei zunehmender Muskel-Sehnenslänge hohe Kräfte provoziert werden müssen. Die Geschwindigkeit der Krafteinwirkung sollte dabei grundsätzlich vom Ziel und der Periodisierung abhängig sein.⁷

Exzentrisches Training im Hochleistungssport: Belastungssteuerung und Effekte am Beispiel Kunstturnen

Im Kunstturnen der Männer kann eine Wettkampfübung an den Ringen aus bis zu acht konzentrischen, exzentrischen und/oder isometrischen Kraftelementen bestehen. Eine hohe relative Maximalkraft der oberen Extremitäten ist folglich sehr entscheidend für eine erfolgreiche Wettkampfleistung. In den Krafthalteelementen müssen die Turner in den einzelnen Positionen mittels quasi-isometrischer Muskularbeit konstant gegen die Schwerkraft ankämpfen. Dabei wird repetitive, hochintensive exzentrische Muskularbeit verrichtet. Spezifisches exzentrisches Training an den Ringen ist deshalb eine oft eingesetzte Trainingsform. Diese Art der Belastung führt aufgrund der sehr hohen Intensitäten in Kombination mit der Instabilität der Ringe jedoch immer wieder zu Überlastungen des Muskel-Sehnengewebes der oberen Extremitäten.⁸

Am Bundesamt für Sport in Magglingen wurden vor einigen Jahren turnerspezifische, exzentrisch-isokinetisch belastende Krafttrainingsübungen für die Leistungssteigerung in den Krafthalteelementen Schwalbe und Stützwaage entwickelt (Abb. 6). Dabei absolvierten Hochleistungsturner in drei- bis vierwöchigen Trainingsinterventionen zweimal wöchentlich ein supramaximales, exzentrisch akzentuiertes Training an einer motorgesteuerten Zugmaschine.⁹

Aufgrund der sehr hohen Trainingsintensität wurden die einzelnen Wiederholungen in sogenannte Cluster aufgeteilt. Diese Art der Trainingsmethodik erlaubt es, dem zentralen Nervensystem kurzzeitige intraserielle Pausen zu gewähren, sowie die stark beanspruchten Strukturen zwischenzeitlich kurz zu entlasten. Der erste Durchlauf der Intervention zeigte auf, dass nur drei der acht Trainings maßgeblich zur Steigerung der exzentrischen Maximalkraft beigetragen haben.¹⁰ In einer Folgeintervention wurde deshalb nach drei Trainingseinheiten ein Reizwechsel geplant (Abb. 7). Dabei wurde mittels zusätzlicher externer Last der einwirkende Hebel verändert (30 Prozent Zusatzlast der gemessenen minimalen exzentrischen Kraft aus Training eins bis drei).¹¹

Fotos: BASPO



Abb. 4: Flywheel Plattform



Abb. 5: Kniebeuge in konzentrischer Phase kombiniert mit rumänischem Kreuzheben in exzentrischer Phase



Abb. 6: Halteelement spezifische exzentrisch-isokinetische Belastung mit Zusatzlast bei einer Geschwindigkeit von 0,1m/s

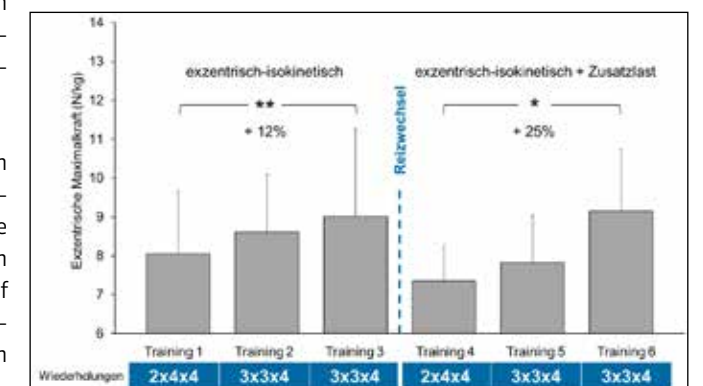


Abb. 7: Mittelwerte und Standardabweichung der exzentrischen Maximalkraft (1080 motion Quantum). Trainingsbelastung: vier respektive drei Cluster à vier Wiederholungen (intraserielle Pause = 20 Sekunde.) in zwei respektive drei Serien (interserielle Pause = 5 Minuten.) (*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$)

Exzentrische Muskelarbeit hat in praktisch allen Sportarten eine hohe Relevanz für die Leistungssteigerung und Prävention

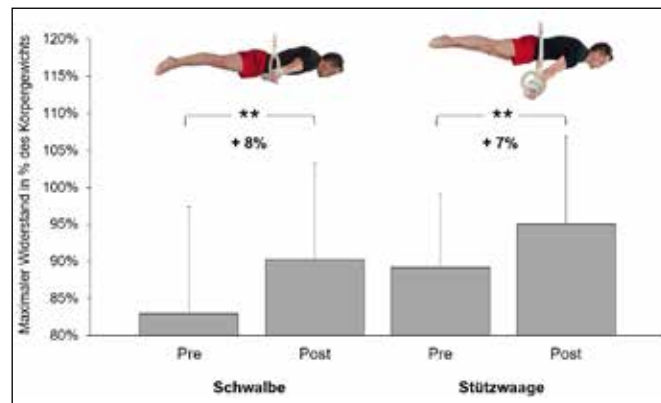


Abb. 8: Mittelwerte und Standardabweichung des maximalen Widerstandes bei den Halteelementen Schwalbe und Stützwaage (5 Sekunden Haltezeit) eine Woche vor (Pre) und nach (Post) der dreiwöchigen exzentrisch-isokinetischen Krafttrainingsintervention (signifikante Steigerung **: $p < 0,01$)

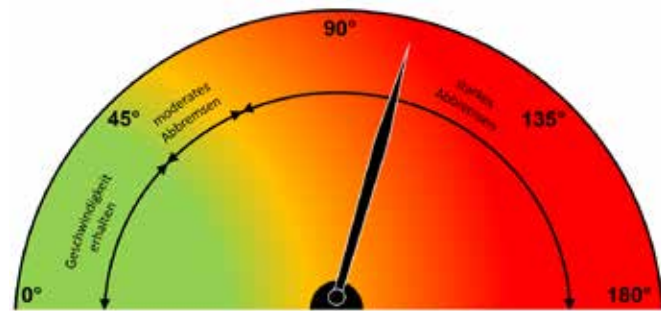


Abb. 9: Steuerung der einwirkenden Bremskraft in Abhängigkeit der Größe des Richtungswechselwinkels (Seiler/Lüthy)

1. aktive Massnahmen zur Vorbereitung	2. koordinative Reaktivierung	3. Reintegration der Funktionalität	4. Steigerung der Intensität	5. Maximale spezifische Aktivierung
Selbständige Aktivierung und manuelle Widerstände ↓ Isometrisch und exzentrisch submaximal ↓ Kontrolle und Timing bei isolierter Ansteuerung	Kontrolle und Timing der Ansteuerung in Funktion ↓ Isolierte Kräftigung submaximal ↓ Partielle, eher kurze Muskellänge	Ansteuerung und kombinierte Kräftigung ↓ Heranführen an komplexe Funktionen ↓ Muskellänge entwickeln bei mittlerer Intensität	Hypertrophie und Maximalkraft bei hoher Intensität ↓ Intensivieren komplexer Funktionen ↓ Mechanische Spannung auf Muskellänge entwickeln	Maximal- und Explosivkraft bei sehr hoher Intensität ↓ Training zielorientierter Funktionen ↓ Mechanische Spannung auf Muskellänge intensivieren
Entwicklung der Komplexität, Intensität und exzentrischen Muskellängenbelastung				

Abb. 10: Progressionsmodell für Komplexität, Intensität und exzentrische Muskellängenbelastung bei der Rehabilitation einer Muskel-Sehnenverletzung der Hamstrings (Seiler/Spiess)

Der Vergleich der Trainingsdaten der beiden Interventionen hat aufgezeigt, dass durch den Reizwechsel eine kontinuierliche signifikante Steigerung der maximalen exzentrischen Kraft erreicht werden konnte. Zudem erzeugten sowohl die Wahl der spezifischen Krafttrainingsübung als auch die gewählte Trainingsmethode einen Stimulus für das Muskel-Sehnen Gewebe, der zu einem direkten, sportartspezifischen Übertrag geführt hat (Abb. 8).¹²

Exzentrisch-isokinetisches Training ist folglich hoch wirksam und effizient. Eine präzise Planung und adäquate Dosierung der Muskel-Sehnenbelastung sind jedoch unabdingbar. Aufgrund der hohen Intensitäten sollte diese Trainingsform sehr gezielt und nur über kurze Zeit, während Phasen mit geringer sporttechnischer Trainingsbelastung eingesetzt werden.

Die Kunst des Abbremsens und seine Bedeutung für den effizienten Richtungswechsel

Das Abbremsen (engl.: Deceleration) ist ein zentraler Bestandteil der multidirektionalen Schnelligkeit. Die Fähigkeit, den Körperschwerpunkt innerhalb einer bestimmten Distanz und in Übereinstimmung mit der spezifischen Aufgabenstellung effizient abzubremesen, ist dabei ein leistungsentscheidender Faktor.¹³ Trainingsformen zur Entwicklung der Abbremsfähigkeit und gleichzeitigen Erhöhung der Muskel-Sehnenbelastbarkeit sollen deshalb im langfristigen Trainingsprozess systematisch aufgebaut werden. Dabei gilt es, eine Toleranz gegenüber den hohen exzentrischen Kräften zu entwickeln sowie die muskuläre Voraktivierung und Vorspannung vor dem Bodenkontakt zu steigern. Insbesondere die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit, die der Regulation der Größe, des Timings und der Orientierung der angewendeten Abbremskräfte dient, soll durch gezielte Trainingsformen optimiert werden. Strukturelle Anpassungen des Muskel-Sehnen Gewebes ermöglichen dabei das effektive Abfedern und Verteilen der auftretenden Schläge.

Die Eigenheit beim Abbremsen besteht darin, dass die exzentrische Muskelarbeit zyklisch ist, wobei die Kräfte auf mehrere aufeinanderfolgenden Schritte verteilt wird. In der Abbremsphase vor einem Richtungswechsel sind die auftretenden exzentrischen Kräfte dabei abhängig von der Anlaufgeschwindigkeit und der Größe des Richtungswechselwinkels (Abb. 9).¹⁴

In der extremsten Form, dem „Stop-and-go“ (180-Grad-Richtungswechsel), ist das Abbremsen am ausgeprägtesten, da die Geschwindigkeit des Körperschwerpunkts vor dem tatsächlichen Richtungswechsel auf null abgesenkt werden muss. Dabei wird neben dem neuromuskulären System auch das Muskel-Sehnen Gewebe stark

beansprucht. Eine abrupte Abbremsbewegung gilt auch als einer der zentralen Auslöser für Kreuzbandverletzungen im Fußball.¹⁵

Die biomechanische Betrachtungsweise des Abbremsens zeigt, dass das Einleiten der Abbremsphase bereits einige Meter vor dem eigentlichen Richtungswechsel beginnt. Der Abbremsweg entspricht etwa 40 bis 50 Prozent der Gesamtlaufristanz bis zum Richtungswechsel.¹⁶ Dabei wird der Fuß als eine Art Stemmsschritt, jeweils mit der Ferse beginnend, auf den Boden aufgesetzt, um die Geschwindigkeit Schritt für Schritt zu reduzieren. Der Körperschwerpunkt, der sich konstant hinter dem führenden Abbremsfuß befindet, wird gleichzeitig kontinuierlich abgesenkt. Während die Bodenkontaktzeit zunimmt, nehmen die Bremskräfte, die initial das Mehrfache des Körpergewichts aufweisen, auf den Richtungswechsel hin ab. Dieses Verhalten ist komplett gegenteilig zu der Beschleunigungsphase bei einem Sprint. Der dritt- und zweitletzte Schritt vor dem Richtungswechsel scheinen dabei die entscheidenden und intensivsten Bremsschritte zu sein. Der letzte Schritt vor dem Richtungswechsel wird im Vergleich zu den vorangegangenen Schritten auf dem Vorfuß aufgesetzt und leitet unmittelbar nach dem letzten Bremsimpuls den entscheidenden Wiederbeschleunigungsimpuls ein.¹⁷

In Sportsportarten treten Bremskräfte meistens zusätzlich unter Einwirkung eines Gegnerkontakts auf. Der Gegner wirkt dabei wie eine Zusatzlast, die das Abbremsen zusätzlich erschwert. Akzentuierte exzentrische Belastungen tauchen demnach quasi bei jedem Zweikampf auf, was illustriert, wie wichtig die Entwicklung der Abbremsfähigkeit für Sportsportarten ist.

Exzentrisches Training in der Rehabilitation: frühzeitige exzentrische Belastung bei Muskel-Sehnenverletzungen der Hamstrings

In Sportarten, wo hohe Sprintgeschwindigkeiten leistungsrelevant sind, zählen akute Muskelläsionen der Hamstrings zu den häufigsten Verletzungen.¹⁸ Eine wirksame und sichere Rehabilitation ist daher von großer Bedeutung, um das Risiko einer erneuten Verletzung nachhaltig zu reduzieren. Dabei ermöglichen frühzeitig implementierte exzentrische Belastungen, die im Muskel-Sehnen Gewebe eine Längsspannung provozieren, eine schnellere Rückkehr in den Sport.¹⁹ Durch die Verlängerung und Kraftzunahme der Faszikel in der Muskulatur wird dabei das Verletzungsrisiko stark verringert.²⁰ Die große Herausforderung während der Rehabilitation von Muskelläsionen besteht darin, den Zeitpunkt der Wiederaufnahme von exzentrischen Belastungen zu bestimmen. Die meisten Rehabilitationsprotokolle beschreiben den Einsatz von intensivem exzentrischem Training erst, wenn bei isometrischen Belastungen die Asymmetrie zwischen linker und rechter Seite bei weniger als zehn Prozent liegt.²¹ Aktuelle Studien weisen jedoch darauf hin, dass exzentrisches Training bereits früh in der Rehabilitation ohne negative Folgen instruiert werden kann.²²

Fotos: BASPO



Jan Seiler

ist Krafttrainingsexperte mit Schwerpunkt Sportphysiologie Kraft an der Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen



Christoph Schärer

ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter Sportphysiologie Kraft an der Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen



Fabian Lüthy

ist Sportwissenschaftler und Leiter Fachgruppe Sportphysiologie Kraft an der Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen



Jonas Spiess

ist Physiotherapeut im Swiss Olympic Medical Center an der Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen

Unsere klinischen Erfahrungen am Bundesamt für Sport in Magglingen zeigen, dass die frühzeitige, gut dosierte exzentrische Belastung des Muskel-Sehnen Gewebes sehr wichtig ist. Nach dem initialen Wiederaufbau einer korrekt funktionierenden Muskulansteuerung muss in Folgeschritten eine progressive Intensitätssteigerung und Muskel-Sehnenlängenbelastung, in Anlehnung an die spezifischen Anforderungen zur Leistungserbringung und Prävention, erfolgen (Abb. 10).

Die Belastung im submaximalen Intensitätsbereich kann vor allem über bewusst sehr langsame Bewegungsgeschwindigkeiten und dadurch hohe Spannungszeiten gesteuert werden. Im Anschluss daran muss die Reizsetzung aber unbedingt über eine sehr hohe submaximale und schließlich supramaximale Intensität erfolgen. Sowohl im submaximalen als auch im supramaximalen Intensitätsbereich kann die Reizsetzung über eine Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeit schlussendlich zusätzlich intensiviert werden.

Letzteres muss im Verlauf der Rehabilitation zunehmend auch über die Integration von Sprungformen unterstützt werden. Das Aktivierungsmuster der Hamstrings lässt sich durch Integrieren von Sprungformen zeitlich nach vorne verschieben, was die Stabilisierung des Kniegelenks während des Bodenkontakts optimiert.²³ Diese Voraktivierung ist folglich aus präventiver Sicht sehr entscheidend, da sie die Wirksamkeit der isometrisch-exzentrischen Muskelarbeit steigert.

Bei der Übungsauswahl ist es entscheidend sowohl Übungen für die Belastung der lateralen als auch der medialen Anteile der Hamstringsmuskulatur einzuplanen. Hüftextensionsübungen aktivieren vor allem den Musculus Biceps Femoris während Knieflexionsübungen insbesondere den Musculus Semimembranosus und den Musculus Semitendinosus belasten.²⁴

Fazit

Exzentrische Muskelarbeit hat in praktisch allen Sportarten eine hohe Relevanz für die Leistungssteigerung und Prävention. Die Qualität des Abbremsens sowie der Wirkungsgrad der Abbremsphase für die Wiederbeschleunigung sind eine unabdingbare Leistungsreserve, die systematisch entwickelt werden muss. Die Umsetzbarkeit von einfachen exzentrischen Belastungen, wie zum Beispiel plyometrischen Formen ermöglicht bereits in jungen Jahren den Start zum Aufbau der nötigen Belastungstoleranz. Durch den Einsatz von geschwindigkeits- und lastorientierten exzentrischen Trainingsformen werden das neuromuskuläre System und das Muskel-Sehnen Gewebe stark gefordert. Um dabei eine nachhaltige Wirksamkeit zu erzielen, müssen die Dosierung behutsam gewählt und entsprechende Regenerationsphasen unbedingt berücksichtigt werden.



Literaturverzeichnis:
Die Literaturliste zu diesem Artikel steht Ihnen unter leistungssport.net/aktuelle-ausgabe zur Verfügung oder scannen Sie den QR-Code