

Körperliches Training in Prävention und Therapie – Gestaltung und Effekte

Christian Thiel, Andreas Bernardi, Markus Hübscher

2.1 Einleitung – 18

Christian Thiel, Andreas Bernardi

2.1.1 Begriffliche Abgrenzung – 18

2.1.2 Aktivitäts- und Trainingsziele – 18

2.1.3 Körperliches Training in Prävention, Therapie und Rehabilitation – 18

2.2 Training motorischer Hauptbeanspruchungsformen – 19

Christian Thiel, Andreas Bernardi

2.2.1 Ausdauertraining – 19

2.2.2 Krafttraining – 24

2.2.3 Koordinationstraining – 28

2.2.4 Beweglichkeitstraining – 34

2.3 Allgemeine Trainingsplanung und -gestaltung – 37

Christian Thiel, Andreas Bernardi

2.3.1 Trainingsplanung – 37

2.3.2 Trainingssteuerung – 38

2.3.3 Allgemeine Trainingsprinzipien – 38

2.3.4 Zunehmende Spezialisierung – 41

2.3.5 Modelle der Trainingsadaptation – 42

2.4 Neuere Trainingsmethoden – sind sie evidenzbasiert? – 43

Markus Hübscher

2.4.1 Self-Myofascial Release – Foam Rolling – 44

2.4.2 Blood Flow Restriction Training – 47

2.4.3 Elektromyostimulation – 49

2.4.4 Ganzkörpervibrationstraining – 53

Literatur – 55

2.1 Einleitung

Christian Thiel, Andreas Bernardi

Körperliches Training wird in unterschiedlichen medizinischen Kontexten von der Prävention über die Rehabilitation bis hin zum Disease Management genutzt. Das vorliegende Kapitel befasst sich mit der Gestaltung und den Effekten unterschiedlicher Formen körperlichen Trainings sowie ausgewählter unterstützender Methoden.

2.1.1 Begriffliche Abgrenzung

Körperliches Training – (engl. »exercise« oder »exercise training«) stellt eine Subkategorie körperlicher Aktivität dar. Körperliche Aktivität oder auch Bewegung (engl. »physical activity«) und Training sind beide durch muskuläre Bewegungen, einen erhöhten Energieumsatz und eine gewisse Korrelation zur körperlichen Fitness gekennzeichnet. Körperliches Training wird darüber hinaus in der Regel geplant, strukturiert und wiederholt durchgeführt. Körperliches Training dient zudem explizit dem Zweck, die körperliche Funktion und/oder die physische Fitness zu verbessern oder zu erhalten, beispielsweise nach einer Erkrankung, um Teilhabe und Lebensqualität wieder herzustellen.

Die im körperlichen Training gesetzten Reize lassen sich fünf übergeordneten Bereichen, den sog. motorischen Hauptbeanspruchungsformen Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer, Beweglichkeit und Koordination zuordnen (Hollmann u. Hettinger 2000). Zwischen diesen Bereichen gibt es Überschneidungen. Trainingsreize wirken meist auf mehreren Ebenen.

Motorische Basisfähigkeiten – Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer, Beweglichkeit und Koordination gelten zugleich als sog. motorische Basisfähigkeiten. Motorische Fähigkeiten lassen sich als übergreifende, nicht unmittelbar sichtbare Veranlagungen verstehen, eine Reihe spezifischer körperlicher Aktivitäten durchführen zu können. Körperliche Aktivitäten erfordern je nach Anforderungsprofil unterschiedliche Ausprägungen der fünf motorischen Basisfähigkeiten.

2.1.2 Aktivitäts- und Trainingsziele

Orientiert an der internationalen Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit (ICF) beziehen sich die Ziele körperlicher Aktivität und körperlichen Trainings auf physische Funktionen, psychophysische und soziale Ressourcen sowie Aktivitäten und Partizipation (Tab. 2.1).

Tab. 2.1 Zielebenen und ausgewählte Ziele körperlichen Trainings im medizinischen Kontext (Pfeifer et al. 2010)

Zielebene	Ziele
Physische Funktionen	Förderung, Erhaltung, Wiederherstellung oder Verbesserung physischer Fitness und physischer Funktionen: - neuromuskuloskelettale Struktur und Funktion - optimale Ausprägung von Kraft, Beweglichkeit, Ausdauer und Koordination Schmerzfreiheit
Psychophysische und soziale Ressourcen	Physisches Wohlbefinden Psychische Stabilität Emotionen/Affekte Spezifische Determinanten körperlich-sportlicher Aktivität - Handlungseigenschaften und Bewertungsdiskpositionen: Fähigkeiten zur selbstständigen Planung und Steuerung von Training und alltäglicher körperlicher Aktivität, Wissen über krankheitsangepasste Bewegungsangebote
Aktivitäten und Partizipation	Bewältigung von Alltagsaktivitäten: - tägliche Routine durchführen - Arbeiten im Haushalt erledigen - ggf. an Verletzung oder Schadensbild angepasst Soziale Integration und soziale Kompetenz

2.1.3 Körperliches Training in Prävention, Therapie und Rehabilitation

Im Bereich der Prävention und Gesundheitsförderung muss körperliches Training nicht zwangsläufig permanent angeleitet und überwacht werden. Eine Begleitung und Beratung, die sich an wissenschaftlichen Belegen für die Effekte und Risiken der unterschiedlichen Formen körperlicher Aktivität und körperlichen Trainings orientiert, kann trotzdem sinnvoll sein. Dabei können insbesondere individuelle Faktoren wie der jeweilige Gesundheitszustand, bisherige Aktivitäts- und Trainingserfahrung, aber auch Umgebung, Ressourcen, Motivation und Präferenzen berücksichtigt werden. Besteht Zweifel über den Gesundheitszustand und/oder über die Risiken einer geplanten Aktivität, sollte eine ärztliche Diagnose eingeholt werden. Wann eine ärztliche Beratung in der Prävention sinnvoll ist, wird in ► Kap. 7 dargestellt.

In Therapie und Rehabilitation wird körperliches Trainings u. a. in den nachfolgenden Kontexten von Fachpersonal angeleitet und überwacht:

- ambulante Rehabilitation bei muskuloskelettalen Erkrankungen nach den Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft für Rehabilitation,

- erweiterte ambulante Physiotherapie (EAP) als Therapie von Berufskrankheiten oder Unfallverletzungen mit Störungen ganzer Funktionsketten,
- Anschlussheilbehandlung (AHB) und intensivierte Reha-Nachsorge (IRENA),
- stationäre Rehabilitation,
- (ambulanter) Rehabilitationssport (s. ► Kap. 7),
- Disease-Management-Programme (DMP).

Körperliches Training als Bestandteil der Therapie in ambulanten, teilstationären und stationären Einrichtungen nach Vorgabe räumlicher, personeller und apparativer Voraussetzungen durch Kostenträger (Krankenkassen, Berufsgenossenschaften, Rentenversicherungsträger) ist auch als medizinische Trainingstherapie (MTT) bekannt.

Medizinische Trainingstherapie (MTT) – ist ein körperliches Training im Rahmen einer medizinischen präventiven oder kurativen Behandlung zur Erreichung von definierten Therapiezielen. Die Durchführung erfolgt auf ärztliche Empfehlung und Verordnung durch speziell ausgebildete Physiotherapeuten und Sportwissenschaftler. Die MTT bedarf somit einer klaren Indikation (häufig neuromuskuloskelettale Erkrankungen).

Die Heilmittelrichtlinien des gemeinsamen Bundesausschusses definieren die Leistungsposition »Gerätegestützte Krankengymnastik« (KG-Gerät oder KGG), welche zur Abrechnung der MTT genutzt wird. Gemäß Heilmittelrichtlinien dient die KG-Gerät der Behandlung »krankhafter Muskelinsuffizienz, -dysbalance und -verkürzung sowie motorischer Paresen mittels spezieller medizinischer Trainingsgeräte, vor allem bei chronischen Erkrankungen der Wirbelsäule sowie bei posttraumatischen oder postoperativen Eingriffen« (Gemeinsamer Bundesausschuss 2011, S. 17). Zum Einsatz kommen sog. Sequenztrainingsgeräte für die oberen und unteren Extremitäten und den Rumpf und Seilzugapparate für die Rumpf- und Extremitätenmuskulatur. Sequenzgeräte sind Medizinprodukte, die ein sicheres (Muskelaufbau-)Training mit individueller Patientenpositionierung und angemessener Belastungsdosierung erlauben. Die KGG wird als parallele Einzelbehandlung mit maximal drei Patientinnen oder Patienten verordnet (Gemeinsamer Bundesausschuss 2011).

Die Abrechnungsfähigkeit von Leistungen durch »nichtärztliches Fachpersonal« (Masseur und medizinische Bademeister, Physiotherapeuten, Sportlehrer und Sportwissenschaftler) ist an Voraussetzungen gebunden, die nicht einheitlich von den Kostenträgern definiert sind. In der Regel wird neben einer abgeschlossenen Berufsausbildung respektive Studium der Nachweis zusätzlicher Qualifikation und spezifischer Berufserfahrung verlangt.

Die Indikationen für körperliches Training umfassen nahezu den gesamten medizinischen Bereich. Hauptindi-

kationsbereiche sind u. a. internistische, orthopädische, neurologische und psychosomatische Krankheitsbilder sowie die Folgen von Immobilisation und Schmerz (vgl. hierzu ► Kap. 7).

2.2 Training motorischer Hauptbeanspruchungsformen

Christian Thiel, Andreas Bernardi

2.2.1 Ausdauertraining

Definition und Struktur der Ausdauer

Ausdauer – ist die motorische Fähigkeit des Organismus, eine gegebene Leistung über einen längeren Zeitraum ohne Ermüdung aufrechterhalten zu können.

Die Wiedererlangung, Steigerung oder Erhaltung der aeroben Leistungsfähigkeit kann wesentlich zu Selbstständigkeit und Teilhabe beitragen und ist wichtige Grundlage für andere Formen der Trainingsintervention. Bei Personen mit kardialen, pulmonalen oder metabolischen Erkrankungen sowie bei Hochbetagten hängt die Ausdauerleistungsfähigkeit eng mit Morbidität und Mortalität zusammen.

Erscheinungsformen der Ausdauer (American College of Sports Medicine et al. 2010; Mujika 2012) lassen sich u. a. charakterisieren anhand

- der Dauer der Belastung: Kurz-, Mittel- und Langzeitausdauer,
- der Form der Belastung: gleichförmig (Dauerlauf), intermittierend (Intervalltraining mit regelmäßigem Wechsel zwischen Belastung und Erholung), unstrukturiert (Spielformen),
- des Anteils aktivierter Muskulatur: allgemeine Ausdauer mit Beteiligung von mehr als 1/6 bis 1/3 der Gesamtmuskulatur (z. B. Fahrradfahren, Rudern, Schwimmen, Gehen, Joggen); lokale Ausdauer mit Beteiligung von weniger als 1/3 bis 1/6 der Gesamtmuskulatur (z. B. Bewegungen nur im Fuß-, Knie-, Hand-, oder Ellenbogengelenk einer Körperseite),
- der Energiebereitstellung: vorwiegend aerobe Energiebereitstellung – Verbrennung von Kohlenhydraten und Fetten mit überwiegender Beteiligung von Sauerstoff (bei längeren Belastungen moderater Intensität); vorwiegend anaerobe Energiebereitstellung – Verbrennung von Kohlenhydraten überwiegend ohne Beteiligung von Sauerstoff (bei kürzeren Belastungen hoher Intensität),
- der Arbeitsweise der Skelettmuskulatur: dynamisch (Wechsel zwischen Konzentrik/Exzentrik, Anspannung/Entspannung); statisch,

- der Spezifität der Belastung: Grundlagenausdauer ohne Bezug zu einer Sportart oder Alltagsaktivität; spezielle Ausdauer, deren Gestaltung sich an den Anforderungen einer bestimmten Sportart oder Alltagssituation orientiert.

Ausdauertrainingsmethoden und -bereiche

Die Einteilung von Ausdauertrainingsbereichen orientiert sich an der Energiebereitstellung (s. auch ► Abschn. 2.2.2, Steuerung der Belastungsintensität). Im Intensitätsbereich unterhalb der aeroben Schwelle wird die Energie fast ausschließlich aerob bereitgestellt. Zwischen der aeroben und der anaeroben Schwelle wird Energie vorwiegend aerob und zum Teil anaerob bereitgestellt. Oberhalb der anaeroben Schwelle übersteigt die Laktatproduktion die Laktatelimination, so dass die Laktatkonzentration im Blut kontinuierlich ansteigt. Der Anteil anaerober Energiebereitstellung nimmt weiter zu (Beneke et al. 2011), weil die an der aeroben Energiebereitstellung beteiligten Systeme trotz hoher bis maximaler Aktivität nicht mehr in der Lage sind, den Energiebedarf alleine zu decken. Den Laktatschwellen können ventilatorische Schwellen zugeordnet werden. Die erste ventilatorische Schwelle liegt etwa im Bereich der aeroben Laktatschwelle, der respiratorische Kompensationspunkt (zweite ventilatorische Schwelle) etwas höher als die anaerobe Laktatschwelle (American College of Sports Medicine et al. 2010).

Energiebereitstellung

- Aerobe Energiebereitstellung: Verbrennung von Kohlenhydraten und Fetten mit Hilfe von Sauerstoff.
- Anaerobe Energiebereitstellung: Verbrennung von Kohlenhydraten ohne Beteiligung von Sauerstoff.

Die bei diesen Reaktionen freiwerdende Energie nutzt die Muskulatur, um zu arbeiten.

Betrachtet man diese beiden Wege der Energiebereitstellung als unterschiedliche Tanks, die dem »Motor Muskel« zur Verfügung stehen, dann ist der aerobe Tank sehr groß, hat aber nur einen relativ kleinen Schlauch für die Benzinzufuhr zum Motor. Der anaerobe Tank ist deutlich kleiner, hat aber einen größeren Schlauch – d. h., anaerob wird mehr Energie pro Minute an den Muskel geliefert, aber nur für begrenzte Zeit.

Für ein Regenerationstraining werden Belastungen unterhalb der aeroben Schwelle, für ein Grundlagenausdauertraining Belastungen im aerob-anaeroben Übergangsbereich zwischen der aeroben Schwelle und der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) und für ein intensives Ausdauertraining und Intervalltraining Belastungen an oder über der individuellen anaeroben Schwelle genutzt (Beneke et al. 2011; Mezzani et al. 2012). Unterhalb der IAS wird häufig die Dauermethode eingesetzt, die durch eine weitgehend konstante Belastung (Ergometerwiderstand/Fortbewegungsgeschwindigkeit) gekennzeichnet ist.

Für ein risikoarmes, an die individuelle Leistungsfähigkeit angepasstes Training wird zu Beginn der Therapie oder Rehabilitation häufig intervallförmig mit moderater Intensität gearbeitet und ein sehr niedriger Belastungsumfang gewählt (Mezzani et al. 2012). Unter Berücksichtigung der Reaktion auf die Belastung wird die Dauer der Pausen sukzessive reduziert, bis ein kontinuierliches Training möglich ist, und der Umfang wird gesteigert.

Bei Patienten mit Herzinsuffizienz wird beispielsweise initial ein Fahrradergometertraining mit kurzen Intervallen (Wechsel zwischen 30 Sekunden Belastung und 30 Sekunden Pause) empfohlen, welches bei relativer Schonung des Herzens eine hohe periphere Beanspruchung induziert. Die Intensität in der Belastungsphase beträgt 50 % der im sog. Steep Ramp Test (Aufwärmen, dann Teststart mit 0 Watt; alle 10 Sekunden Erhöhung der Belastung um 25 Watt) maximal erzielten Leistung (Meyer et al. 1997). Bei derartigen Intervallen kann die Herzfrequenz aufgrund der Trägheit des kardiovaskulären Systems nur begrenzt zur Steuerung der Intensität herangezogen werden.

Ein kardiorespiratorisch deutlich stärker beanspruchendes Intervalltraining aus dem Leistungssport, welches zunehmend auch bei Patienten als High Intensity Interval Training (HIIT) eingesetzt wird, besteht aus 3 bis 6 Intervallen von 4 Minuten Dauer bei einer Intensität von 80–90 % der maximalen aeroben Leistung, mit 3-minütigen aktiven Pausen bei 40 % der maximalen aeroben Leistung (Rognmo et al. 2004).

Steuerung der Belastungsintensität

Die Ausdauerleistungsdiagnostik ermittelt individuelle physiologische Schwellen von Laktat oder Atemgasen, meist anhand eines stufen- oder rampenförmig ansteigenden 10- bis 30-minütigen Belastungsprotokolls. Die Bestimmung dieser Schwellen gilt als zuverlässige und genaue Möglichkeit der Identifikation günstiger Trainingsintensitäten wie auch der Bestimmung der Leistungsfähigkeit im Labor oder im Feld (American College of Sports Medicine et al. 2010; Beneke et al. 2011).

Bei einem solchen Test steigt der individuelle Energiebedarf (bzw. die Sauerstoffaufnahme als dessen Indikator) über das gesamte Leistungsspektrum weitgehend linear mit der Belastung. Die Blutlaktatkonzentration dagegen steigt bei niedrigen Belastungen zunächst nicht an. Erst ab einem bestimmten Energiebedarf – der aeroben Schwelle – beginnt die Blutlaktatkonzentration anzusteigen. Wird der Muskulatur eine Leistung abverlangt, die einen höheren Sauerstoffbedarf hervorruft, als durch das Blut zugeführt werden kann, bildet sie die fehlende Energie über die Milchsäuregärung (anaerobe Glykolyse). Die Milchsäure zerfällt im Blut in Laktat und Wasserstoffionen. Der Laktatanstieg wird mit zunehmender Belastung immer steiler. Die anaerobe Schwelle ist der Bereich des maxi-

malen Laktat Steady State, an dem sich Laktatbildung und -abbau im Gleichgewicht befinden (American College of Sports Medicine et al. 2010; Beneke et al. 2011). Über die Messung des Laktatwertes im Blut kann man demnach die Energiebereitstellung der Muskelzellen beurteilen.

Die Belastungsintensität kann auch relativ zur maximalen Leistung ermittelt werden. Dieses Vorgehen weist in konzeptioneller Hinsicht Nachteile gegenüber schwellenbasierter Trainingssteuerung auf (Scharhag-Rosenberger et al. 2010), wird aber aufgrund der einfacheren Ermittlung in der (klinischen) Praxis häufig genutzt. Die mindestens notwendige Beanspruchung zur Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit liegt bei untrainierten Erwachsenen bei etwa 40 % der Sauerstoffaufnahme (VO₂R)¹ (American College of Sports Medicine et al. 2010), bei leistungsschwachen Personen bei 30 % VO₂R. Ein moderates Ausdauertraining wird nach gängigen Berechnungsformeln (Garber et al. 2011) mit 40-60 %, ein intensives Ausdauertraining mit 60-89 % der VO₂R durchgeführt. Anstelle der VO₂R lässt sich – mit einigen Abstrichen – auch die bei einer Belastungsergometrie erzielte maximale Wattleistung oder Laufgeschwindigkeit verwenden.

Beispiel

Herr Müller hat ein Belastungs-EKG mit stufenförmiger Steigerung der Belastung auf einem Fahrradergometer durchführen lassen. Er konnte 200 Watt für 3 Minuten durchhalten, bei 240 Watt hat er den Test nach kurzer Zeit abgebrochen. Herr Müller hat sich voll ausbelastet, so dass die erreichten 200 Watt einen Indikator seiner maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit darstellen. Für ein moderates Ausdauertraining (40-60 % der max. Wattleistung) wählt er zwischen 80 und 120 Watt ($0,4 \times 200 = 80$ und $0,6 \times 200 = 120$).

Die dargestellten Verfahren ermöglichen eine vergleichsweise präzise Steuerung der Belastung. Die Tests sind jedoch vergleichsweise aufwändig und führen nicht zwangsläufig zu besseren Trainingsergebnissen als einfachere Vorgehensweisen. Ohne vorherige Tests und Messungen und ohne Überwachung und Anleitung ausdauerorientiert körperlich aktiv werden zu können, verspricht vor allem in der Prävention und Gesundheitsförderung Vorteile (vgl. ► Kap. 3). Ein niedrighschwelliger Ansatz der Intensitätssteuerung kann – mit Einschränkungen – auch für bestimmte Bereiche der Rehabilitation sinnvoll sein, insbesondere wenn Patientenzentrierung und die Förderung der Teilhabe und Autonomie im Fokus stehen. Werden Patienten im Sinne der bewegungsbezogenen Gesundheitskompetenz (Sudeck u. Pfeifer 2016) in die Lage ver-

setzt, ihr Training selbständig zu steuern, sind sie organisatorisch unabhängiger und können vielfältigere Bewegungsangebote nutzen, was Motivation und Compliance fördern kann. Im Sinne der Self-Determination Theory ist das Erleben von Autonomie und Kompetenz ein wichtiger Bedingungsfaktor für positives Befinden und Zielerfolgung.

In diesem Zusammenhang bieten sich subjektive Verfahren zur individuellen Einschätzung des Anstrengungsempfindens wie die RPE-Skala (Rating of Perceived Exertion) oder Borg-Skala (Borg 1970) an. Der Trainierende versucht während des Trainings wiederholt sein momentanes Anstrengungsempfinden von 6 (sehr, sehr leicht/überhaupt nicht anstrengend) bis 20 (sehr, sehr anstrengend/maximale Anstrengung) zu verbalisieren. Ein moderates Ausdauertraining sollte nach Empfehlung des American College of Sports Medicine als recht leicht bis etwas anstrengend (Borg 11-13) empfunden werden, intensive Einheiten dürfen zu hoher Anstrengung (Borg 14-17) führen (Swain 2014).

In einigen Kontexten der Rehabilitation, wie beispielsweise im Herzsport, sind auf Basis langjähriger klinischer Erfahrung und einer Vielzahl von Studien geeignete Adressatengruppen bekannt, die das Anstrengungsempfinden zur unmittelbaren Steuerung des Trainings nutzen können. Empfehlungen des American College of Sports Medicine (ACSM) zufolge dürfen sich Patienten mit einer stabilen Herzerkrankung, sofern keine aktuellen Ergebnisse einer Belastungsergometrie verfügbar sind, »leicht« bis »etwas anstrengend« (Borg-Rating of Perceived Exertion, RPE: 11-14) belasten (American College of Sports Medicine et al. 2010). Gemäß der Leitlinie körperliche Aktivität zur Sekundärprävention und Therapie kardiovaskulärer Erkrankungen der Deutschen Gesellschaft für Prävention und Rehabilitation von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, DGPR, ist für Untrainierte der Risikoklasse A (darunter Kinder, Männer unter 45 und Frauen unter 55 Jahren, jeweils ohne Symptome einer Herzerkrankung und ohne Hauptrisikofaktoren) keine Überwachung der Herzfrequenz beim Training erforderlich (Bjarnason-Wehrens et al. 2009).

■ Tab. 2.2 stellt unterschiedliche Ausdauertrainingsmethoden und Möglichkeiten zu deren Steuerung dar. Welche der Bezugspunkte am besten geeignet sind, hängt von Population, Rahmenbedingungen und individuellen Erwägungen ab. Die Übereinstimmung zwischen den Steuerungsverfahren variiert in Abhängigkeit von Leistungsfähigkeit, Medikation, Gesundheitszustand, äußerer Umgebung und weiteren Faktoren.

Eine adäquate Einbettung in ein Trainingsprogramm sowie eine ausreichende Gesundheit und Belastbarkeit für die jeweilige Trainingsmethode vorausgesetzt, gelten die leichte und moderate Dauerethode auf Basis publizierter

¹ Die Sauerstoffaufnahme bezeichnet die Differenz aus der maximalen Sauerstoffaufnahme einer Person bei höchster Anstrengung und deren Sauerstoffaufnahme in Ruhe.

Tab. 2.2 Trainingsbereiche mit Angabe entsprechender Steuerungsvariablen für ein Ausdauertraining: Steuerung der Intensität dynamischen Ausdauertrainings (American College of Sports Medicine et al. 2010; Gibala et al. 2012; Mezzani et al. 2012)

	Leistung an der aeroben und zur anaeroben Schwelle	Maximale aerobe Leistung	Herzfrequenzreserve (HRR) (Karvonen-Formel ^a)	Anstrengungsempfinden (Rating of perceived Exertion, RPE)
	Geschwindigkeit (km/h) oder Leistung (Watt)	Geschwindigkeit (km/h) oder Leistung (Watt)	Schläge/min	Borg-Skala (6-20)
Leichte/regenerative Dauermethode; Aufwärmen, Cooldown	Unterhalb der aeroben Schwelle	30-40 %	30-40 % HRR	Borg 11 (»leicht«)
Moderate Dauermethode	Oberhalb der aeroben Schwelle	40-60 %	40-60 % HRR	Borg 13 (»etwas anstrengend«)
Intensive Dauermethode (High Intensity Training)	Knapp unterhalb und im Bereich der anaeroben Schwelle	60-75 %	60-75 % HRR	Borg 15 (»anstrengend«/ »schwer«)
Intensive Intervallmethode (High Intensity Interval Training)	An oder über der anaeroben Schwelle	75-95 % (Belastung) und 20-60 % (Pause)	75-95 % HRR (eingeschränkt nutzbar)	Borg 13 (»etwas anstrengend«) bis 17 (»sehr anstrengend«)
Tabata-Methode (Low Volume High Intensity Interval Training)	Nicht schwellenbasiert gesteuert	150-200 % (Belastung) und 0 % (Pause)	Nicht herzfrequenz-gesteuert	Borg 17 (»sehr anstrengend«) bis 20 (»maximal anstrengend«)

^a Herzfrequenzreserve bezeichnet die Differenz zwischen Ruhe-Herzfrequenz und maximaler Herzfrequenz. Die Steuerung der Intensität relativ zur Herzfrequenzreserve, die genauer ist als eine Orientierung nur an der maximalen Herzfrequenz, wurde zuerst vom finnischen Physiologen Martti Karvonen publiziert.

Studien für eine sehr breite Anwendergruppe als effektiv und sicher. Die intensive Dauermethode und die intensive Intervallmethode sind in einigen, aber keineswegs allen (klinischen) Population erprobt worden. Tabata-Training, eine kurze, nochmals intensivierte Form von HIIT (»low volume HIIT« oder »12 minute workout«: 3-10 × 20 Sekunden Belastung bei 150-200 % der maximalen aeroben Leistung, 10 Sekunden Pause), ist hingegen bislang kaum in kontrollierten Studien bei Untrainierten oder Patienten eingesetzt worden. Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass mit diesem höchst intensiven Training bei geringem Zeitaufwand kurzfristig moderate Effekte auf die maximale Sauerstoffaufnahme, Blutdruck, Insulinsensitivität und Lebensqualität erzielt werden können (Gibala et al. 2012; Gillen u. Gibala 2014; Knowles et al. 2015; Weston et al. 2014). Interventionsstudien über einen längeren Zeitraum fehlen, es werden starke Deckeneffekte vermutet. Effekte auf Compliance und Bindung sowie Risiken und Nebenwirkungen lassen sich aufgrund der bislang äußerst geringen Fallzahlen momentan nicht seriös einschätzen.

Ermittlung der Ausdauerleistungsfähigkeit

Die fahrrad- oder laufbandergometrische Ausdauerleistungsdiagnostik wird nicht nur zur Steuerung der Trainingsintensität, sondern auch als Referenzmethode zur

quer- und längsschnittlichen Einordnung der Ausdauerleistungsfähigkeit genutzt. Empfehlungen zur Messung und Interpretation körperlicher Funktion und Leistungsfähigkeit im Sinne aerober Fitness finden sich u. a. in der achten Auflage der Guidelines for Exercise Testing and Prescription des American College of Sports Medicine (American College of Sports Medicine et al. 2010). Die atemgasanalytisch gemessene maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2max) oder die höchste bei schwerer (aber nicht zwingend maximaler) körperlicher Arbeit gemessene Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) sind ein bedeutender Prädiktor von Morbidität und Mortalität und bewegungstherapeutischer Endpunkt vieler Studien. Die maximale Sauerstoffaufnahme bezeichnet die maximale Menge an Sauerstoff, die pro Minute aufgenommen (verbrannt) werden kann, und gilt als »Bruttokriterium« der kardio-pulmonal-metabolischen Kapazität. Die VO_2max umfasst alle an der Leistungserbringung beteiligten Mechanismen, darunter beispielsweise Herzgröße, Kapillarisierung, Zahl der Mitochondrien und aerobe Enzymkapazität in der Muskulatur. Sie kann absolut ($\text{L O}_2/\text{min}$) oder relativ zum Körpergewicht ($\text{ml O}_2/\text{kg}/\text{min}$) ausgedrückt werden.

Unter den einfachen Labor- und Feldtests hat sich der 6-Minuten-Gehtest für den Einsatz mit unterschiedlichen Patientenpopulationen im klinischen Alltag als reliables

Tab. 2.3 Effekte von aerober körperlicher Aktivität und Ausdauertraining (American College of Sports Medicine et al. 2010; Mujika 2012)

Lokale aerobe Ausdauer	Allgemeine aerobe Ausdauer
Ausgewählte unmittelbare Effekte von Ausdauerbelastungen	
Lokale Durchblutungssteigerung (Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen; schnellerer Abtransport von Stoffwechselprodukten; Temperaturerhöhung; höhere Turnover-Rate); Reizsetzung für lokale Bindegewebsstrukturen; Schmerzhemmung Förderung der Wundheilung	Zusätzlich zu den lokalen Effekten (arbeitende Muskulatur): Steigerung von Herzfrequenz, Sauerstoffaufnahme/Energieumsatz und Blutdruck; u. a. Veränderung der hormonellen Regulation, des Insulin- und Glukosestoffwechsels, der sympathovagalen Balance
Ausgewählte chronische Ausdauertrainingseffekte	
Verbesserung von Kapillarisation, Myoglobingehalt, Mitochondrienzahl und -größe, Phosphat- und Glykogenspeichern, Enzymkapazität Höhere lokale Ausdauerleistungsfähigkeit und bessere Erholungsfähigkeit der Muskulatur nach muskulären Belastungen	Zusätzlich zu den lokalen Effekten (arbeitende Muskulatur): Verbesserung der Leistung und Ökonomie des Herz-Kreislauf-Systems; Verbesserung des Fettstoffwechsels; damit höhere allgemeine Ausdauerleistungsfähigkeit und bessere allgemeine Erholungsfähigkeit Zudem u. a. Erhaltung oder Verbesserung des Blutdrucks, der Fließeigenschaften des Blutes und der Gesundheit der Gefäßwände, des Zucker- und Insulinstoffwechsels, der Infektanfälligkeit, der sympathovagalen Balance; Risikoreduktion des Auftretens von Zivilisationserkrankungen wie Diabetes mellitus Typ 2, koronarer Herzkrankheit, Schlaganfall und Adipositas sowie von Brust- und Darmkrebs und Depressionen; bei gewichtstragendem Ausdauertraining Verbesserung der Knochendichte, Senkung des Osteoporoserisikos

und valides Instrument bewährt (Banzer et al. 2004; Büsching u. Widmer Leu 2009; Schmidt et al. 2013), welches eine grobe Einschätzung der VO_2peak gestattet. Bei nur leicht reduzierter oder normaler Leistungsfähigkeit ergeben sich aber erhebliche Deckeneffekte.

Testfreie Verfahren greifen zur Erfassung kardiorespiratorischer Fitness auf Selbsteinschätzungen der Leistungsfähigkeit und Prädiktionsgleichungen (George et al. 1997) zurück, beispielsweise basierend auf Bio-Impedanzanalysen (Stahn et al. 2006). Diese testfreien Verfahren sind sehr ökonomisch, aber nur eingeschränkt valide und reliabel (vgl. ► Kap. 7).

Effekte von Ausdauerbelastungen

Wiederholtes Training führt zu Anpassungserscheinungen (Adaptionen) der an der Energiebereitstellung beteiligten lokalen und peripheren Organ- und Signalsysteme und zu einer besseren Ausdauerleistungsfähigkeit (■ Tab. 2.3). Ausdauertraining trägt maßgeblich zur Prävention und Therapie kardialer, vaskulärer und metabolischer Zivilisationserkrankungen bei.

Dosis-Wirkungs-Zusammenhang

Der Energieumsatz (Produkt aus Intensität und kumuliertem Umfang) bestimmt hauptsächlich die Ausdauertrainingsdosis und gilt als wichtigste Einflussgröße auf den Ausdauertrainingseffekt (Lee 2007; Thiel et al. 2012). Bei gleicher Aktivitäts- oder Trainingszeit versprechen daher

intensivere Belastungen größere Trainingseffekte auf Gesundheit und Fitness. Allerdings gelten moderate Belastungen als kardial und muskuloskelettal weniger risikoreich und sind deshalb zumindest zu Beginn eines Trainings oder bei wenig belastbaren Patienten zu präferieren (American College of Sports Medicine et al. 2010). Werden intensive und moderate Ausdauertrainingseinheiten jeweils so lange durchgeführt, dass in Summe annähernd der gleiche Energieumsatz resultiert (z. B. 0,5 Stunden Joggen mit 8 km/h versus 1 Stunden Walking mit 4 km/h), erzielt man ähnliche Trainingseffekte. Intensives Training ist geringfügig effektiver (American College of Sports Medicine et al. 2010).

Ob zur Erreichung gesundheitsbezogener Endpunkte moderate oder intensive Belastungen effektiver sind, hängt letztlich von Krankheitsbild, Alter, Leistungsfähigkeit und Dauer des bisherigen Trainings ab (Kesaniemi et al. 2001; Thiel et al. 2012). Die genaue Wahl der Intensität stellt somit eine Einzelfallentscheidung dar. Im Versorgungsalltag wird der Umfang des Ausdauertrainings vom Volumen verschriebener Versorgungsleistungen, zeitlichen Ressourcen des Patienten und der Priorisierung anderer Trainingsinhalte limitiert.

Nach einer Phase der Gewöhnung an das Training führen zwei bis drei > 30-minütige Ausdauertrainingseinheiten moderater Intensität pro Woche (überwacht/angeleitet oder, sofern ärztlich freigegeben, als Heimtraining) zu erheblichen Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähig-

keit. Dabei können sowohl Trainingsmethoden mit gleichförmiger Belastung im moderaten Intensitätsbereich als auch intensivere Trainingsmethoden in Intervallform (HIIT) eingesetzt werden, wobei HIIT einen etwas höheren Effekt auslöst (Gibala et al. 2012; Milanović et al. 2015).

Eine Metaanalyse zur optimalen Gestaltung eines Ausdauertrainings nach der Dauer Methode zeigt, dass inaktive Senioren die größten Anpassungen erzielen, wenn das Training 3-4×/Woche für je 40-50 Minuten bei 66-73 % der Herzfrequenzreserve (HRR = maximale Herzfrequenz minus Ruheherzfrequenz) durchgeführt wird (Huang et al. 2015). Intensitäten von 57-65 % und von 75-80 % der HRR führen zu ähnlichen Verbesserungen der $\text{VO}_{2\text{max}}$.

Die Effekte eines selbstgesteuerten Trainings auf Ausdauerleistungsfähigkeit und gesundheitsbezogene Endpunkte sind bislang wenig untersucht. Eine erste randomisierte kontrollierte Studie zeigt, dass Herzpatienten nach Herzinfarkt oder Bypass-Operation, die ihre Trainingsintensität auf dem Fahrradergometer selbstständig anhand des RPE festlegten (»etwas anstrengend«), in 30 Tagen ihre Leistungsfähigkeit ohne adverse Ereignisse in ähnlichem Maße steigern konnten (+23 %) wie Patienten, die ihr Training rein herzfrequenzbasiert (70 % HRR: +34 %) oder basierend auf Herzfrequenz und Anstrengungsempfinden (60-80 % HRR und »etwas anstrengend«: +31 %) steuerten (Ilarraza et al. 2004).

2.2.2 Krafttraining

Definition Kraft und Krafttraining

Kraft – ist die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, Widerstände zu überwinden (konzentrische Kontraktion), sie zu halten (isometrische Kontraktion) oder ihnen entgegenzuwirken (exzentrische Kontraktion).

Kraft wird benötigt, um z. B. das eigene Körpergewicht zu tragen und zu beschleunigen, funktionelle Körperhaltungen einzunehmen sowie Gegenstände zu heben und zu bewegen. Kraft tritt im Alltag und in den meisten Sportarten nicht in Reinform, sondern in Kombination mit anderen motorischen Hauptbeanspruchungsformen auf.

In der Prävention und Rehabilitation geht es in der Regel nicht um die maximale Ausprägung spezieller Kraftfähigkeiten. Ziel ist häufig die Wiederherstellung oder Verbesserung eines inaktivitäts-, verletzungs- oder immobilisationsbedingt eingeschränkten Kraftniveaus. Krafttraining soll eine freie, zügige, kontrollierte und sichere Ausführung alltäglicher, beruflicher oder sportlicher Bewegungen ermöglichen und dazu beitragen, dass diese Bewegungen auch bei häufiger Durchführung den Bewegungsapparat adäquat beanspruchen. Zudem spielt Krafttraining aufgrund seiner lokalen und systematischen Ef-

ekte in der Prävention und Therapie kardiovaskulärer und metabolischer Erkrankungen eine wichtige Rolle. Die auf das Körpergewicht bezogene Maximalkraft (z. B. Handkraft, Kniestrecker) hat bei erwachsenen Personen mittleren Alters und Senioren prädiktiven Wert für Selbstständigkeit, Morbidität und Mortalität (Sasaki et al. 2007).

Erscheinungsformen und Einflussgrößen

Die Maximalkraft als zentrale Basisgröße beeinflusst die Ausprägung von Schnellkraft und Kraftausdauer wesentlich, die Ausprägung der Reaktivkraft jedoch in geringerem Maße (■ Tab. 2.4).

Die Fähigkeit, eine hohe Kraft zu entwickeln, hängt von Muskelquerschnitt und neuronaler Ansteuerung der Muskulatur ab. Zur neuronalen Ansteuerung gehören intermuskuläre und intramuskuläre Koordination. Die intramuskuläre Koordination wird durch Rekrutierung, Frequenzierung und Synchronisation bestimmt (Güllich u. Schmidtbleicher 1999; Zaciorskij u. Kraemer 2008). Muskelquerschnitt und neuronale Faktoren lassen sich durch Training beeinflussen.

- Intermuskuläre Koordination bezeichnet das Zusammenspiel der an einer Bewegung beteiligten Muskeln. Wenn die Hauptarbeitsmuskulatur in der gewünschten Bewegungsrichtung von ihren Hilfsmuskeln (Synergisten) optimal unterstützt und von Gegenspielern (Antagonisten) möglichst wenig beeinträchtigt wird, ist eine maximale Kraftentfaltung möglich.
- Rekrutierung bezieht sich auf den Anteil der an einer Kontraktion beteiligten motorischen Einheiten. Nach dem Größenordnungsprinzip werden bei geringen Widerständen zunächst nur langsame Muskelfasern aktiviert. Erst bei hohen Widerständen kommen auch schnelle Muskelfasern hinzu. Eine vollständige Rekrutierung aller Fasern eines Muskels ist bei Willkürbewegungen nicht möglich.

Motorische Einheit – Eine motorische Einheit (■ Abb. 2.1) umfasst ein Motoneuron (Nervenzelle des zentralen Nervensystems im Rückenmark), sein Axon (Nervenleitbahn), die motorischen Endplatte (Ort der Erregungsübertragung von Nerv auf Muskel) und die innervierten Muskelfasern.

- Frequenzierung bezeichnet die Entladefrequenz der Motoneuronen. Je höher die Rate neuronaler Impulse zu den Muskelfasern, desto höher die Kraftentwicklung.
- Synchronisation beschreibt die zeitliche Abstimmung der Aktivierung mehrerer motorischer Einheiten bei einer Kontraktion. Für flüssige und gleichmäßige Bewegungen arbeiten motorische Einheiten asynchron. Trainierte Sportler sind in der Lage, ihre Kraftentfaltung durch kurze Phasen synchroner Aktivierung zu maximieren.

Tab. 2.4 Erscheinungsformen der Kraft (Cormie et al. 2011; Güllich u. Schmidtbleicher 1999; Zaciorskij u. Kraemer 2008).

Erscheinungsform	Definition	Beispiel
Maximalkraft	Größte Kraft, die das Nerv-Muskel-System bei maximaler willkürlicher Kontraktion auszuüben vermag	Maximaler Druck oder Zug gegen einen unüberwindlichen Widerstand Gewichtheben (eine Wiederholung mit individuell höchstmöglichem Gewicht)
Schnellkraft	Fähigkeit, einen möglichst hohen Kraftstoß in der zur Verfügung stehenden Zeit zu produzieren	Schrittschritt zum Vermeiden eines Sturzes nach Stolpern
Kraftausdauer	Fähigkeit, eine möglichst große Impulssumme in einem definierten Zeitraum gegen höhere Lasten (>30-50 % der Maximalkraft) zu produzieren Beeinflusst durch Maximalkraft und Ermüdungswiderstandsfähigkeit	Einen Haufen Kies zügig in eine Schubkarre schaufeln Klettern
Reaktivkraft	Fähigkeit, aus einer abbremsenden (exzentrischen) Bewegung heraus in kürzester Zeit einen möglichst hohen konzentrischen Kraftstoß zu realisieren Dehnung eines voraktivierten Muskels führt über neuronale und elastische Mechanismen zu einer Leistungspotenzierung in der konzentrischen Phase	Schnelles Joggen Weiter Wurf eines Medizinballs mit Ausholbewegung

Der unmittelbar aufeinanderfolgende, schnelle Wechsel von exzentrischer zu konzentrischer Arbeitsweise wird Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) genannt. Derartige reaktive Bewegungen stellen die wohl häufigste Form der muskulären Arbeit bei alltäglichen Bewegungsabläufen dar. Wird eine Muskelfaser voraktiviert, kurz und schnell gedehnt und direkt darauf schnell kontrahiert, so ist die daraus generierte Kraft größer als nach rein konzentrischer Verkürzung der Faser (Cormie et al. 2011). Die Reaktivkraft wird nicht nur durch muskuläre und neuronale Faktoren, sondern auch durch die Eigenschaften der beteiligten Muskelsehnen bestimmt.

Trainingsmethoden

Die für ein effektives Krafttraining notwendigen relativen Intensitäten unterscheiden sich nur unwesentlich zwi-

schen unterschiedlichen Zielgruppen. **Tab. 2.5** zeigt gängige Methoden des Krafttrainings und die zu erwartenden Anpassungserscheinungen. Die Reihung der Methoden in der Tabelle entspricht der Reihung, wie sie im Verlauf eines mehrere Monate bzw. Jahre dauernden Trainings häufig Anwendung findet. Die hier genannten Intensitäten gelten auch für Senioren (Mayer et al. 2011).

Zu den Sprungformen zählen u. a. vertikale Sprünge wie Squat Jump (rein konzentrische Bewegung aus normierter Ausgangsstellung mit 90° flektiertem Knie), Counter Movement Jump (Sprung mit Ausholbewegung: langsamer Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, DVZ) und Drop Jump (Niedersprung von einem Kasten mit möglichst kurzer Bodenkontaktzeit: schneller DVZ) (Güllich u. Schmidtbleicher 1999).

Neben den in der Tabelle aufgeführten Methoden existieren zahlreiche weitere Trainingsansätze. Schnellkrafttraining (s. auch ► Kap. 10) wird zunehmend bei Patienten und insbesondere in der Sturzprävention eingesetzt (Mayer et al. 2011). Dies kann auch an Geräten durchgeführt werden, z. B. für die untere Extremität an geeigneten Beinpressen, die eine sehr zügige bis explosive Durchführungsgeschwindigkeit gestatten. Die Angaben für die Gestaltung von Schnellkrafttraining (1-4 Sätze mit 3-20 Wiederholungen, bei 20-60 % des 1RM, 1-5 Minuten Serienpause) variieren erheblich (Cormie et al. 2011; Granacher et al. 2011). Mit Blick auf die gewünschten neuronalen Anpassungserscheinungen werden wenige Wiederholungen mit langen Pausen empfohlen (Güllich u. Schmidtbleicher 1999).

Ein exzentrisches Training hat in energetischer Hinsicht Vorteile, beispielsweise für kardial nur gering belastbare Patienten. Es belastet das Herz-Kreislauf-System

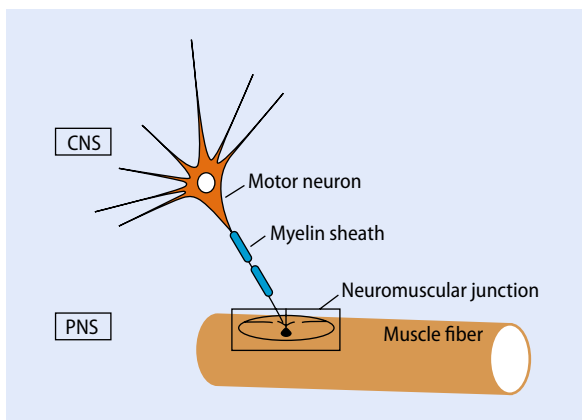


Abb. 2.1 Motorische Einheit. (Aus Arstikaitis u. El-Husseini 2009)

Tab. 2.5 Krafttraining: Methoden und Anpassungserscheinungen (Diemer u. Sutor 2011; Güllich u. Schmidtbleicher 1999; Hohmann et al. 2010; Mayer et al. 2011; Zaciorskij u. Kraemer 2008)

Methode	Intensität [% 1RM]	Wiederholungen	Sätze	Satz-pause [min]	Tempo [Sekunden konzentrische - isometrische - exzentrische Arbeit]	Trainingsdauer [Wochen]	Schwerpunkt der Anpassung (Adaptation)
Unvollständige Ermüdung	30-50 %	10-15	2-3	2	Langsam 2-0-2	1-3	Intermuskuläre Koordination, Erlernen der Bewegung
Kraftausdauer-Methoden	40-70 %	15-25	1-4	0,5 - 2	Langsam bis zügig 1-0-1, 2-0-2	4-8	Enzymatische Anpassungen, energetische und neuronale Ermüdungsresistenz
Submaximale Kontraktionen	65-80 %	8-15	1-4	2-3	Langsam bis zügig 1-0-1, 3-0-1	6-16	Hypertrophie, Maximalkraft
Maximale Kontraktionen	85-95 %	1-5	3-5	4-5	Zügig bis explosiv 1-0-1	4-8	Intramuskuläre Koordination (Ausnutzung des Muskelpotentials), Maximalkraft
Sprünge	-	5-10	2-5	5-10	Alle 5-15 Sekunden 1 Sprung	4-8	Reflexaktivität, Muskel-Sehnen-Elastizität, Reaktivkraft

1RM = Einwiederholungsmaximum

deutlich weniger als ein konzentrisches Training mit dem gleichen Widerstand (4- bis 5-mal geringerer energetischer Aufwand) (Isner-Horobeti et al. 2013). Bei vielen alltäglichen Bewegungen (z. B. Treppen hinabsteigen) spielen exzentrische Belastungen eine Rolle.

Wird in der arbeitenden Muskulatur durch Okklusion zusätzlich der Blutfluss reduziert oder gänzlich zum Erliegen gebracht, werden diese Hypertrophieeffekte verstärkt (► Abschn. 2.4).

Steuerung der Belastungsintensität

Referenzmethode zur Bestimmung der Belastungsintensität ist die Berechnung des Trainingswiderstandes relativ zum Einwiederholungsmaximum (1 repetition maximum, 1RM: s. zweite Spalte in ► Tab. 2.5), also des Widerstandes (meist ein Gewicht), welcher bei der gewählten Trainingsübung mit maximaler willkürlicher Anstrengung einmal exzentrisch und konzentrisch bewegt werden kann. Die Ermittlung des 1RM ist zum Zeitpunkt der Aufnahme des Krafttrainings häufig noch nicht praktikabel, u. a. aufgrund der hohen mechanischen Belastung und der häufig fehlenden Trainingserfahrung. Anhand publizierter Tabellen (z. B. Holten-Kurve²) oder mithilfe von Formeln

lässt sich aber das 1RM grob berechnen. Abhängig von Trainingszustand, genetischen Faktoren und gewählter Trainingsübung liegt das 5RM bei 85-90 %, das 10RM bei 70-80 %, das 15RM bei 60-70 % und das 20 RM bei 50-65 % des 1RM.

In der Praxis wird das Training häufig primär anhand der vorgegebenen Wiederholungszahlen gesteuert. Dazu wird iterativ das Gewicht identifiziert, mit dem die gewünschte Wiederholungszahl gerade noch bei großer oder sehr großer Anstrengung realisiert werden kann (American College of Sports Medicine 2009). Die Beobachtung der Bewegungsqualität und die Abfrage des Anstrengungsempfindens helfen bei der Bemessung der Trainingslast.

Beispiel

Hypertrophietraining

Für ein Hypertrophietraining wird gemäß ► Tab. 2.5 eine Wiederholungszahl von 8 bis 15 Wiederholungen angestrebt. Ausgehend von einem sehr niedrigen Widerstand und unter Berücksichtigung des Anstrengungsempfindens des Patienten steigert der Therapeut z. B. an der Beinpresse schrittweise das Gewicht, bis dieses mit erheblicher Anstrengung (Borg 17, »sehr anstrengend«), aber bei sauberer Ausführung der Übung 12-mal bewegt werden kann.

Ist der Patient in der Lage, mit dem identifizierten Gewicht in mehreren Trainingseinheiten bei sauberer Durchführung ein bis zwei Wiederholungen mehr durchzuführen,

2 Der Norwegische Physiotherapeut Oddvar Holten beschrieb in den 1950er Jahren den mittleren Zusammenhang zwischen Widerstand und möglicher Wiederholungszahl als Basis für die Trainingssteuerung beim Krafttraining und stellte diesen Zusammenhang grafisch (als Kurve) dar.

kann der Widerstand um 2-10 % gesteigert werden (American College of Sports Medicine 2009).

In vielen Kontexten empfiehlt es sich, das 1RM zu einem späteren Zeitpunkt im Trainingsprozess zu ermitteln – dann, wenn bereits eine gewisse Gewöhnung stattgefunden hat und maximale Kontraktionen sicher durchgeführt werden können.

Wahl geeigneter Trainingsübungen

Krafttrainingsübungen sollten nach Möglichkeit generell über das gesamte schmerzfreie Bewegungsausmaß ausgeführt werden. Kriterien einer adäquaten Übungsausführung sind eine erkennbare Umsetzung des Bewegungsrhythmus und einer gleichbleibenden Bewegungsgeschwindigkeit über das gesamte Bewegungsausmaß (Ausnahmen: Schnellkraft und Reaktivkrafttraining) und die Stabilisation nicht beteiligter Gelenke (keine Ausweichbewegungen) (American College of Sports Medicine 2009). Auch das Erlernen der korrekten Atmung ist Bestandteil der Übungseinweisung.

Für ein Krafttraining können u. a. geführte Geräte, Seilzüge, freie Hanteln, Therabänder und das Körpergewicht eingesetzt werden. Eine adäquate Beanspruchung des Muskels über das gesamte Bewegungsausmaß hinweg, eine gute Dosierbarkeit des Widerstandes und ein Monitoring des Trainingsfortschritts werden am ehesten bei geführten Geräten, an Seilzügen und mit Hanteln erreicht. Koordinativ anspruchsvolle Übungen, deren Effekte sich gut auf Alltag und Sport übertragen lassen, sind insbesondere mit freien Hanteln, am Seilzug und zum Teil mit dem Körpergewicht und mit dem Theraband möglich (American College of Sports Medicine 2009). Hingegen ist der Aufwand für die Instruktion bei geführten Geräten am geringsten.

Derartige Aussagen gelten selbstverständlich nicht pauschal für jede Übung und jede Trainingssituation, zumal Übungen modifiziert werden können, beispielsweise durch die Hinzunahme koordinativer Elemente (instabile Unterlage an der Beinpresse).

Zu weiteren Determinanten der Übungsauswahl und Trainingsmodalität gehören:

- Sicherheit und Verletzungsrisiko,
- Schmerzen oder lokale Reizzustände, die möglicherweise durch eine spezifische Übung stärker/weniger stark ausgelöst/verstärkt werden,
- die induzierte kardiorespiratorische Beanspruchung,
- Ausbildung und Erfahrung der Therapeuten,
- Raumverhältnisse sowie
- Kosten und Verfügbarkeit von Geräten.

Innerhalb einer Trainingseinheit werden nach dem Aufwärmen zunächst Hauptübungen (mehrere Gelenke beteiligt, viele Freiheitsgrade, koordinativ anspruchsvoller) und

dann Nebenübungen (geführt an Geräten) durchgeführt (American College of Sports Medicine 2009). Diese Reihenfolge kann bei gutem Trainingszustand bewusst umgekehrt werden.

Kraftdiagnostik

Eine Kraftdiagnostik kann durch die Ermittlung des Einwiederholungsmaximums (1RM) erfolgen. Es empfiehlt sich, eine Übung zu wählen, die einen möglichst hohen Bezug mit Blick auf die Funktions- und Leistungsfähigkeit in Alltag und Sport aufweist. In vielen Kontexten stellt aber auch die initiale Ermittlung des 10- oder 15-Wiederholungsmaximums anstelle des 1RM ein hinreichend reliables und valides Mittel der Kraftdiagnostik dar (Scharhag-Rosenberger et al. 2014; Schlumberger u. Schmidtbleicher 2000).

Isometrische Krafttests (maximaler Druck oder Zug gegen einen unüberwindlichen Widerstand in einer definierten Position über mehrere Sekunden), z. B. unter Verwendung von Dehnmessstreifen, geben den Kraft-Zeit-Verlauf einer isometrischen Muskelkontraktion wieder und erlauben die reliable und valide Ermittlung des Kraftanstiegs (der Rekrutierungsgeschwindigkeit) und der isometrischen Maximalkraft. Isometrische Krafttests haben den Nachteil, dass ein einzelner Test immer nur in einem bestimmten Winkel durchgeführt werden kann (Schlumberger u. Schmidtbleicher 2000).

Bei der Isokinetik wird die Bewegungsgeschwindigkeit durch den Motor eines speziellen Test- und Trainingsgerätes (z. B. Biodex, Cybex, Contrex, Isomed, BTE, Humac Norm) vorgegeben. Es wird mit Winkelgeschwindigkeiten zwischen 30 und 240° pro Sekunde gearbeitet. Der Widerstand des Isokineten passt sich permanent der Kraft an, die der Patient gerade aufwendet. Die aufgebrachte Kraft wird aufgezeichnet, so dass Bewegungsausmaß (Range of Motion, ROM), winkelspezifisches Drehmoment, Arbeit und Leistung ermittelt werden können (Banzer et al. 2004). Für die Kraftdiagnostik wird der Patient nach der Abstimmung der Geräteeinstellung auf die individuellen Körpermaße und einem spezifischen Aufwärmen aufgefordert, die Kontraktionen über das gesamte Bewegungsausmaß »so schnell und so stark wie möglich« durchzuführen.

Die Testergebnisse lassen sich nur eingeschränkt zwischen den Geräten unterschiedlicher Hersteller vergleichen und hängen von der Bewegungsgeschwindigkeit ab (höhere Testgeschwindigkeit: reduzierte Drehmomente). Neben der Diagnostik der Kraftleistungsfähigkeit bieten Isokinetik-Geräte auch die Möglichkeit, spezielle Trainingseinheiten (Krafttraining, Continuous Passive Motion, Biofeedback und assistives Training) durchzuführen.

Trainingseffekte und Interaktion mit Ausdauertraining

Anpassungen (Adaptationen) an ein Krafttraining hängen von der gewählten Trainingsmethode ab (s. ■ Tab. 2.5). Tendenziell induzieren hohe Wiederholungszahlen mit geringeren Widerständen ausgeprägtere Adaptationen auf muskulärer und metabolischer Ebene, niedrigere Wiederholungszahlen bei hohen Widerständen stärker zentralnervöse und neuronale Effekte. Krafttraining beeinflusst zudem die Struktur und Funktion von Sehnen und Bändern und kann bei adäquater Übungsauswahl zu Erhalt und Verbesserung der Knochendichte beitragen (Donath et al. 2015).

Ein umfangreiches, intensives Krafttraining kann die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit für mehrere Tage (Sarabon et al. 2013) bis hin zu zwei Wochen (Güllich u. Schmidtbleicher 1999) messbar beeinträchtigen.

Effekte von Kraft- und Ausdauertraining interagieren in Abhängigkeit von Population, Reizkonfiguration, Reihung und zeitlichem Abstand und Dauer des Trainingsprogramms. Ein einige Stunden vor dem Krafttraining durchgeführtes Ausdauertraining mit moderatem Umfang und moderater Intensität scheint die Kraftentwicklung auch über einen längeren Zeitraum nicht zu beeinflussen. Intensive und hochdosierte Ausdauerreize für die gleiche Muskelgruppe können hingegen insbesondere dann den Krafttrainingseffekt überlagern, wenn sie unmittelbar nach dem Krafttraining appliziert werden (Baar 2014). Die Studienergebnisse zur gegenseitigen Beeinflussung von Kraft- und Ausdauertraining sind jedoch nicht konsistent. Einzelne Studien berichten sogar von einer Verstärkung des Kraftzuwachses (nicht jedoch des Muskelquerschnitts und der Schnellkraft) durch ein zusätzliches Ausdauertraining (Cadore et al. 2014).

Dosis-Wirkungs-Zusammenhang

Krafttrainingseinheiten enthalten je nach Dauer und Schwerpunktsetzung (Kraft, Beweglichkeit, Koordination) zwischen 3 und 10 unterschiedliche Kraftübungen. Solange der Muskel wirklich erschöpft wird, kommt es durch ein Ein-Satz-Training in den ersten Wochen eines neu aufgenommenen Krafttrainings durchaus zu einem Kraftzuwachs. Dies gilt insbesondere für die oberen Extremitäten. In der Praxis werden in einem Programm zudem häufig unterschiedliche Übungen gewählt, welche die gleichen Muskelgruppen mehrmals belasten, so dass diese Muskelgruppen real mehreren Sätzen ausgesetzt sind (beispielsweise Beinpresse und Leg Extensions, die beide den M. quadriceps femoris beanspruchen). Die Anzahl der Sätze sollte aber nach einigen Wochen Training mit zunehmendem Leistungsniveau gesteigert werden.

Ein Zusammenhang zwischen Krafttrainingsdosis (Umfang, Intensität, Dauer) und Effekt (Kraftzuwachs, ge-

sundheitsbezogene Endpunkte) ist für unterschiedliche Populationen beschrieben (Peterson et al. 2004; Rhea et al. 2003; Steib et al. 2010). Bei untrainierten und älteren Personen scheinen vor allem der Trainingsumfang im Sinne der insgesamt absolvierten Trainingssätze (Radaelli et al. 2015) und die Dauer des Trainings in Wochen (Silva et al. 2014) mit dem Maximalkraftzuwachs zu korrelieren. Bei Athleten mit viel Krafttrainingserfahrung ist es hingegen die Intensität, die den Dosis-Wirkungs-Zusammenhang stärker zu beeinflussen scheint (Peterson et al. 2004). Empfohlen werden hier Intensitäten > 75 % des 1RM. Bestätigt wird dies durch den Befund, dass sich bei Untrainierten der größte Kraftzuwachs mit etwas niedrigeren Intensitäten (60 % 1RM) erzielen lässt als bei Trainierten (80 % 1RM) (Rhea et al. 2003). Trainierte benötigen aber gleichzeitig ein grundsätzlich höheres Trainingsvolumen als Untrainierte, um ihre Leistung zu halten oder zu steigern (Peterson et al. 2004).

Zwischen Krafttrainingseinheiten für die gleiche Muskelgruppe sollte 48 Stunden, bei reaktivem Training 72 Stunden Pause liegen (Güllich u. Schmidtbleicher 1999; Mayer et al. 2011).

Mittlerweile gibt es einige Hinweise, dass auch niedrigintensives (Intensität 30-40 % 1RM) Krafttraining bei Untrainierten eine Hypertrophie zu induzieren vermag (Burd et al. 2012; Wernbom et al. 2009; s. ► Kap. 6).

Falls organisatorische Rahmenbedingungen die Trainingszeit begrenzen, kann bereits mit einer Trainingseinheit pro Woche insbesondere bei wenig trainierten Muskelgruppen ein überschaubarer Trainingseffekt erzielt werden. Dies gilt allerdings nur für einen begrenzten Zeitraum. Allgemein empfohlen werden aufgrund der günstigen Relation zwischen Trainingsaufwand und -effekt zwei Einheiten die Woche. Soll der Muskelaufbau möglichst rasch erfolgen, sollten drei Einheiten und von Beginn an 2-3 Sätze durchgeführt werden. Zur Konservierung des Kraftleistungsniveaus ist ein geringerer Trainingsumfang notwendig als zur Verbesserung.

2.2.3 Koordinationstraining

Koordination – lässt sich als die Fähigkeit betrachten, Bewegungen aufgabengerecht und zielorientiert zu steuern. Koordination erfordert das Zusammenwirken von Sinnesorganen, Nervensystem und Bewegungsapparat.

Motorisches Lernen und Wiedererlernen sowie die zielgerichtete zeitliche, räumliche und kraftbezogene Abstimmung von (Teil-)Bewegungen unter variierenden Bedingungen sind für körperliche Aktivitäten in Beruf, Freizeit und Sport unverzichtbar.

Unmittelbar durch eine Verletzung oder Operation (z. B. Schädigung von Rezeptoren oder Nerven), aufgrund

langer Immobilisation, chronischer Erkrankung (z. B. Diabetes mellitus Typ 2), schmerzbedingter Störungen und/oder durch fehlendes Training kann die Koordination beeinträchtigt sein. Koordinationstraining kann es im medizinischen Kontext ermöglichen, Bewegungen sicherer, ökonomischer und/oder schneller durchzuführen oder sehr anspruchsvolle Bewegungsaufgaben zu lösen. Liegen krankheitsbedingte Einschränkungen der konditionellen Leistungsfähigkeit vor, kann Koordinationstraining unmittelbar zu einer Verbesserung von Kraft und Ausdauer beitragen. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass für einige Bewegungsaufgaben auch ein spezifisches Niveau von Kraft, Ausdauer und Beweglichkeit erforderlich ist. Eine gute Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit befähigt zudem dazu, ein Koordinationstraining über einen längeren Zeitraum mit hoher Konzentration durchzuführen.

Im Vergleich zum Kraft- und Ausdauertraining stellt das Training koordinativer Fähigkeiten ein breiteres und komplexeres Handlungsfeld dar. In der Praxis lassen sich Kraft- und Koordinationstraining (z. B. Treppensteigen in der geriatrischen Rehabilitation) sowie Ausdauer- und Koordinationstraining (z. B. längeres Gangtraining nach einem Schlaganfall) nicht immer klar abgrenzen.

Bei der Durchführung von Koordinationstraining ist die Unterscheidung zwischen koordinativen Fähigkeiten und koordinativen Fertigkeiten von Bedeutung.

Koordinative Fähigkeiten/Fertigkeiten – Unter koordinativen **Fähigkeiten** versteht man grundlegende Dispositionen, Bewegungen in vielfältigen Bewegungssituationen und Kontexten kontrolliert und koordiniert durchführen zu können. Spezielle koordinative **Fertigkeiten** bezeichnen demgegenüber Dispositionen, einzelne, spezifische und häufig komplexe Bewegungen im Alltag oder in einer bestimmten Sportdisziplin in einer adäquaten Form durchführen zu können.

Zu den allgemeinen koordinativen Fähigkeiten zählen im deutschen Sprachraum gemeinhin:

- **Kopplungsfähigkeit:** Fähigkeit, einzelne Bewegungselemente oder Bewegungen einzelner Körperabschnitte zu einer zielgerichteten, flüssigen, sicheren und ökonomischen Gesamtbewegung zu verbinden. Insbesondere erforderlich für komplexe Bewegungen sowie Multiple Task-Aufgaben.
- **Differenzierungsfähigkeit:** Fähigkeit zur Feinabstimmung von Bewegungs(teil-)abläufen auf das intendierte Bewegungsziel und relevante Umweltbedingungen. Dies beinhaltet beispielsweise beim Werfen eines Balles die Dosierung der Kraft (und damit der Geschwindigkeit).
- **Gleichgewichtsfähigkeit:** Fähigkeit, den Körper im Gleichgewicht zu halten oder während bzw. nach einer Bewegung rasch das Gleichgewicht wiederherzustellen. Die Gleichgewichtsfähigkeit hängt – wie einige andere koordinative Fähigkeiten – von der

Integration kinästhetischer, vestibulärer und visueller Informationen ab und wird durch Ausschalten einer oder mehrerer dieser Afferenzen beeinträchtigt.

- **Orientierungsfähigkeit:** Fähigkeit, die eigene Position und die Position von Objekten in einem Aktionsfeld räumlich und zeitlich richtig einschätzen zu können. Geteilte Aufmerksamkeit oder das Fehlen optischer, akustischer und kinästhetischer Informationen können die Orientierungsfähigkeit beeinträchtigen.
- **Rhythmisierungsfähigkeit:** Fähigkeit, zyklische und nicht-zyklische Bewegungen in einem angemessenen Rhythmus durchführen und diesen Rhythmus variieren zu können, wie beim Gehen. Zudem Fähigkeit, einen vorgegebenen Rhythmus zu erfassen und motorisch umzusetzen, wie beim Tanzen.
- **Reaktionsfähigkeit:** Fähigkeit, bei erwarteter oder unerwarteter Situationsänderung auf Basis einer schnellen Reizverarbeitung rasch eine adäquate Bewegungshandlung auszuwählen und zu initiieren.
- **Umstellungsfähigkeit:** Fähigkeit, Bewegungsprogramme unmittelbar während der Ausführung an veränderte räumliche, zeitliche oder kraftbezogene Erfordernisse anzupassen.
- **Antizipationsfähigkeit:** Fähigkeit, Situationen erfahrungsbasiert zu erkennen und frühzeitig eine darauf abgestimmte motorische Antwort einzuleiten.

Die Differenzierung und Definition dieser unterschiedlichen koordinativen Fähigkeiten bietet Anknüpfungspunkte für die Trainingsgestaltung. Sie verdeutlicht auch die Vielseitigkeit und Komplexität dessen, was man unter Koordination verstehen kann. Mit Ausnahme der Gleichgewichtsfähigkeit, die vergleichsweise gut untersucht ist, handelt es sich jedoch um Konstrukte ohne stringente neurophysiologische oder empirische Fundierung. So ist zum Beispiel weitgehend unklar, wie man Rhythmisierungsfähigkeit im Einzelnen misst und wie man sie optimal trainiert.

Beispiele für koordinative Fertigkeiten in Alltag und Sport sind:

- sicheres Gehen auf instabilem, rutschigen Untergrund, während man sich unterhält,
- Balancieren eines voll beladenen Tablett durch einen engen Raum,
- Übersteiger beim Fußball.

Methodik des Koordinationstrainings

Die Koordination von Bewegung ist physiologisch sehr komplex. Während sich einige bedeutende Grundsätze der Gestaltung von Kraft- und Ausdauertraining aus der Physiologie der muskulären Kontraktion respektive der Herz-Kreislauf-/Stoffwechselphysiologie herleiten lassen, tragen neurophysiologische Erkenntnisse vergleichsweise wenig

■ Tab. 2.6 Planung eines Koordinationstrainings

Planungsschritt	Leitfrage	Beispiel
Aufschluss über momentane koordinative Fähigkeiten und Fertigkeiten erhalten	Wie sind die individuellen koordinativen Fähigkeiten und Fertigkeiten momentan ausgeprägt, bzw. welche Ausprägung ist zu erwarten?	Frau Müller fühlt sich auf längeren Wegstrecken außerhalb des Hauses zunehmend unsicher. Der Balance Evaluation Systems Test (BEST) ^a (Horak et al. 2009) zeigt, dass Gangstabilität, antizipatorische Adjustierung der Haltung und posturale Response auf Gleichgewichtsverlust eingeschränkt sind. Dual-Task-Aufgaben ^b induzieren Veränderungen im Gangbild.
Koordinatives Anforderungsprofil der Zielbewegungen in Sport und Alltag ermitteln	Was sind die typischen Handlungssituationen und Bewegungsaufgaben? Welche Informationsanforderungen und Druckbedingungen (erforderliche Präzision, zur Verfügung stehende Zeit, Komplexität der Aufgabe) liegen vor?	Frau Müller würde gerne weiterhin selbstständig in der gepflasterten Fußgängerzone einkaufen und sich mit Freundinnen in der Stadt treffen. Das Gehen auf instabilem Untergrund bringt insbesondere visuelle, kinästhetische und vestibuläre Anforderungen (hohe Gleichgewichtsanforderungen) mit sich sowie Situationsdruck (variable Umgebung) und Komplexitätsdruck (Dual Task in verschiedenen sozialen Kontexten).
Differenz zwischen Fähigkeiten/Fertigkeiten und Anforderungsprofil darstellen	Ist eine verbesserte Koordination nötig, um bestimmte Bewegungsaufgaben überhaupt erfolgreich lösen zu können? Erscheint eine Veränderung von Bewegungsabläufen oder Haltungen möglich? Erscheint diese Veränderung sinnvoll (geringeres Rezidivrisiko, sicherere und ökonomischere Durchführung von Bewegungen, andere gesundheitliche Vorteile)?	Die Differenz zwischen selbsteingeschätzten sowie klinisch beobachteten Fähigkeiten und Fertigkeiten und dem Anforderungsprofil ist evident. Frau Müller ist motiviert, und es gibt keine Kontraindikationen gegen die Durchführung eines Koordinationstrainings. Studien weisen auf Effekte von Gleichgewichts- und Dual-Task-Training auf Ganggeschwindigkeit und Sturzrisiko hin (Mansfield et al. 2015; Wang et al. 2015).
Trainingsgestaltung	Wie lassen sich koordinative Anforderungen von Trainingsübungen unter Berücksichtigung der Funktion und Gesundheit zielgerichtet gestalten und verändern?	Übungen zur Verbesserung der statischen und dynamischen Balance mit gezielter Störung der posturalen Kontrolle. Gehen auf unterschiedlichen Untergründen und mit Dual-Task Aufgaben.

^aBEST: etablierte klinische Testbatterie zur Einschätzung der statischen und dynamischen posturalen Kontrolle mit 36 Items
^bDual-Task-Aufgaben: Aufmerksamkeitsabhängige Bewegungsleistungen werden mit Hilfe von Mehrfachhandlungen trainiert, beispielsweise durch das gleichzeitige Ausführen einer Bewegung (z. B. Gehen) und einer kognitiven Aufgabe (z. B. Rechnen)

zur konkreten Gestaltung des Koordinationstrainings in der Praxis bei. Zudem fehlen mehrarmige Studien, welche die Effekte unterschiedlicher Formen und Dosierungen von Koordinationstraining auf patientenzentrierte Endpunkte vergleichen. Koordinationstraining beruht somit häufiger auf Best Practice als auf Best Evidence.

Ein beispielhaftes Vorgehen bei der Planung eines Koordinationstrainings zeigt ■ Tab. 2.6.

Zum Erreichen von Trainingszielen lassen sich grundsätzlich die in ■ Tab. 2.7 aufgeführten Trainingsmethoden einsetzen.

Einschätzung koordinativer Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie koordinativer Belastung und Beanspruchung

Die Objektivierung koordinativer Fähigkeiten spielt eine wichtige Rolle für die Prognose des weiteren Heilungs-

verlaufs (bei neurologischen Erkrankungen), die Einschätzung des Adaptationspotenzials und die Auswahl und Steuerung adäquater Trainingsinhalte. Anders als Kraft und Ausdauer lässt sich Koordination aber nicht generalisiert mit Hilfe einiger weniger Parameter beschreiben und quantifizieren. Koordinative Tests bilden oftmals nur einen kleinen Teil des koordinativen Leistungsspektrums ab. In vielen Fällen ist unklar, ob ihre Gütekriterien hinreichend sind. Die Übereinstimmung mit den Ergebnissen von anderen Tests, die sich auf ähnliche koordinative Fähigkeiten beziehen, ist häufig gering.

In der Regel misst man Bewegungsverhalten bzw. registriert bestimmte Kenngrößen von Bewegung, um daraus Rückschlüsse auf zugrundeliegende hypothetische Konstrukte zu ziehen. Zur Einschätzung der Gleichgewichtsfähigkeit existiert eine Vielzahl von Ansätzen, von denen nachfolgend ausgewählte genannt werden. Eine

Tab. 2.7 Methoden zum Training koordinativer Fertigkeiten und Fähigkeiten in Abhängigkeit des Fertigniveaus

Ziel	Methode	Anwendungshinweise	Anwendungsbeispiel
Erwerb einer Fertigkeit	Strukturiertes Üben	Einsatz von Erleichterungen und Orientierung Instruktionen: einfach, bimodal, anschaulich, umweltgebunden, räumlich; Metaphern, Analogien Korrekturen: grob, motivierend	Erstmaliges Üben der lumbopelvikalen Kontrolle bei einem Rückenschmerzpatienten Bewegungsaufgabe: Lendenwirbelsäule (LWS) in Rückenlage in moderat lordosierter Position halten Taktile Unterstützung durch Therapeuten, Biofeedback (Druckmessung)
Festigung einer Fertigkeit	Strukturiertes und unstrukturiertes Üben	Variation situativer und externer Einflüsse Instruktionen: zunehmend komplexer, taktil-kinästhetisch Korrekturen: fein, Eigenbewertung, abnehmende Häufigkeit	Erweiterung der lumbopelvikalen Kontrolle Stellung der LWS frei stehend, sitzend oder liegend wahrnehmen und vom Therapeuten vorgegeben variierende Lordoseposition einnehmen
Variable Verfügbarkeit und Transfer einer Fertigkeit	Unstrukturiertes und variables Üben	Randomisiertes und differenzielles Üben Instruktionen: komplex, multimodal	Anwendung der lumbopelvikalen Kontrolle in Alltagskontexten Lordosierung der LWS bei alltäglichen Bewegungsaufgaben (Aufheben von Lasten, Schrank einräumen) und in Dual-Task-Situationen wahrnehmen und steuern
Allgemeines Koordinations-training (koordinative Fähigkeiten)	Variables Üben	Gleichgewicht, Orientierung, Differenzierung, Reaktion	Vielseitiges Balancetraining im Sitzen und Liegen auf dem Pezizball Auf instabiler Unterlage stehend Zusatzaufgaben erfüllen (z. B. einen Ball fangen und werfen)

hinreichend reliable Beurteilung der posturalen Kontrolle (Balance) kann durch die dynamometrische Messung von Auslenkungen des Körperschwerpunktes (»centre of mass«, COM) bzw. Druckmittelpunktes (»centre of pressure«, COP) mit Hilfe von Kraftmessplatten erfolgen (Banzer et al. 2004). Der Star Excursion Balance Test (SEBT) (Gribble et al. 2012) und das Balance Error Scoring System (BESS) (Bell et al. 2011) sind vergleichsweise einfache Balancetests, welche zur Einschätzung der Balance und Prädiktion des Verletzungsrisikos von Sportsportlern genutzt werden. Dem gleichen Zweck dienen Time to Stabilisation (TTS)-Tests, Sprünge auf eine Kraftmessplatte mit möglichst schneller Stabilisation.

Ebenfalls im Kontext der Verletzungsprävention lassen sich koordinative Fertigkeiten wie das Gangbild von älteren Menschen (Arampatzis et al. 2011) oder wie Bewegungsabläufen in Sportsportarten (z. B. Landung nach Sprüngen, Richtungswechsel) (Padua et al. 2009) als Indikatoren für Sturz- bzw. Verletzungsrisiko heranziehen.

Koordinative Fertigkeiten im Alltag oder in unterschiedlichen Sportarten gelten oftmals dann als hoch, wenn die Bewegungsausführung möglichst eng an einem bestimmten technischen Leitbild orientiert ist. Zur vollständigen Beschreibung von Bewegungen (und damit Beurteilung koordinativer Fertigkeiten) ist u. a. die Ermittlung von Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung von Punkten und Körpersegmenten im Raum (Kinemetrie)

erforderlich. Kinematische Bewegungsmerkmale sind Bewegungsrhythmus, Bewegungsfluss, Bewegungsgenauigkeit, Bewegungsumfang und Bewegungstempo. Eine Analyse solcher Weg-Zeit-Merkmale gestatten u. a. Beschleunigungsaufnehmer (Akzelerometer), Ultraschall-Systeme und elektrooptische Passiv- und Aktivmarkersysteme (Banzer et al. 2004).

Auch die elektromyographisch registrierte Reihenfolge und Stärke der Innervation der beanspruchten Muskulatur kann zur Einschätzung der Koordination herangezogen werden. Unter Elektromyographie (EMG) versteht man die Registrierung, Analyse und Darstellung von Summenaktionspotenzialen aktiver motorischer Einheiten mit dem Ziel, Auskunft über den zeitlichen Verlauf und das Ausmaß der Skelettmuskelaktivität zu erhalten. Zur Elektromyographie werden im therapeutischen Kontext meist Oberflächen Elektroden eingesetzt, so dass man ein Überlagerungssignal der einzelnen Aktionspotenziale unterschiedlicher motorischer Einheiten erhält. Eine detaillierte Methodenbeschreibung liefern nationale und internationale Standards (Freriks u. Hermens 2000; Pfeifer et al. 2003).

Steuerung des koordinativen Anforderungsprofils von Bewegungsaufgaben

Die Intensität eines Koordinationstrainings lässt sich ungleich schwerer steuern als die Intensität eines Ausdauer-

■ Tab. 2.8 Druckbedingungen im Koordinations-Anforderungs-Regler (KAR) nach Neumaier (2006)

Druckbedingung	Beschreibung	Umsetzung anhand des Beispiels Gehen oder Laufen
Präzisionsdruck	Bewegungsgenauigkeit, sowohl Verlauf als auch Ergebnis der Bewegung betreffend	Balancieren entlang einer Linie, ganz genaues Werfen/Rollen eines Balles
Zeitdruck	Limitierte Bewegungszeit und/oder eine mindestens zu erreichende Bewegungsgeschwindigkeit	Schnell durch einen Parcours gehen, Staffelspiele
Komplexitätsdruck	Simultane und/oder sukzessive Koordination grob- und feinmotorischer Teilbewegungen unterschiedlicher Muskeln	Übersteigen von Hindernissen, Richtungswechsel als Reaktion auf definiertes Signal, Dual-Task-Aufgaben
Situationsdruck	Komplexität und Variabilität der für die Lösung der Bewegungsaufgabe einzubeziehenden situativen Komponenten und Umgebungsvariablen	Gehen auf vielfältigen und ständig wechselnden Untergründen mit variierend vorgegebener Richtung, dabei Balancieren eines Gegenstandes
Belastungsdruck	Physische oder psychische Belastung und/oder Ermüdung	Physische Belastung durch vorangegangenes Ausdauer- oder Krafttraining, d. h., Geh- oder Lauftraining im ermüdeten Zustand (sofern indiziert)

oder Krafttrainings. In der Regel startet der Therapeut auf Basis von Assessments, einer Beobachtung des Klienten oder Patienten sowie seiner Erfahrung das Koordinationstraining mit vergleichsweise einfachen Übungen. In einem iterativen Verfahren wird dann die Schwierigkeit der Übungen gezielt manipuliert und auf den aktuellen Leistungsstand des Übenden ausgerichtet.

Dabei ist unbedingt der Aspekt der Sicherheit zu beachten. Beispielsweise sollte im Bedarfsfall (ältere, sturzgefährdete Person) ein Balancetraining an einer Sprossenwand oder am Gehbaren durchgeführt werden, und der Therapeut sollte zur Sicherung bereitstehen.

Um koordinative Fähigkeiten und/oder spezifische Fertigkeiten zu verbessern, können Systematiken zur Variation von Bewegungsaufgaben genutzt werden, wie beispielsweise der Koordinations-Anforderungs-Regler (KAR) (Neumaier 2006). Der KAR ist eine Art Werkzeug, mit dem unterschiedliche koordinative Informationsanforderungen und Druckbedingungen kreiert werden können, um die Intensität und den Schwerpunkt des koordinativen Trainings zu steuern.

Informationsanforderungen können optisch, akustisch, kinästhetisch, vestibulär und/oder taktil sein sowie das Gleichgewicht betreffen. Die Druckbedingungen lassen sich fünf Hauptbereichen zuordnen (■ Tab. 2.8). Veränderungen der Druckbedingungen lassen sich über Veränderungen des Bewegungsziels und der Ausführungsbedingungen erreichen.

Das weiter oben beschriebene Modell der allgemeinen koordinativen Fähigkeiten und der Koordinations-Anforderungs-Regler bieten hilfreiche Ansatzpunkte für die praktische Umsetzung von Koordinationstraining. Beiden fehlt aber die empirische Basis.

Progression des Koordinationstrainings

Ein Einsatzfeld, anhand dessen sich eine Möglichkeit der zielbezogenen Progression (planvolle, schrittweise Steigerung u. a. von Intensität und Umfang) eines Koordinationstrainings exemplarisch darstellen lässt, ist die orthopädische Rehabilitation. Der nachfolgend skizzierte Best-Practice-Ansatz von Diemer und Sutor (2011) schlägt in- einander übergehende Progressionsstufen vor, orientiert an der Wundheilung und Belastbarkeit des Bewegungsapparates sowie an der Entwicklung der physischen Fitness. Im Kern ähnliche Best-Practice-Ansätze, die in Teilen eine abweichende Phaseneinteilung, Terminologie und Einordnung von Übungen aufweisen, sind in englischsprachigen Publikationen zu finden (Brotzman et al. 2011; Comfort u. Abrahamson 2010). Sie beziehen sich wie Diemer und Sutor (2011) auf eine Reihe unterschiedlicher akuter und chronischer Verletzungen des Bewegungsapparates.

Allgemeines Beispiel für die Progression

In der meist nur wenige Tage dauernden Entzündungsphase nach einer akuten Verletzung oder einer Operation findet im Zuge einer funktionellen Immobilisation an der verletzten Struktur in der Regel kein gezieltes Koordinationstraining statt. Allerdings müssen koordinative Fertigkeiten für den sicheren Umgang mit der verletzten Struktur und deren Schonung bei Alltagsaktivitäten erlernt werden, z. B. bei Verletzungen der unteren Extremität der Gebrauch von Krücken in unterschiedlichen Alltagssituationen.

Zu Beginn der sog. Proliferationsphase (quantitative Wundheilungsphase, in der eine Gewebeneubildung stattfindet) wird die gezielte und dosierte Kontraktion relevanter Muskelgruppen meist isometrisch trainiert, und es werden kinästhetische Fähigkeiten (Fähigkeit zur propriozeptiven Wahrnehmung von Gelenkwinkeln, Bewegungen und Kräften) verbessert.

Zu einem späteren Zeitpunkt in der Proliferationsphase kommt Balance-Training zur Verbesserung der statischen Stabilität hinzu. Da-

bei sollen Informationsaufnahme (Afferenzen) und -verarbeitung in einfachen Situationen ohne Zeitdruck oder schnelle Bewegung wiedererlernt werden. Statische Stabilität ist die Fähigkeit, Beinachse, Fußgewölbe, Schulter oder Rumpf in einer Ausgangsstellung wie Sitz, Vierfüßlerstand, Zweibein- oder Einbeinstand stabil zu halten. Durch die Wahl der Unterlage (stabil, instabil, mobil etc.) oder Veränderungen des Visus (geschlossene Augen) können insbesondere die Anforderungen an das kinästhetische System, durch Störmanöver (Kopfbewegen, motorische Zusatzaufgaben) die Anforderungen an das vestibuläre System gesteigert werden.

Zum Ende der Proliferationsphase beginnt die kontrollierte (teils verlangsamte) Durchführung von Alltags- und Sportbewegungen (dynamische Stabilität). Ziel ist, ausgewählte Bewegungen aus dem Alltag oder Sport unter kontrollierten Bedingungen sauber und ökonomisch durchführen (stabilisieren) zu können. Neben Alltagsbewegungen (z. B. Gehen, Treppensteigen; Heben und Bewegen von Gegenständen; Anziehen) und Elementen aus dem Sport (z. B. Schuss- und Wurfbewegungen in Zeitlupe als Techniktraining) können dabei auch Übungen mit geringen Widerständen (< 20 % des 1RM) eingesetzt werden. Das Training bezieht sich in dieser Phase sowohl auf allgemeine koordinative Fähigkeiten als auch auf spezifische koordinative Fertigkeiten.

In der Remodellierungsphase (»qualitative« Wundheilungsphase, Gewebeumbau) werden schnellere und belastendere Bewegungen trainiert, die Feedforward-Mechanismen der Bewegungskontrolle erfordern (schnelle Würfe, Sprungübungen, Richtungswechsel, sportart- und alltagsspezifische Übungen).

Empirische Hinweise zur bestmöglichen Gestaltung der Progression existieren nicht speziell zum Koordinations- training, sondern eher allgemein mit Blick auf die Vor- und Nachteile einer insgesamt beschleunigten versus langsamen Progression, beispielsweise nach operativer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (VKB). Eine beschleunigte Progression (schnellere Steigerung des erlaubten Bewegungsausmaßes, frühere Durchführung von Krafttraining und anspruchsvolleren Koordinationsübungen) erscheint bei der VKB-Rehabilitation sicher, und es gibt einige Hinweise auf eine bessere Funktion, die aber nur zum Teil auch langfristig (> 1 Jahr nach Operation) Bestand hat (Kruse et al. 2012). Von größerer Bedeutung als eine pauschal schnelle Progression erscheint die individuelle, kriterienbasierte Gestaltung der Progression anhand standardisierter Tests (Diemer u. Sutor 2011; Myer et al. 2008).

Effekte koordinativen Trainings

Eine Verbesserung koordinativer Fähigkeiten und Fertigkeiten – beispielsweise der Gangsicherheit oder der Fähigkeit, bestimmte Bewegungsmuster genauer oder häufiger fehlerfrei durchzuführen – ist in der Regel auf unterschiedliche Mechanismen zurückführen. Zu möglichen Mechanismen gehören Veränderungen der Informationsaufnahme und -verarbeitung (neuronale Regulationsprozesse), der neuromuskulären Ansteuerung (Arampatzis et al. 2011) und der muskulären Kraftentwicklung (Keogh et al. 2010).

Zu den Effekten koordinativen Trainings im Verbund mit weiteren Interventionen (Krafttraining, Beweglich-

keitstraining) existiert eine Vielzahl von Studien. Die Effekte solitären Koordinationstrainings sind jedoch nur für einige Trainingsformen, Populationen und Krankheitsbilder ausreichend empirisch untersucht, wenngleich die Notwendigkeit und Wirksamkeit von Koordinationstraining in vielen Kontexten auf der Hand liegt. Vergleichsweise viele Publikationen haben die Effekte von Koordinationstraining bei älteren Menschen untersucht. Kombinationen aus Gangtraining, Balanceübungen und funktionellem (alltagsbezogenem) Training führen zu Verbesserungen beim Timed-Up-and-Go-Test³ (mittlere Differenz -0,82 s; 95 % Konfidenzintervall (KI) -1,56 bis -0,08 s) (zum Konfidenzintervall s. ► Kap. 2) und der selbst gewählten Ganggeschwindigkeit (standardisierte Mittelwertsdifferenz (SMD) +0,43; 95 % KI +0,11 bis +0,75) (Howe et al. 2011) (zur SMD s. ► Kap. 1).

Die am besten untersuchte Form koordinativen Trainings stellt Balancetraining dar. Balancetraining verbessert (zum Teil nur tendenziell) bei gesunden, älteren Menschen die statische Balance (SMD +0,51; 95 % KI +0,06 bis +0,96) und die dynamische Balance (SMD +0,44, 95 % KI -0,24 bis +1,13), die proaktive Balance (Fähigkeit, eine kommende Störung der Balance zu antizipieren: SMD +1,73, 95 % KI +0,97 bis +2,49) und die reaktive Balance (Fähigkeit, auf eine Störung der Balance adäquat zu reagieren: SMD +1,01, 95 % KI -0,17 bis +2,18) sowie die in Balance-Testbatterien erzielte Punktzahl (SMD +1,52, 95 % KI +0,65 bis +2,39) (Lesinski et al. 2015). Balancetraining verbessert zudem Kraft und Schnellkraft und kann zur Reduktion von Sturzangst beitragen (Granacher et al. 2011).

Im Bereich der Verletzungsprävention und Rezidivprophylaxe bei Sportlern reduziert Balancetraining das Risiko für Bandverletzungen im Sprunggelenk (Relatives Risiko (RR) 0,64; 95 % KI 0,46-0,90) und verspricht tendenziell auch Auswirkungen auf andere Verletzungen der unteren Extremität (RR 0,49; 95 % KI 0,13-1,8) (Hübscher et al. 2010). Die Implementierung eines fußballspezifischen Aufwärmprogrammes (FIFA 11+: 2-3×/Woche 20 Minuten), welches nicht nur koordinative, sondern auch kräftigende Übungen beinhaltet, führt zur Senkung des Verletzungsrisikos teilnehmender Mannschaften um 30 bis zu 70 % (Barengo et al. 2014).

Dosis-Wirkungs-Beziehungen

Sowohl für gesunde Personen (Swain et al. 2014), als auch für ältere Menschen (Chodzko-Zajko et al. 2009) werden in der Regel koordinative Übungsformen (»neuromotor exercise training«) an ≥ 2 -3 Tagen pro Woche für mindestens 20 Minuten pro Trainingseinheit empfohlen (Garber

3 Einfach durchführbarer klinischer Test (Vom Stuhl aufstehen, 3 Meter gehen, umdrehen, wieder hinsetzen) zur groben Einschätzung von posturaler Kontrolle, Mobilität und Sturzrisiko älterer Menschen.

et al. 2011). Die in Lehrbüchern kontextspezifisch empfohlenen und in Studien bei vergleichbaren Stichproben eingesetzten Dosierungen variieren aber erheblich.

Eine aktuelle Metaanalyse (Lesinski et al. 2015) identifizierte anhand publizierter Studien mögliche Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen der Gestaltung von Balance-Training und der resultierenden Verbesserung insbesondere der statischen, zum Teil auch der dynamischen Balance bei gesunden älteren Menschen. Empfohlen werden auf dieser Basis drei Balancetrainingseinheiten à 31-45 Minuten pro Woche über 11-12 Wochen (Lesinski et al. 2015). Bei diesen Empfehlungen wurde allerdings die Interaktion zwischen den Trainingsparametern nicht berücksichtigt. Zudem ist unklar, inwieweit die beobachteten Veränderungen der Balance sich auf patientenrelevante Endpunkte wie Mobilität und Sturzrisiko auswirken.

Darüber hinausgehende belastbare ziel- und zielgruppenspezifische Hinweise auf mindestens notwendige, optimale und maximale Umfänge innerhalb eines Koordinationstrainings (Belastungs- und Erholungszeiten, Wiederholungszahlen) fehlen weitgehend, ebenso wie evidenzbasierte Aussagen zur optimalen Intensität (Garber et al. 2011). Nur in Einzelfällen bekannt ist zudem, ob bestimmte Übungsformen hinsichtlich der gewünschten Anpassungen generell überlegen sind und ob mögliche Dose-Response-Zusammenhänge durch Faktoren wie Alter, Geschlecht oder Trainingsprogression beeinflusst werden (Garber et al. 2011). Granacher et al. weisen beispielsweise in ihrem Review darauf hin, dass erste Studien bessere Effekte von perturbationsbasiertem Balancetraining (Applikation äußerer Störreize, z. B. taktil) und/oder Dual-Task-Aufgaben im Vergleich zu traditionellem Balancetraining auf die selbst gewählte Ganggeschwindigkeit und das Sturzrisiko fanden (Granacher et al. 2011).

Vor diesem Hintergrund erscheint die Veränderung der Qualität der Bewegungsausführung des Übens als entscheidendes Kriterium für die Dosierung einer einzelnen Koordinationsübung und der gesamten Trainingseinheit. Diese lässt sich, wie oben dargestellt, subjektiv einschätzen und/oder objektiv beschreiben. Werden Ermüdung und Konzentrationsschwächen evident und persistieren auch nach Pause und Wechsel der Übung, ist meist innerhalb der gleichen Trainingseinheit kein weiterer Lerneffekt mehr zu erwarten. Somit soll die Qualität, nicht die Quantität der Übungsausführung im Vordergrund stehen.

Folgende weitere Best-Practice-Prinzipien für die praktische Umsetzung koordinativen Trainings erscheinen plausibel und haben sich mit Blick auf Aspekte der Dosierung (Intensität/Schwierigkeitsgrad und Umfang) bewährt:

- vielseitige, variable, kreative Herangehensweise wählen,

- Feedback auf unterschiedlichen Kanälen ermöglichen,
- individuellen Schwierigkeitsgrad so wählen, dass Aufgaben weder durchgängig erfolgreich gelöst werden können noch der Patient durchgängig an der Aufgabe scheitert,
- »Fehler« als wichtigen Teil des motorischen Lernprozesses betrachten,
- dosierte Korrektur von maximal 2 Aspekten bei einer Übungsdurchführung.

2.2.4 Beweglichkeitstraining

Beweglichkeit – ist die Fähigkeit des Muskel-Gelenk-Systems, Bewegungen mit einer großen Amplitude (Bewegungsausmaß) durchführen zu können. Eine normal ausgeprägte Beweglichkeit ist Voraussetzung für die sichere und ökonomische Durchführung von Alltags- und Sportaktivitäten.

Beweglichkeit wird unmittelbar bestimmt durch

- neuronale Faktoren (Zusammenspiel erregender und hemmender Prozesse),
- myogene Faktoren inklusive Faszien (aktiver und passiver Muskeldehnungswiderstand),
- Gelenkfaktoren (anatomische Strukturen der Knochen, Gelenkkapsel und Bandapparat),
- Widerstand der Haut, des (subkutanen) Bindegewebes (Fasziengewebe) und Reibungswiderstand.

Die Beweglichkeit kann nach Traumata, Operationen oder Immobilisation deutlich eingeschränkt sein. Alter, Geschlecht, Temperatur, Tageszeit, physische Ermüdung und Psyche beeinflussen die Beweglichkeit.

Aktive Beweglichkeit – ist der größtmögliche, durch eigene Muskelkraft erreichbare Bewegungsumfang (»range of motion«, ROM). Die (größere) passive Beweglichkeit bezeichnet die maximale ROM, die mit Hilfe äußerer Kräfte (z. B. Partner oder Schwerkraft) erzielt werden kann.

Dehnen (engl. Stretching) – bezeichnet eine durch eine interne und/oder externe Kraft ausgelöste Bewegungsform mit dem Ziel der Wiederherstellung oder Verbesserung der muskulären Flexibilität und/oder der Beweglichkeit eines Muskel-Gelenk-Systems.

Flexibilität als die funktionale Fähigkeit, ein Gelenk in allen seinen Freiheitsgraden maximal zu bewegen, kann natürlich nicht nur durch eine sog. verkürzte Muskulatur, sondern auch durch andere Faktoren wie Schmerzen im Gelenk akut und chronisch eingeschränkt sein. Hier werden nur solche Methoden zur Steigerung der Beweglichkeit angerissen, die üblicherweise bei körperlichem Training im medizinischen Kontext Anwendung finden. Self-Myofascial Release-Techniken mit Hilfe von Hartschaumrollen werden in ► Abschn. 2.4 vorgestellt.

Methodik der Dehntechniken

Stretching sollte im aufgewärmten Zustand (mindestens 5, besser 10 Minuten leichte oder moderate Daueraktivität) (Garber et al. 2011), d. h., direkt nach dem Aufwärmen oder auch zum Ende des Trainings hin durchgeführt werden.

Passives statisches Stretching

- Es wird eine schmerzfreie Dehnstellung eingenommen. Die Dehnung wird mit 1-4 Wiederholungen jeweils für eine Dauer von ca. 8-60 Sekunden gehalten.

Beispiel: Der Patient liegt entspannt in Rückenlage. Der Therapeut führt das gestreckte rechte Bein langsam in die Hüftflexion. Bei 90° spürt der Patient eine deutliche Dehnung oder einen leichten Schmerz im hinteren Oberschenkel, der Therapeut registriert einen deutlichen Dehnwiderstand. Diese Position wird 20 Sekunden gehalten.

PNF-Dehntechniken (Propriozeptive Neuromuskuläre Fazilitation)

Das PNF-Dehnen arbeitet unter Ausnutzung der durch Muskelrezeptoren ausgelösten Bahnung neuromuskulärer Prozesse und bedient sich in der Regel zweier Methoden:

- Anspannungs-Entspannungs-Dehnen oder Contract-Hold-Relax-Stretch: Anspannung in einer neutralen Position (d. h., noch keine Dehnposition), Entspannung und Dehnen. D. h., Muskel 2-10 Sekunden gegen einen Widerstand (20-75 % der maximal möglichen Kontraktion; Widerstand durch Therapeut, eigene Hand, Gerät) arbeiten lassen, bevor man ihn passiv-statisch dehnt. Die Anspannung soll durch den Reflexmechanismus der autogenen Hemmung verhindern, dass sich der Zielmuskel reflektorisch der folgenden Dehnung widersetzt.

Beispiel: Der Patient liegt in Rückenlage und drückt für 5 Sekunden mit dem leicht im Knie gebeugten rechten Bein kräftig nach unten in die Therapiebank. Unmittelbar danach führt der Therapeut die passive Dehnung der Mm. biceps femoris und semitendinosus auf der rechten Seite wie oben beschrieben aus.

- Antagonist Contract-Methode (AC): Bei der AC-Methode wird der Gegenspieler (Antagonist) des Zielmuskels während der Dehnung angespannt. Diese Kontraktion des Antagonisten soll durch den Reflexmechanismus der reziproken Vorwärtshemmung eine reflektorische Kontraktion des Zielmuskels während der Dehnung verhindern.

Beispiel: Während der Therapeut wie oben beschrieben die passive Dehnung der Mm. biceps femoris und semitendinosus auf der rechten Seite durchführt, spannt der Patient die ganze Zeit über den rechten M. quadriceps femoris kräftig an, indem er aktiv die Hüfte beugt und das Knie streckt.

Ballistisches oder dynamisches Stretching

- Der Muskel wird aus einer leichten Vordehnung durch rhythmisch oszillierende Bewegungen (Wippen) wiederholt für kurze Zeit in eine Dehnposition gebracht. In 1-5 Serien wird jeweils etwa 10- bis 30-mal nachgefedert. Adäquate dynamische Dehnungsimpulse lösen entgegen früheren Vermutungen keine Muskelkontraktionen durch Eigenreflexe aus, die der Dehnung entgegenwirken (Kallerud u. Gleeson 2013).

Beispiel: Im Stehen lässt der Patient das rechte Bein für 20 Sekunden rhythmisch vor- und zurückschwingen. Nach vorne schwingt er behutsam und schrittweise so weit, dass ein leichter Dehnreiz auf der Oberschenkelrückseite zu spüren ist.

Methoden zur Registrierung von Beweglichkeit

Die Untersuchung der Beweglichkeit kann in vielfältigen Kontexten von Bedeutung sein. Beweglichkeit ist stets gelenkspezifisch. Die Gesamtflexibilität eines Menschen lässt sich deshalb nicht mit einem einzigen Test ermitteln. Einige gängige Tests zur Beweglichkeitsmessung involvieren aber eine Reihe von Gelenken, wie z. B. der Sit & Reach Test. Der Sit & Reach Test reflektiert die Beweglichkeit der hinteren Oberschenkelmuskulatur, der Hüftregion und der unteren Wirbelsäule.

Generell kann mit Hilfe eines Goniometers Beweglichkeit gemessen und das maximale Bewegungsausmaß eines Gelenks in Grad angegeben werden. Objektivität, Reliabilität und Validität der Goniometrie sind allerdings eingeschränkt (Oesch 2011). Beispielsweise liegt der Variationskoeffizient der goniometrisch erfassten Hüftbeweglichkeit bei wiederholten Messungen (gleicher Untersucher, gleicher Patient) zwischen 3 % (Flexion) und 23 % (Adduktion) und der Standardmessfehler zwischen 2,4° (Adduktion) und 3,9° (Flexion) (Nussbaumer et al. 2010).

Effekte von Stretching Stretching und ROM

Einige, aber nicht alle Untersuchungen finden nach einmaliger ebenso wie nach wiederholter Anwendung der PNF-Methoden eine größere Verbesserung der ROM als nach statischem oder dynamischem Dehnen. Die Unterschiede in der Wirksamkeit der Methoden sind aber meist nur gering (Behm et al. 2015). Adäquat ausgeführtes dynamisches Dehnen verbessert die Beweglichkeit, ohne das Verletzungsrisiko zu erhöhen (Kallerud u. Gleeson 2013).

Verbesserungen der ROM können bereits nach 2-3 wöchentlichen Stretching-Einheiten über einen Zeitraum von 3-4 Wochen auftreten, sind aber nach Beendigung des Trainings nicht von Dauer (Decoster et al. 2005). Regelmäßiges Dehnen führt neben einer erhöhten aktiven und passiven ROM auch zu einer reduzierten Dehnungsspan-

nung (Widerstand, den der Muskel einer Dehnung entgegenbringt) (Behm et al. 2015).

Momentan ist nicht eindeutig klar, welche physiologischen Mechanismen für die beobachteten ROM-Veränderungen verantwortlich sind. Diskutiert werden eine erhöhte Toleranz für intensives Dehnen, eine erhöhte Schmerzschwelle, Mechanismen visköser Deformation sowie strukturelle Anpassungserscheinungen des Muskel-Sehnen Systems (Behm et al. 2015). Eine strukturelle Veränderung der Muskulatur, d. h., eine Verlängerung des Muskels durch Vermehrung hintereinander liegender Sarkomere, konnte nur in Tierversuchen und beim Menschen nach sehr langer Dauer der Dehnung (> 30 min) nachgewiesen werden.

Stretching zur Verletzungsprävention und Gesundheitsförderung

Wenngleich der Durchführung statischer Dehnübungen vor dem Sport eine verletzungsprophylaktische Wirkung zugeschrieben wird, fehlen wissenschaftliche Belege für die generelle Wirksamkeit bezogen auf alle Verletzungsformen (McHugh u. Cosgrave 2010; Lauenstein et al. 2014). Überzeugende Evidenz gibt es nur für die Wirksamkeit multimodaler Aufwärmprogramme, bei denen Stretching eine unter mehreren Interventionen darstellt.

Ein aktuelles Review empfiehlt Stretching zur Reduktion des Risikos muskulärer Verletzungen (Behm et al. 2015). Allerdings inkludiert dieses Review auch Studien, die Stretching in Kombination mit Aufwärmen eingesetzt haben, so dass der spezifische Beitrag von Stretching zur Reduktion des Verletzungsrisikos unklar bleibt. In den drei Studien, die Aufwärmen plus Stretching versus alleiniges Aufwärmen verglichen haben, hatte Stretching keinen Einfluss auf das Risiko muskulärer Verletzung (Behm et al. 2015). Muskelverletzungen treten häufiger während exzentrischer Belastung (beispielsweise der ischiocruralen Muskulatur; Petersen u. Hölmich 2005), beim stark ermüdeten Muskel (2. Spielhälfte) (Woods et al. 2004) und/oder bei älteren und ungenügend trainierten Sportlern (Prior et al. 2009) innerhalb des normalen Bewegungsausmaßes auf. Dehnen kann zudem Mikroverletzungen hervorrufen und hat eine analgetische Wirkung (Shrier 2005). Vor diesem Hintergrund scheint es nicht plausibel, dass Stretching unmittelbar das Auftreten von Muskelverletzungen verhindern könnte (Lauenstein et al. 2014), sofern keine starke Einschränkung der Beweglichkeit vorliegt.

Für die Annahme, dass sowohl eine stark eingeschränkte (McCall et al. 2014) als auch eine sehr hohe Beweglichkeit (Trudelle-Jackson et al. 2014) das Verletzungsrisiko und das Risiko chronisch-degenerativer Schäden erhöhen können, gibt es Hinweise, aber keine klare Evidenz.

Studien weisen auf einen Zusammenhang zwischen nachlassender Fähigkeit zur Bewältigung von Alltagsakti-

vitäten und unzureichender Flexibilität hin (Swain 2014). Jedoch ist unklar, inwieweit die eingeschränkte Beweglichkeit kausalen Einfluss auf die Aktivitäten hat.

Dehnen scheint den mit ungewohnten exzentrischen Belastungen verbundenen Muskelkater nicht oder nur minimal zu reduzieren (Herbert et al. 2011).

Stretching und Leistungsfähigkeit

Wird Dehnen von Sportlern durchgeführt oder im Kontext der Prävention und Rehabilitation im engen zeitlichen Zusammenhang mit Alltagsaktivitäten oder Trainingseinheiten, die Schnelldauer oder Kraft erfordern, ist der Einfluss von Stretching auf die Leistungsfähigkeit zu berücksichtigen.

Maximalkraft, Explosivkraft, Reaktivkraft und Vertikalsprungleistung sind unmittelbar nach längerem, intensiven Stretching (> 20 Sekunden) kurzzeitig vermindert (Kallerud u. Gleeson 2013; Simic et al. 2013). Das 95 % KI der Leistungsreduktion direkt (bis zu ca. 5 Minuten) nach statischer und PNF-Dehnung liegt zwischen 1,5 und 7,3 % (Behm et al. 2015), die leistungsmindernden Effekte halten aber nur kurze Zeit (< 30 min) an. Dynamisches Dehnen scheint Kraft und Schnelldauer nicht zu beeinträchtigen (Kallerud u. Gleeson 2013).

Ein mehrere Wochen regelmäßig betriebenes statisches Stretching hat vermutlich keinen Einfluss auf die Schnelldauer. Für einige Ausdauersportarten gibt es aber Hinweise, dass eine sehr gute Beweglichkeit die Bewegungswirtschaftlichkeit beeinträchtigt (Barnes u. Kilding 2015).

Dosis-Wirkungs-Zusammenhang

Mit Blick auf die Wiederherstellung der alltäglichen und sportlichen Funktions- und Leistungsfähigkeit ist keine maximale, sondern eine optimale Beweglichkeit anzustreben. Nach jetzigem Wissensstand kann man daher durchaus empfehlen, auf Dehnen zu verzichten, wenn eine normale Beweglichkeit vorliegt oder diese im Trainings- oder Therapieverlauf erreicht wird.

Die Dosierung von Stretching in publizierten Studien variiert erheblich. Bei statischer Dehnung und PNF-Dehnung werden vom American College of Sports Medicine (ACSM) 2- bis 3-mal wöchentlich je 60 Sekunden (4×15 Sekunden oder 2×30 Sekunden) pro Muskelgruppe empfohlen (Garber et al. 2011). Es gibt Hinweise für einen Dosis-Wirkungs-Zusammenhang zwischen Trainingseinheiten pro Woche (täglich: größere Effekte als 2-3×/Woche) und ROM-Verbesserung (Garber et al. 2011), zwischen Dehnungsdauer und ROM-Verbesserung (Matsuo et al. 2013) sowie zwischen Dehnungsdauer bei statischem und PNF-Stretching und Reduktion der Leistungsfähigkeit (> 60 Sekunden Stretching für eine Muskelgruppe: deutlichere Leistungsreduktion) (Behm et al. 2015). Forschungsbedarf besteht zur Klärung der prinzipiell inkon-

sistenten Studienlage und insbesondere hinsichtlich der methodischen Aspekte und Standardisierung unterschiedlicher Dehnungsinterventionen (Kay u. Blazevich 2012).

Hinweise zur optimalen Progression von Stretching-Training fehlen (Garber et al. 2011).

2.3 Allgemeine Trainingsplanung und -gestaltung

Christian Thiel, Andreas Bernardi

2.3.1 Trainingsplanung

Die Planung berücksichtigt

- die Differenz zwischen der aktuellen Funktions- und Leistungsfähigkeit und den alltäglichen Anforderungen an Funktion und Leistung,
- die Einschätzung der zu erwartenden Adaptation (Adaptation = Anpassung des Körpers bzw. seiner Organe an wiederholte Belastungen – vgl. ► Abschn. 2.3.5), sowie – sofern eine gesundheitliche Beeinträchtigung vorliegt – der zu erwartenden Heilungsprozesse.

Sie kann in Anlehnung an Diemer und Sutor (2011) und Barz et al. (2010) die im Folgenden genannten Arbeitsschritte umfassen.

Sollwert-Bestimmung

Welche (Gesundheits-)ziele hat der Klient, bzw. an welche alltäglichen (Arbeitsplatz, häusliches Umfeld, Sport) Belastungen und Bewegungsmuster (Ausgangsstellungen, Muskelgruppen, Kontraktionsformen, energetische und koordinative Anforderungen) soll der Patient herangeführt werden?

Istwert-Bestimmung

Anamnese des Gesundheitszustands und Funktionsuntersuchung (motorische Tests, Leistungsdiagnostik).

Mittel-/langfristige Planung von Trainingsinhalten (Übersicht)

Soll-Ist-Analyse unter Berücksichtigung der Wünsche und Ressourcen des Klienten sowie möglicher ärztlicher Vorgaben, inkl. ggf. der Reha-Phase und des bisherigen Verlaufs.

Belastungsformen und -charakteristika richten sich stets nach den individuellen Möglichkeiten der Klienten oder Patienten. Nach langer Immobilisation oder bei erheblich reduzierter physischer Fitness ist das Training eng an der allgemeinen Genesung oder Wundheilung orientiert. Die Wiederherstellung grundlegender Belastbarkeit

und motorischer Fähigkeiten, die überhaupt ein regelmäßiges Training ermöglichen, steht ebenso im Vordergrund wie die rasche Wiederherstellung der wichtigsten funktionellen Aktivitäten des täglichen Lebens. Mit zunehmender Dauer des körperlichen Trainings kann das Training in der Regel umfangreicher und intensiver gestaltet und spezifischer auf anspruchsvolle (Alltags-)Aktivitäten ausgerichtet werden.

Reihung von Inhalten in einer Trainingseinheit

Innerhalb einer fiktiven Trainingseinheit ist folgendes Vorgehen denkbar:

- Einführung in die Trainingseinheit, ggf. unter Einbeziehung von Assessment-Ergebnissen aus den letzten Einheiten,
- ggf. vertiefter Austausch über relevantes Wissen/Beratung und Verhaltenstraining im Kontext der Prävention,
- spezifisches und unspezifisches Aufwärmen (in der Regel 10 Minuten oder mehr),
- Stretching (Möglichkeit 1),
- Training im gewählten Bereich,
- erst Koordination, dann Schnelligkeit, Kräftigungstraining, und Ausdauertraining zuletzt,
- Stretching (Möglichkeit 2),
- Besprechung und Reflexion.

Eine derartige Abfolge verspricht allgemein Vorteile, sollte aber bei Bedarf auch bewusst verändert werden. Beispielsweise könnte man einen gut trainierten Patienten zuerst ein dosiertes Ausdauertraining absolvieren lassen, um dann die saubere Durchführung anspruchsvoller Bewegungsmuster unter erschwerten Bedingungen (Ermüdung) zu üben.

In der Praxis konzentrieren sich Trainingseinheiten häufig auf einige wenige Aspekte. Trainingsreize können sich gegenseitig stören (insbesondere langes, intensives Stretching vor Schnelligkeits-/Krafttraining sowie Kraft- und Ausdauertraining im zeitlichen Zusammenhang, wenn eine Steigerung der Kraft im Vordergrund steht) (Baar 2014; Cadore et al. 2014) und ein Training im bereits ermüdeten Zustand wird als weniger effektiv angesehen.

Wahl von Umfang und Intensität

Die Wahl von Umfang und Intensität erfolgt kontextabhängig.

Im Kontext der Prävention und Gesundheitsförderung wird das Training häufig »nach Gefühl« gesteuert. In vielen Fällen stellt dies ein sinnvolles Vorgehen dar. Der menschliche Organismus verfügt über sensible Mechanismen zur Wahrnehmung von Anstrengung, Ermüdung und/oder Schmerzen. Deren aufmerksame Beachtung reicht bei gesunden Menschen in der Regel aus, um Belastungsintensität und -dauer so zu steuern, dass gesundheitsfördernde

und leistungssteigernde Effekte auftreten und gesundheitliche Risiken vermieden werden. Dies setzt allerdings voraus, dass Trainierende nicht fälschlicherweise höchste Anstrengung oder sogar Schmerzen als Voraussetzung für den Trainingserfolg betrachten.

Im Kontext der Therapie, der Rehabilitation, und beim Disease Management fließen häufig auch noch ein:

- die Ergebnisse individueller Tests und Diagnoseverfahren für Funktion und Leistungsfähigkeit,
- die zu erwartende und die reale unmittelbare und mittelbare individuelle Response auf die Trainingsreize,
- publizierte Empfehlungen zu indikations- und zielgruppenspezifischen Interventionen sowie
- Erfahrungen des Therapeuten.

In allen Kontexten sollte die Ausgestaltung von Trainingseinheiten demnach die Einschätzung des Klienten oder Patienten einbeziehen, ggf. an die Tagesform angepasst werden und Zeichen starker Ermüdung oder nachlassender Konzentration berücksichtigen.

Monitoring und Dokumentation

Monitoring und Dokumentation gestatten es im Bereich der Therapie und Rehabilitation, die planvolle Steigerung der Trainingsdosis und -intensität zu überwachen, Trainingsfortschritte gegenüber Klient (und ggf. Kostenträger) zu objektivieren und bei ungünstigem Verlauf Anpassungen der Planung frühzeitig einleiten zu können. Sie stellen einen unverzichtbaren Bestandteil der Qualitätssicherung dar. Dokumentiert werden sollten insbesondere:

- die durchgeführten Trainingseinheiten,
- die Response des Organismus (ggfs. auch Schmerz- und Anstrengungsempfinden),
- die testbasiert ermittelte oder anhand der Trainingsbelastungen ableitbare Funktions- und Leistungsfähigkeit,
- ggf. der Gesundheitszustand unter besonderer Berücksichtigung der Indikation.

2.3.2 Trainingssteuerung

Die Steuerung der Trainingsbelastung, die vorwiegend im Bereich der Therapie und Rehabilitation eine wichtige Rolle spielt, beruht auf grundsätzlichen und fallbezogenen Beobachtungen und Analysen der komplexen und dynamischen Beziehungen zwischen deren Konstituenten, nämlich dem Trainingsreiz und dessen unmittelbar und verzögert auftretenden Effekten (■ Tab. 2.9).

Belastung ist die entscheidende Steuergröße des Trainings, deren Dosierung in Relation zur individuellen Leistungsfähigkeit die Adäquanz des Reizes zur Leistungserhaltung oder -steigerung sichert. Der Begriff Belastung beschreibt im engeren Sinne körperliche Arbeit, die bei äußerlich vergleichbarer Anforderung zu individuell unterschiedlichen psychischen und physischen Beanspruchungen von Klienten und Patienten führt (Martin et al. 1993). Je nach Trainingsziel lassen sich Belastung und Beanspruchung auf unterschiedliche Weise quantifizieren (■ Tab. 2.10).

Zur Steuerung von Belastungen müssen neben kardiorespiratorischen, metabolischen und vegetativen Beanspruchungen auch die Beanspruchungen der Bindegewebe des aktiven und passiven Bewegungsapparats berücksichtigt werden.

2.3.3 Allgemeine Trainingsprinzipien

Trainingsprinzipien haben einen richtungsweisenden, praxisorientierten Charakter und beruhen auf Erfahrungen und plausiblen Annahmen aus dem Leistungssport (Trainingslehre) (Campbell et al. 2012; Martin et al. 1993; Steinhöfer 2008). Die Prinzipien sind mit Beobachtungenaus der Trainingspraxis und mit Studien zu physiologischen Grundlagen kompatibel, aber nur zum Teil empirisch fundiert. Es fehlen daher Informationen zur optimalen quantitativen und qualitativen Ausgestaltung.

■ Tab. 2.9 Konstituenten der Trainingssteuerung

Konstituenten der Trainingssteuerung	Praktische Beispiele
Trainingsreiz = Belastung	20 min Fahrradergometertraining mit 70 Watt Widerstand
Unmittelbare körperliche Response = Beanspruchung	Mittlere Herzfrequenz von 154 Schlägen/min Blutlaktatkonzentration bei Trainingsende 2,1 mmol/l
Verzögert auftretende strukturelle und metabolische Effekte = Adaptation	Vergrößerung der mitochondrialen Kapazität
Endpunkte (Trainingsziele): Leistungsfähigkeit, Funktion und Gesundheit sowie Aktivität, Lebensqualität und Teilhabe	Steigerung der maximalen Wattleistung und der Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle bei einer Belastungsergometrie; mehr soziale Kontakte, selbständiges Einkaufen wieder möglich

Tab. 2.10 Darstellung ausgewählter Belastungsnormativa für Ausdauer, Kraft und Koordination

	Ausdauer	Koordination	Kraft
Belastungsintensität	Erbrachte Leistung in Watt, oder Bewegungsgeschwindigkeit in km/h	Objektiver sensomotorischer Schwierigkeitsgrad einer Übung (z. B. hinsichtlich der Balance und/ oder des Bewegungsrhythmus)	Last in kg oder Widerstand relativ zur individuell maximalen Kraft
Beanspruchungsintensität	Allgemeines Anstrengungsempfinden, Herzfrequenz, Laktatkonzentration	Wahrgenommener Schwierigkeitsgrad; Fähigkeit, die Übung noch sauber durchzuführen, Muster elektromyographischer Aktivität	Anstrengungsempfinden im Muskel, elektromyographische Aktivität
Belastungsdauer	Zeit in h, min, sec (für das Absolvieren einer Übung, Zurücklegen einer Distanz, Verrichten physikalischer Arbeit)		
Pausendauer	Zeit in h, min, sec (zwischen einzelnen Sätzen oder Intervallen, zwischen körperlichen Aktivitäten oder Trainingseinheiten)		
Gesamtbelastung (= Belastungsumfang)	Gesamtstreckenlängen, verrichtete (physikalische) Arbeit, Gesamttrainingsdauer bei einer bestimmten Belastungsintensität	Anzahl der Gesamtwiederholungen, Dauer des Koordinationstrainings mit einem bestimmten Anforderungsprofil	Insgesamt gehobene Last in kg, verrichtete (physikalische) Arbeit, Gesamtanspannungsdauer (»time under tension«)
Gesamtbeanspruchung (in Leitlinien oft ebenfalls als Umfang bezeichnet)	Kumulierter Energieumsatz, Dauer des Trainings mit einem bestimmten Anstrengungsgrad, Ermüdung (Veränderung der Leistungsfähigkeit)	Produkt aus wahrgenommenem Schwierigkeitsgrad und Zeitdauer, Beeinträchtigung der Koordination (neuronalen Ermüdung)	Dauer des Trainings mit einem bestimmten Anstrengungsgrad, Ausmaß des Muskelversagens

Ein Monitoring des Trainings und der objektiven und subjektiven Trainingsresponse erlaubt in Verbindung mit wiederholten objektiven Diagnosen von Funktion und Leistungsfähigkeit Rückschlüsse darauf, ob die Trainingsprinzipien im individuellen Fall richtig eingesetzt worden sind.

Inwieweit die Trainingsprinzipien im Versorgungsalltag adäquat berücksichtigt werden können, wird wesentlich durch organisatorische Rahmenbedingungen (Dauer der Behandlung; Möglichkeit, Bereitschaft und Fähigkeit der Patienten, Heimtraining durchzuführen etc.) beeinflusst. Analysen publizierter Interventionsstudien zeigen, dass dort selbst grundlegende Trainingsprinzipien nicht immer ausreichend Berücksichtigung finden, beispielsweise bei onkologischen Patienten (Campbell et al. 2012).

Die im deutschen Sprachraum verbreiteten Trainingsprinzipien werden nachfolgend kurz erläutert. Wie aus den Beispielen hervorgeht, weisen diese Prinzipien Überschneidungen auf.

Wirksamer Belastungsreiz

Reizumfang und -intensität müssen »überschwellig« dosiert werden, damit sie zur Adaptation führen können. Die Reizschwellen unterschiedlicher Systeme, Organe und Gewebe unterscheiden sich.

Beispiel

Ein untrainierter 75-Jähriger in einem Sturzpräventionskurs trainiert zu Beginn des Krafttrainings an der Beinpresse mit 2-mal wöchentlich 1-2 Sätzen à 10 Wiederholungen gegen einen Widerstand von mehr als 30 % des Gewichtes, mit dem er gerade so eine Wiederholung durchführen könnte (Einwiederholungsmaximum, 1RM). Damit erzielt er einen begrenzten Kraftzuwachs. Wählt er den Widerstand geringer, sind bei diesem Trainingsumfang gemäß aktuellen Empfehlungen (American College of Sports Medicine 2009) in der Regel keine (messbaren) Anpassungen zu erwarten (vgl. ► Abschn. 2.2.2).

Progressive Belastungssteigerung

Belastungskomponenten sollten schrittweise dem Verlauf des Trainingsprozesses und der zunehmenden Leistungsfähigkeit angepasst werden.

Beispiel

Eine Patientin mit koronarer Herzkrankheit beginnt ihr Ausdauertraining (vgl. ► Abschn. 2.2.1) mit 4-mal wöchentlich 3x5 Minuten auf dem Fahrradergometer bei »recht leichter« subjektiv empfundener Anstrengung. Nach einigen Tagen nimmt sie eine leichte Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit im Training und im Alltag wahr, und beim 6-Minuten-Gehtest

(Ermittlung der maximalen Strecke, die sie in 6 Minuten gehend zurücklegen kann – vgl. ► Abschn. 2.2.1, »Ermittlung der Ausdauerleistungsfähigkeit«) steigert sie sich von 265 auf 315 Meter. Damit weiterhin ein wirksamer Belastungsreiz gesetzt wird, erfolgt eine Steigerung der Trainingsdosis. Nach einigen Wochen trainiert sie täglich 25 Minuten am Stück, so dass es »etwas anstrengend« ist.

Variation der Trainingsbelastung

Die Variation der Darbietungsform von Trainingsreizen (Inhalte und Methoden) verspricht insbesondere bei längerem Präventions-, Therapie- oder Rehabilitationsverlauf Vorteile für Reizwirksamkeit, Motivation und Übertragbarkeit der Trainingseffekte.

Beispiel

Nach einem leichtem Schlaganfall werden beim ambulanten rehabilitativen Gangtraining u. a. Unterstützung (Gewichtsentlastung), Geschwindigkeit und Kadenz, Form (freies Gehen versus Laufband), Untergrund und Schuhwerk, Teilbewegungen einzelner Körpersegmente, und visuelle Informationen (Augen offen vs. geschlossen) variiert.

Beispiel

Nach einer operativ versorgten Ruptur des vorderen Kreuzbandes bei einer Freizeitfußballerin wird das Ausdauertraining initial als Dauertraining (durchgehend gleichbleibender Widerstand) auf dem Fahrradergometer mit reduzierter Kurbellänge durchgeführt. Im weiteren Verlauf kommt ein Training auf dem Crosstrainer hinzu. Später wird sie erst mit Intervalltraining (regelmäßiger Wechsel zwischen Joggen und Gehen), dann mit Dauertraining an Joggen herangeführt, bevor sie nach 4 Monaten ein stärker fußballspezifisches Ausdauertraining mit Ball auf dem Platz beginnt. An diesem Beispiel wird deutlich, dass gezielte Variation natürlich auch ein Mittel progressiver Belastungssteigerung darstellen kann.

Optimale Gestaltung von Belastung und Erholung

Erst ein ausreichend langer Zeitraum für die Erholung sichert die Anpassung. Zur Erholung benötigte Zeiträume unterscheiden sich in Abhängigkeit von Reizprofil, Trainingszustand und dem betroffenen Gewebe/Organ.

Beispiel

Herr Meier, ein bis dato untrainierter, leicht übergewichtiger Mann mit beginnender Einschränkung der Insulinsensitivität, startet auf Empfehlung des Hausarztes ein Lauftraining. Bald ist Herr Meier in der Lage, 20 Minuten am Stück zu laufen. Er führt das Training 3-mal wöchentlich durch und gönnt damit seinem Organismus mindestens 48 Stunden Pause zwischen den Trainingsreizen. Begeistert

vom spürbaren Trainingserfolg steigert er die Belastung weiter und ist nach einem dreiviertel Jahr bei fünf 40- bis 60-minütigen Trainingseinheiten pro Woche angelangt, die er sehr konsequent durchführt. Bald spürt er jedoch zu Beginn und nach Beendigung einer Trainingseinheit stechende Schmerzen oberhalb der Patella. Während die Belastungs-Erholungs-Gestaltung für das Herz-Kreislauf-System adäquat schien, war die Erholungszeit für den Bewegungsapparat möglicherweise zu kurz. Nach einer Trainingspause nimmt er mit reduziertem Trainingsumfang das Training wieder auf und steigert die Dosierung nur behutsam. Nach 3 Jahren absolviert Herr Meier wieder fünf Trainingseinheiten, dabei hat er keine Knieschmerzen.

Wiederholung und Kontinuität

Erst die Wiederholung gleicher oder ähnlicher Reize führt zur Adaptation. Ähnliche Reize müssen zeitlich und inhaltlich aufeinander abgestimmt sein. Variationen bedürfen der Dosierung, und das Ziel des Trainings sollte im Blick behalten werden. Durch regelmäßiges Training ausgelöste Adaptationen und Anpassungen sind nicht permanent, sondern gehen nach Beendigung des Trainings wieder zurück.

Beispiel

Inspiziert durch ihren Mann will Frau Meier ebenfalls ihre Ausdauer verbessern. Laufen gefällt ihr nicht, sie probiert daher Walken, Fahrradfahren und Tanzen aus. Fehlende Zeit und Motivation halten sie häufig vom Training ab. In den ersten 8 Wochen absolviert sie insgesamt 11 sehr unterschiedliche Trainingseinheiten und nimmt keine Verbesserung ihrer Ausdauerleistungsfähigkeit war. Ein Trainingseffekt wird erst evident, nachdem sie regelmäßig 2-mal wöchentlich im Verein schwimmen geht.

Periodisierung und Zyklisierung

Statt alle Komponenten physischer Fitness gleichzeitig zu entwickeln, verspricht es Vorteile, sich phasenweise auf bestimmte Trainingsinhalte zu konzentrieren. Belastungen können in Zyklen gesteigert werden.

Tapering – ist eine geplante Reduktion von Umfang und/oder Intensität des Trainings, um alle Trainingswirkungen zur vollen Entfaltung kommen zu lassen. Das Ziel einer Taperingphase ist die Reduktion von trainingsbedingter Ermüdung, die Maximierung physiologischer Adaptationen und damit konsequenterweise auch der körperlichen Leistungsfähigkeit (Bosquet et al. 2007).

Periodisierung und Zyklisierung versprechen auch in der Prävention und Rehabilitation Vorteile. Bei Patienten mit stabiler Herzinsuffizienz (NYHA II) wird beispielsweise zunächst eine mehrwöchige Periode mit Ausdauertraining in Verbindung mit Koordinations- und Beweglichkeitstraining geplant. Erst wenn dieses Training gut toleriert wird und die Ausdauerleistungsfähigkeit mindestens 1,4 Watt pro Kilogramm Körpergewicht beträgt, folgt eine

Periode mit Fokus auf Krafttraining bei reduziertem Ausdauertrainingsumfang. Zyklisierung ist insbesondere bei häufigem Training (z. B. täglich) oder rascher Steigerung der Trainingsdosis relevant.

Beispiel

So könnte Herr Meier im Beispiel weiter oben regelmäßige Phasen mit reduziertem Trainingsumfang einplanen (z. B. alle 3-4 Wochen eine Woche mit halber Laufstrecke), bevor er in der Folgeweche sein Trainingsvolumen steigert.

Individualität und Altersgemäßheit

Zielsetzung und Inhalte des Trainings müssen gesundheits-, geschlechts- und altersspezifische Besonderheiten und Adaptabilität sowie individuelle Fähigkeiten und Neigungen berücksichtigen.

Beispiel

Der 75-Jährige im ersten Beispiel (Sturzprävention) profitiert bereits von 2-mal wöchentlichem Krafttraining mit 1-2×10 Wiederholungen mit > 30 % 1RM. Dieser Trainingsreiz wäre für einen ambitionierten 28jährigen Tennisspieler mit mehrjähriger Trainingserfahrung, der zur Verletzungsprävention Krafttraining betreibt, nicht ausreichend; hier wären möglicherweise eher 3-mal pro Woche 2-5×10 Wiederholungen mit > 60 % 1RM adäquat. Ein anderes Beispiel für die Berücksichtigung des Prinzips der Individualität sind die unterschiedlichen Vorgehensweisen von Herr und Frau Meier beim Ausdauertraining.

2.3.4 Zunehmende Spezialisierung

Bei gering Trainierten und Patienten in frühen Trainingsphasen werden häufig einfache und klar strukturierte Reize gesetzt, die eindeutig einer motorischen Hauptbeanspruchungsform zugeordnet werden können und nicht unmittelbar und spezifisch auf das gewählte Trainingsziel hinführen. Im weiteren Trainings- und Heilungsverlauf ist die physische Fitness dann so weit entwickelt, dass mit Blick auf anspruchsvollen Alltags- oder Sportanforderungen spezifische und komplexe Trainingsreize gesetzt werden können.

Beispiel

Die oben skizzierte Progression in der Rehabilitation nach Kreuzbandruptur bei der Fußballerin stellt auch ein Beispiel für zunehmende Spezialisierung dar. Gleichförmiges Fahrradfahren ist zu Beginn des Trainings eine sichere, gut dosierbare, aber fußballunspezifische (allgemeine) Form des Ausdauertrainings. Ist die physische Fitness ausreichend entwickelt, können spezielle Trainingsformen wie ein intervallförmiges Ausdauertraining mit Ball und später sogar mit

Gegner eingesetzt werden. Solche spezifischen Trainingsreize stellen hohe Anforderungen nicht nur an die Ausdauer, sondern je nach Gestaltung zugleich auch an Schnelligkeit und Koordination (Balance und Gewandtheit). Anders als in der Rehabilitation nach Sportverletzungen ist das Prinzip der zunehmenden Spezialisierung in der geriatrischen Rehabilitation, in der eine rasche Frühmobilisation und das Wiedererlernen von Aktivitäten des täglichen Lebens angestrebt wird, häufig nicht sinnvoll anwendbar.

Regulierende Wechselwirkung einzelner Trainingselemente

Unterschiedliche Formen der Trainingsintervention bedingen sich gegenseitig. Krafttraining und Ausdauertraining, Kraft und Beweglichkeit, Koordinations- und Konditionstraining sowie allgemeine und spezielle Trainingsinhalte bauen aufeinander auf, können sich aber bei zeitgleicher Anwendung auch stören.

Beispiel

Kraft ist eine grundlegende Voraussetzung für viele Bewegungen, so auch für den menschlichen Gang. Ein Krafttraining für die Hüftstrecker und Hüftabduktoren kann einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Gangbildes in der Rehabilitation nach Schlaganfall leisten. Wird jedoch in einer Trainingseinheit ein intensives Krafttraining durchgeführt, ist der ermüdete Patient in der Regel anschließend nicht mehr in der Lage, mit dem Ziel der Verbesserung seines Gangbildes an seiner Koordination zu arbeiten.

Beispiel

Steht bei einer gebrechlichen Person die Steigerung der Kraft und Muskelmasse klar im Vordergrund, sollten Umfang und Intensität des Ausdauertrainings im gleichen Zeitraum reduziert werden. Konkurrierende Signal- und Adaptationsmechanismen könnten ansonsten den Aufbau von Muskelmasse und die Entwicklung der Kraft bremsen (vgl. auch ► Abschn. 2.2.2, »Trainingseffekte und Interaktion mit Ausdauertraining«). Hingegen scheint ein zusätzliches Krafttraining die Verbesserung der Ausdauer in der Regel nicht zu stören bzw. kann dies sogar unterstützen (Baar 2014; Cadore et al. 2014).

Im angelsächsischen Raum verbreitete Trainingsprinzipien (z. B. Campbell et al. 2012) weichen partiell von den oben genannten Prinzipien ab. Häufig genannt werden:

- »specificity«: Spezifität der Trainingsreize,
- »overload«: wirksamer Belastungsreiz,
- »progression«: progressive Belastungssteigerung,
- »initial values«: Abhängigkeit der Trainingseffekte vom Ausgangswert,
- »reversibility«: Wiederholung und Kontinuität,
- »diminishing returns«: abnehmende Trainingseffekte mit zunehmender Trainingsdauer.

2.3.5 Modelle der Trainingsadaptation

Modelle der Adaptation nach körperlicher Aktivität und körperlichem Training beziehen sich häufig auf den Leistungssport und inkludieren den Bereich der bewegungsbezogenen Prävention und Therapie nur indirekt. In Anlehnung an Fröhlich, der für ein erweitertes Begriffsverständnis von Training plädiert (Fröhlich 2012), erscheinen diese Modelle jedoch gut geeignet, den Blick für die Komplexität von Anpassungsvorgängen zu schärfen und zu verdeutlichen, wie schwierig eine optimale Trainingssteuerung zu erreichen ist. Ebenso veranschaulichen diese Modelle, in welchem Rahmen sich Forschung zur Gestaltung körperlichen Trainings bewegt, welcher Denkmodelle sie sich bedient und an welche Grenzen Ansätze der Evidenzbasierung von Trainingssteuerung bislang stoßen.

Biologisch-medizinische Perspektiven und Modelle fokussieren auf bewegungsinduzierte, umkehrbare Adaptationen körperlicher Strukturen, Prozesse und Funktionen. Sie tragen wesentlich zur Erklärung beobachteter Effekte körperlicher Aktivität bei (Hollmann u. Hettinger 2000; Weineck 2000), ermöglichen Einblicke in physiologische Signal- und Regelungsprozesse (Brooks 2009; Pedersen 2011) und erlauben die unmittelbare und vergleichende Einschätzung der zellulären Effekte unterschiedlicher Trainingsreize (Booth et al. 2002; Morton et al. 2009). In molekulargenetischen Studien (► Kap. 25) werden Genaktivität und Proteinbiosynthese während und nach körperlich-sportlicher Aktivität beobachtet und mit morphologisch-funktionellen Anpassungen kausal in Verbindung gebracht (Rankinen et al. 2010; Rowlands et al. 2011; Timmons 2011). Die biologisch-medizinische Perspektive bildet jedoch die Vernetzung und Dynamik realer leistungssportlicher Trainingsprozesse oder therapeutischer Bewegungsinterventionen in ihrer Gesamtheit nicht hinreichend ab (Hohmann et al. 2010). Sie erlaubt bislang die vergleichende Bewertung organismischer und psychosozialer Wirkungen von Interventionen, nicht jedoch die individuelle Festlegung optimaler Belastungsvolumina oder die zeitlich gezielte Ansteuerung von Anpassungen.

Das Modell der **Superkompensation** ist didaktisch wertvoll zur Verdeutlichung der Komplexität zeitlicher Überlagerungen von Belastung/Beanspruchung, Erholung und Anpassung bei unterschiedlichen Geweben und Organen, bietet aber in der Praxis wenig konkrete Anknüpfungspunkte für eine fundierte Trainingssteuerung (Hohmann et al. 2010; Hottenrott u. Neumann 2010; Tschiene 2006). Auf Basis von biologisch-medizinischen Untersuchungen lässt sich in diesem Kontext beispielsweise zeigen, dass funktionelle Adaptionen wie eine Veränderung des Herzschlagvolumens innerhalb weniger Wochen auftreten (Sloth et al. 2013; Swain 2014), strukturelle Veränderungen wie z. B. die Veränderung von Knochenstruktur und

-dichte mehrere Monate in Anspruch nehmen können (Guadalupe-Grau et al. 2009). Ein weiteres Beispiel ist, dass Sehnen und Bänder im Vergleich zu Muskeln und dem Herz-Kreislauf-System eine Latenz der Anpassung aufweisen. Dies kann dazu führen, dass Personen z. B. in der Rehabilitation nach zwei bis drei Monaten Trainingszeit aufgrund spürbar verbesserter Kraft und Ausdauer den Umfang und die Intensität ihres Trainings deutlich steigern, was dann mit einem höheren Risiko für den noch nicht adäquat angepassten passiven Bewegungsapparat einhergeht.

Trainingswissenschaftliche Modelle zu Training und Trainingssteuerung, die sich auf das **Belastungs-Beanspruchungs-Paradigma** der Arbeitswissenschaft (Rohmert u. Rutenfranz 1975) beziehen (Olivier 2001; Schlicht 1992; Schnabel et al. 1994) (s. auch ► Tab. 2.10), berücksichtigen neben der Belastungsresponse (Beanspruchung) und Anpassungs- und Lernmechanismen der Leistungsveränderung (Innenperspektive) auch die systemische Komplexität und Dynamik des Trainingsprozesses (Außenperspektive) (Hohmann et al. 2010). Sie bilden eine Grundlage für die kybernetische Vorstellung eines Determinismus von Steuerungsoperationen beim Training. Demzufolge lässt sich insbesondere durch die regelmäßige Erfassung und Dokumentation individueller Trainingsbelastungen, Beanspruchungen sowie wichtiger Endpunkte (wie Leistungsfähigkeit, Funktion oder Lebensqualität) ein gutes Trainingsergebnis erzielen, z. B. indem eine Über- oder Minderbeanspruchung anhand physiologischer Parameter und der Leistungsentwicklung frühzeitig erkannt werden kann.

Im Zuge einer Annäherung an trainingspraktische Erfahrungen gewinnen Ansätze zur Beschreibung nicht-linearer Prozesse der Selbstorganisation in komplexen Systemen an Bedeutung. Dem synergetischen Ansatz (Hohmann et al. 2010) zufolge können Selbstorganisationsprozesse komplexer adaptiver (Körper-)systeme bei gewissen Reizkonstellationen zur Auslösung oder Auflösung makroskopischer Ordnungszustände führen. Körperliche Leistungsfähigkeit wirkt demzufolge als temporär stabiler Attraktor, d. h., als ein bevorzugter Zustand, auf den sich das System bei Applikation durchaus unterschiedlicher Reize im Laufe der Zeit zubewegt. Daher müssen Trainingsbelastungen nicht präzise dosiert werden, sondern nur geeignet sein, Selbstorganisationsprozesse zur Erreichung eines neuen Ordnungszustandes zu triggern (Hohmann et al. 2010). Zur Belastungsregulation tragen personeninterne und personenexterne Bewertungsvorgänge der Belastungsreaktionen bei.

In ähnlicher Weise geht das Modell der nicht-linearen Belastungs-Beanspruchungs-Interaktion (Hottenrott u. Neumann 2010) davon aus, dass die Organisation des Gesamtsystems, die auf Kommunikation zwischen dessen Subsystemen basiert, für das Systemverhalten ebenso be-

Tab. 2.11 Konzentration auf Schlüsselparameter der Trainingssteuerung anstelle der Berücksichtigung sämtlicher möglicher Einflussgrößen: Praktikable Steuerung des Ausdauertrainings bei einem Herzpatienten

Bereich	Mögliche Einflussgrößen (Auswahl)	Denkbare Schlüsselparameter
Leistungsfähigkeit	Atemminutenvolumen, Herzschlagvolumen, mitochondriale Kapazität, Kapillarisation im Bereich der arbeitenden Muskulatur, metabolische Flexibilität, hormonelle Regulation bei körperlicher Belastung	Maximale Wattleistung bei der Belastungsergometrie
Trainingsbelastung	Gehgeschwindigkeit und Gehstrecke zu jedem Trainingszeitpunkt unter Berücksichtigung der vorherigen und nachfolgenden Trainingsbelastung, der Pausendauer, des Geländeprofiles, der Tageszeit und der Witterung	Im Training zurückgelegte Gesamtstrecke (Schritte/Woche)
Beanspruchung	Herzminutenvolumen, Atemgaszusammensetzung, Laktatkonzentration im Blut, Oxygenierung in der arbeitenden Muskulatur, Hormonspiegel, subjektives Wohlbefinden	Herzfrequenz und subjektives Anstrengungsempfinden

deutend oder bedeutsamer ist als die Struktur und isolierte Funktion einzelner Subsysteme. Zur individuellen Trainingssteuerung müssen daher nicht die Gesamtheit möglicher Einflussgrößen analysiert werden, sondern nur Schlüsselparameter der Leistungsfähigkeit, Trainingsbelastung und Beanspruchung (Hottenrott u. Neumann 2010) (Tab. 2.11).

Nichtlineare Ansätze kommen aus dem Leistungssport, können aber auch reale Phänomene in Prävention und Therapie schlüssig erklären. Auch wenn erste Arbeiten einige Annahmen nichtlinearer Modelle auf deskriptiver und qualitativer Basis stützen (Pfeiffer u. Hohmann 2012), steht deren empirische Fundierung noch aus.

2.4 Neuere Trainingsmethoden – sind sie evidenzbasiert?

Markus Hübscher

Neben den bisher beschriebenen etablierten Methoden zum Training konditioneller Fähigkeiten sind weniger konventionelle Methoden zunehmend in den Fokus von Trainingspraxis und Sportmedizin gerückt. Die postulierten Effekte und Mechanismen sind vielfältig und lassen sich prinzipiell den Bereichen Leistungssteigerung, Regeneration, Prävention und Therapie zuordnen.

Ziel dieses Abschnitts 3.4 ist es, dem Leser einen komprimierten Überblick über einige populäre Methoden zu geben, insbesondere im Hinblick auf die aktuelle wissenschaftliche Datenlage zur ihrer Wirksamkeit. Die Darstellung der Wirksamkeit erfolgt vorzugsweise auf Basis von systematischen Reviews (randomisierter) kontrollierter Studien, da diese die relevante Literatur systematisch und so vollständig wie möglich zusammenfassen und damit die höchste wissenschaftliche Aussagekraft besitzen. Wenn keine relevanten systematischen Reviews existierten, wur-

den alternativ ausgewählte randomisierte kontrollierte Studien⁴ verwendet. Die Literatursuche erfolgte mit Hilfe der Datenbank PubMed unter Verwendung relevanter Schlagwörter und mit dem Suchfilter »Review« und »Clinical Trial«.

Die Beschreibung von Interventionseffekten erfolgt in diesem Abschnitt, wenn möglich, unter Angabe von Effektgrößen. Effektgrößen sind statistische Kennzahlen, die bei der Interpretation der »klinischen« oder »praktischen« Relevanz von Interventionen helfen. Die Effektgröße für Unterschiede zwischen Untersuchungsgruppen berechnet sich aus der Differenz der Mittelwerte von Experimental- und Kontrollgruppe, dividiert durch die Merkmalsstreuung (Standardabweichung). Die an der Stichprobenstreuung standardisierte Mittelwertsdifferenz (engl. »standardised mean difference«; SMD) gibt an, um wie viele Standardabweichungen sich die Gruppenmittelwerte unterscheiden, und ist somit eine dimensionslose statistische Kenngröße, die einen Vergleich von Effekten aus Studien mit unterschiedlichen Stichproben und Messinstrumenten ermöglicht. Nach der Konvention von Cohen werden Effektgrößen in kleine (0,2), mittlere (0,5) und große (0,8) Effekte unterteilt.

SMDs aus vergleichbaren Einzelstudien lassen sich mittels quantitativer statistischer Verfahren in einer Metaanalyse zu einem Gesamteffekt, dem gepoolten Effektschätzer, zusammenfassen. Daten mit einheitlicher Maßeinheit können in einer Metaanalyse zu einem Gesamteffekt zusammengefasst werden, der dieselbe Maßeinheit besitzt wie die Ursprungsdaten (gewichtete Mittelwertsdif-

4 In randomisierten Studien soll durch zufällige Zuordnung der Probanden zu den Untersuchungsgruppen (Randomisierung) eine gleichmäßige Verteilung bekannter und unbekannter Störgrößen in den zu vergleichenden Gruppen erreicht werden. Im Vergleich zu Studien ohne Randomisierung können Gruppenunterschiede somit mit größerer Wahrscheinlichkeit auf die Interventionen zurückgeführt werden.

ferenz; engl. »weighted mean difference«; WMD). Zur Berechnung der WMD gehen die Mittelwertsdifferenzen ohne Standardisierung in die Metaanalyse ein.

Neben einer quantitativen Zusammenfassung der Interventionseffekte erfolgt die Bewertung der Evidenz in systematischen Reviews auch qualitativ, beispielsweise wenn die Durchführung einer Metaanalyse aufgrund zu großer Unterschiede der Studien nicht sinnvoll ist. Einige der im folgenden vorgestellten Reviews stützten sich bei der qualitativen Bewertung der Evidenz, unter Berücksichtigung des Studiendesigns und Studienqualität, auf die folgenden Bewertungskategorien von van Tulder et al. (1997):

- **Starke Evidenz:** Es liegen konsistente Ergebnisse⁵ aus mehreren qualitativ hochwertigen randomisierten Studien vor.
- **Moderate Evidenz:** Es liegen Ergebnisse aus einer qualitativ hochwertigen randomisierten Studie und/oder konsistente Ergebnisse aus mehreren Studien (randomisierte Studien und/oder kontrollierte Studien ohne Randomisierung) von gering eingestufte Qualität vor.
- **Widersprüchliche Evidenz:** Es liegen inkonsistente Ergebnisse aus Studien von gering eingestufte oder hoher Qualität vor (randomisierte Studien und/oder kontrollierte Studien ohne Randomisierung)
- **Keine Evidenz:** Es existieren keine randomisierten Studien oder kontrollierte Studien ohne Randomisierung.

2.4.1 Self-Myofascial Release – Foam Rolling

Definitionen und Methode

Myofascial Release (MFR) – ist eine manualtherapeutische Einzelbehandlung, bei der durch Manipulation myofaszieller Strukturen Funktionsstörungen des Bewegungsapparates behandelt werden sollen. Beim Self-Myofascial Release (SMR) handelt es sich um eine spezielle Form der MFR-Therapie zur Eigenanwendung.

Selbstmassage und Faszientraining sind häufig verwendete Synonyme für SMR. Die SMR kann mit Hilfe eines handgeführten Massagerollers oder einer Hartschaumrolle (engl. »foam roller«) durchgeführt werden. Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf das Training mit dem Foam Roller.

Beim **Foam Rolling** wird das zu behandelnde Körperareal auf dem Foam Roller platziert, durch das eigene Körpergewicht Druck ausgeübt und der Körper über die Hartschaumrolle gerollt. Die Übungen können im Sitzen und Liegen (auf dem Foam Roller) sowie im Stehen (Foam



■ Abb. 2.2 Foam Rolling in einer Sportgruppe

Roller zwischen Körper und Wand) durchgeführt werden. Die Aufrechterhaltung der Körperposition verlangt eine isometrische Anspannung der Rumpfmuskulatur, die vermutlich vergleichbar ist mit statischen Halteübungen (z. B. Unterarmstütz) (Healey et al. 2014) (■ Abb. 2.2).

Ähnlich wie beim MFR sollen beim Foam Rolling durch gezielte Manipulation von Faszien bindegewebige Verhärtungen und Restriktionen sowie myofasziale Triggerpunkte (MTrP) behandelt werden. Unklar ist, ob beim (Self-) Myofascial Release tatsächlich ein Effekt auf Faszienstrukturen und/oder MFR/SMR und/oder Muskelgewebe ausgeübt wird. Eine wissenschaftliche Überprüfung dieses Postulates wird insbesondere dadurch erschwert, dass es derzeit nur wenig Übereinstimmung in Bezug auf die Definition bzw. Beurteilung von Faszien und MTrP gibt (Schleip et al. 2012; Quintner et al. 2014; Tough et al. 2007).

Nach Schleip et al. (2012) zählen zu den Faszien alle kollagen-faserigen Bindegewebe, die Bestandteil eines den Körper durchziehenden Systems zur Übertragung von Spannungskräften sind. Hierzu gehören insbesondere Sehnen und Bänder, Gelenk- und Organkapseln, Sehnenplatten (Aponeurosen), Muskelsepten, Retinacula (Haltebänder), Epimysium (Muskelhülle) sowie Periosteum (Knochenhaut). Bei MTrP handelt es sich gemäß der am häufigsten zitierten Definition um überempfindliche, tastbare Knoten innerhalb von kontrakten Muskelfaserbündeln (»taut bands«) (Simons 1997), die im Zusammenhang mit Schmerzen, Bewegungseinschränkungen und motorischen Dysfunktionen stehen können (Wilke et al. 2014).

Effekte und Mechanismen

Das Foam Rolling soll in erster Linie zur Erweiterung des Bewegungsausmaßes (engl. »range of motion«; ROM) und dadurch zur Verbesserung der motorischen Funktion und Bewegungseffizienz beitragen (Mauntel et al. 2014). Darüber hinaus werden auch positive Effekte auf die körperli-

⁵ »Konsistente Ergebnisse« wurden definiert als eine Übereinstimmung der Studienergebnisse von mindestens 75 %.

che Leistungsfähigkeit, Regeneration sowie das Verletzungsrisiko angenommen (Behara u. Jacobson 2015; Schroeder u. Best 2015; Bushell et al. 2015; MacDonald et al. 2013).

Es existieren weder fundierte theoretische Überlegungen zu den Mechanismen des SMR, einschließlich Foam Rolling, noch entsprechende empirische Belege. Geht man hypothetisch davon aus, dass SMR auf ähnlichen Mechanismen basiert wie MFR oder Massage, ließe sich zur Erklärung von SMR-Mechanismen alternativ auf Arbeiten zum MFR oder zur Massage zurückgreifen. Narrative Übersichten⁶ zu den Mechanismen von MFR und Massage finden sich bei Schleip (2003) bzw. Weerapong et al. (2005).

Grundsätzlich werden mechanische von neurophysiologischen Mechanismen unterschieden, wobei ein Paradigmenwechsel hin zu den neurophysiologischen Mechanismen feststellbar ist (Schleip 2003). Mechanische Theorien gehen davon aus, dass es durch beim MFR ausgeübten Druck und Dehnung zu Anpassungen der anatomischen Struktur (Dichte und Anordnung intrafaszieller Kollagenfasern) und mechanischen Eigenschaften (Abnahme der Viskosität) von Faszien und Muskulatur kommt. Aufgrund des zeitlichen Verlaufs dieser Anpassungen erscheinen mechanische Theorien eher zur Erklärung chronischer als akuter Effekte geeignet.

Neurophysiologische Theorien, die insbesondere zur Erklärung von Immediateffekten herangezogen werden, besagen, dass die Stimulation von Mechanorezeptoren (z. B. Ruffini- und Pacini-Körperchen) eine Reduktion der Feuerungsrate von Alpha-Motoneuronen und somit eine Abnahme des Muskeltonus induziert. Allerdings steht eine schlüssige empirische Überprüfung dieser Theorien noch aus. Insbesondere bleibt zu klären, inwieweit solche mechanischen und neurophysiologischen Adaptationen von Muskeln und/oder Faszien zu Veränderungen des Bewegungsausmaßes und der motorischen Funktion führen können.

Im Hinblick auf eine mögliche regenerationsfördernde Wirkung von Foam Rolling werden Effekte auf belastungsinduzierten Muskelschmerz (Muskelkater) genannt, die auf neurologischen und physiologischen Mechanismen basieren sollen. Neurologische Mechanismen stützen sich auf die Gate-Control-Theorie, gemäß derer die Weiterleitung von nozizeptiven Impulsen aus der Peripherie zum zentralen Nervensystem durch Aktivierung von Interneuronen im Rückenmark gehemmt werden kann. Da diese Interneurone durch mechanische Stimulation dicker Nervenfasern aktiviert werden, wird angenommen, dass es durch Massage zur Stimulierung dicker Nervenfasern

und folglich zu Unterdrückung von Nozizeption kommt (Weerapong et al. 2005). Während ein empirischer Nachweis für diese Theorie fehlt, deuten einige Untersuchungen auf eine durch Massage ausgelöste Abschwächung der inflammatorischen Reaktion auf belastungsinduzierten Muskelschmerz hin (Crane et al. 2012).

Zu den Mechanismen möglicher leistungssteigernder oder verletzungsprophylaktischer Effekte liegen keine wissenschaftlichen Erklärungsansätze vor. Denkbar wären indirekte Effekte durch Beeinflussung des Bewegungsausmaßes, insbesondere bei Personen mit eingeschränkter Gelenkbeweglichkeit.

Evidenz

Gelenkbeweglichkeit, Schnell- und Maximalkraft

Zur Wirksamkeit von Foam Rolling zur Verbesserung der Gelenkbeweglichkeit und Kraftleistung liegen einige aktuelle randomisierte Studien vor.

In einer quasi-randomisierten Cross-Over-Studie⁷ von MacDonald et al. (2013) an 11 gesunden, körperlich aktiven Probanden wurden unmittelbare Effekte einer einmaligen Foam-Roller-Anwendung am Quadrizeps (2 Durchgänge à 1 Minute) auf das Kniegelenks-ROM sowie die isometrische Maximalkraft und den Aktivierungsgrad der Knieextensoren untersucht. Im Vergleich zu einer Referenzmessung ohne Intervention zeigten sich signifikante⁸ Steigerungen der Knie-ROM 2 Minuten (10°) und 10 Minuten (8°) post Intervention. Es ergaben sich keine Veränderungen der Maximalkraft, Kraftentwicklung (»rate of force development«; Newton/Sekunde) oder Muskelaktivität (Elektromyographie; EMG).

In einer randomisierten Cross-Over Studie an 14 gesunden College-Footballern untersuchten Behara u. Jacobson (2015) akute Effekte einer einmaligen Foam-Roller-Anwendung im Vergleich zu keiner Intervention und dynamischem Stretching. Die Probanden der Foam-Rolling- und Stretching-Gruppe führten jeweils einen Durchgang von 60 Sekunden unilateral am Quadrizeps, den Hamstrings, Waden und der Gesäßmuskulatur durch. Während die Ergebnisse auf signifikante Steigerungen der Hüftgelenkbeweglichkeit nach Foam Rolling (+15,6°) und Stretching (+19,9°) hinweisen, wurden keine signifikanten Veränderungen der Spungkraft (Counter Movement Jump) oder Maximalkraft von Knieextensoren und -flexoren festgestellt.

6 Im Gegensatz zu einem systematischen Review erfolgt die Studienauswahl beim narrativen Review subjektiv und nicht systematisch (d. h., selektiv), und es wird keine Qualitätsbeurteilung der Studien durchgeführt.

7 In einer Cross-Over-Studie erhält jeder Proband alle zu vergleichenden Treatments in zufälliger (randomisierter) Reihenfolge. Somit wird jeder Proband als seine eigene Kontrolle eingesetzt.

8 Ist ein Ergebnis signifikant, bedeutet das, dass es sich mit einer gewissen Irrtumswahrscheinlichkeit (in der Regel 5 %) auf die Gesamtpopulation generalisieren lässt und nicht nur zufällig in der Studie auftritt.

In einer weiteren randomisierten Studie im Parallelgruppendedesign⁹ untersuchten Junker u. Stöggli (2015) bei 40 gesunden Freizeitsportlern die Wirkung eines mehrmaligen Foam-Roller-Treatments im Vergleich zu PNF (Propriozeptive Neuromuskuläre Fazilitation)-Stretching und keiner Intervention. Die Probanden der Foam-Rolling-Gruppe stimulierten ihre Hamstrings 3-mal pro Woche (3 Durchgänge à 30-40 Sekunden pro Seite) über einen Zeitraum von 4 Wochen. Die Stretching-Gruppe dehnte ihre Hamstrings ebenfalls 3-mal pro Woche über 4 Wochen. Im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Intervention zeigte sich in beiden Interventionsgruppen eine signifikante Steigerung der Rumpfbeweglichkeit sowie der Dehnfähigkeit der Hamstrings und der unteren Rückenmuskulatur beim Rumpfbeugen (»stand and reach test«) (Foam Rolling: +3 cm; PNF: +4 cm; Kontrolle: +0,4 cm). Die Unterschiede zwischen Foam Rolling und PNF waren nicht signifikant. Da der Posttest scheinbar direkt nach der letzten Stimulation erfolgte, ist eine Unterscheidung in akute und chronische Effekte nicht möglich.

Im Rahmen einer randomisierten Cross-Over-Studie untersuchten Healey et al. (2014) direkte Effekte des Foam Rolling auf verschiedene Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit, wie Sprungkraft (Counter Movement Jump), isometrische Maximalkraft (Beinpresse) und Gewandtheit. Ferner wurde die subjektiv erlebte Ermüdung unmittelbar vor und nach den Leistungstests mit Hilfe einer Rating-Skala erhoben. 26 gesunde, körperlich aktive Probanden führten jeweils einen Durchgang von 30 Sekunden Dauer an den folgenden Muskelgruppen durch: Quadrizeps, Hamstrings, Waden, Latissimus dorsi und Rhomboidi. Im Vergleich zur Kontrollintervention (Unterarmstütz) zeigten sich keine Veränderungen der Leistungsparameter. Die Zunahme der selbsteingeschätzten Ermüdung war signifikant geringer nach Foam Rolling gegenüber der Kontrollintervention.

Regeneration

Im Bereich Regeneration liegen zwei randomisierte Studien vor, die sich mit den Effekten von Foam Rolling auf Muskelkater (verzögerter Muskelschmerz nach Belastung; engl. »delayed-onset muscle soreness«; DOMS) befassten.

In einer Studie im Parallelgruppendedesign von Macdonald et al. (2014) wurden 20 gesunde und körperlich aktive Probanden nach Durchführung einer standardisierten Kniebeugenbelastung zur Induktion von Muskelkater entweder einer Interventionsgruppe (Foam Rolling) oder Kon-

trollgruppe ohne Intervention zugeordnet. Die folgenden Variablen wurden unmittelbar vor und nach Belastung sowie 24, 48 und 72 Stunden nach Belastung erhoben: Schmerzintensität, Sprungkraft (Counter Movement Jump), isometrische Maximalkraft bei Knieextension, Bewegungsausmaß (ROM) bei Knie- und Hüftbeugung und neuromuskulärer Aktivierungsgrad der Knieextensoren. Die Interventionsgruppe führte insgesamt fünf Übungen à 60 Sekunden durch, vier Übungen zur Stimulation des Oberschenkelmuskels (jeweils eine Übung für den vorderen, seitlichen, hinteren und medialen Anteil) und eine Übung zur Stimulation des Gesäßmuskels. Diese Trainingseinheit wurde insgesamt 3-mal durchgeführt, jeweils unmittelbar im Anschluss an die Messung der Zielvariablen: (1) direkt nach Kniebeugenbelastung, (2) 24 Stunden nach Kniebeugenbelastung und (3) 48 Stunden nach Kniebeugenbelastung. Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigte sich in der Interventionsgruppe zu allen Messzeitpunkten eine niedrigere Schmerzintensität (große Effektstärken) bei gleichzeitig höherem Bewegungsausmaß (kleine bis mittlere Effektstärken). Auch zeigten die Probanden der Interventionsgruppe eine höhere Sprungleistung 24 und 48 Stunden nach Belastung (moderate bis große Effektstärken), nicht jedoch nach 72 Stunden. Im Hinblick auf die isometrische Maximalkraft fanden sich zu keinem der Untersuchungszeitpunkte nennenswerte Gruppenunterschiede.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Pearcey et al. (2015) in ihrer randomisierten Cross-Over-Studie an 8 gesunden und körperlich aktiven Probanden. Ähnlich wie in der zuvor genannten Studie von Macdonald et al. (2014) wurde Muskelkater durch Kniebeugen induziert, und es wurden die Effekte von Foam Rolling versus keine Intervention auf die Druckschmerzschwelle am Quadrizeps, Sprintschnelligkeit, Sprungkraft und Kraftausdauer (mögliche Wiederholungszahl beim Kniebeugen) untersucht. Mit dem Foam Roller wurde pro Muskel (Kniestrecker, Kniebeuger, Adduktoren und Gesäßmuskulatur) und pro Seite jeweils eine 45-sekündige Stimulation durchgeführt. Die Stimulation erfolgte insgesamt 3-mal (1) direkt nach Kniebeugenbelastung, (2) 24 Stunden nach Kniebeugenbelastung und (3) 48 Stunden nach Kniebeugenbelastung. Die Zielparameter wurden jeweils vor der Intervention sowie nach 72 Stunden erfasst. Gegenüber der Kontrolle zeigte sich in der Interventionsgruppe eine vergleichsweise höhere Druckschmerzschwelle 24 (mittlere Effektstärke) und 48 Stunden (große Effektstärke) nach Muskelkaterinduktion, jedoch nicht nach 72 Stunden. Positive Effekte des Foam Rollings zeigten sich auch im Hinblick auf die Sprintschnelligkeit (mittlere Effektstärke) und Sprungkraft (kleine bzw. große Effektstärke), allerdings nur 24 und 72 Stunden nach Muskelkaterinduktion. Moderate Effekte auf die Kraftausdauer zeigten sich nur 48 Stunden nach Muskelkaterinduktion.

⁹ Das Parallelgruppendedesign ist das häufigste Design für randomisierte Studien. Dabei werden die Probanden per Randomisierung zu unabhängigen Untersuchungsgruppen zugeteilt, d. h., jeder Proband erhält nur ein Treatment. Im Folgenden wird der Begriff randomisierte Studie im Sinne einer randomisierten Studie im Parallelgruppendedesign verwendet.

Fazit

Die aktuelle wissenschaftliche Literatur zum Foam Rolling deutet auf unmittelbare Steigerungen der Gelenkbeweglichkeit hin, die sich bis zu 10 Minuten post Intervention feststellen ließen. Im Vergleich zum PNF oder dynamischen Stretching sind diese Effekte geringer bzw. vergleichbar. Aussagen zu chronischen Effekten lassen sich derzeit nicht machen. Keine Effekte des Foam Rolling fanden sich im Hinblick auf Kraft- und Schnelkkraftfähigkeiten sowie Muskelaktivierung.

Im Hinblick auf den Regenerationsverlauf nach Muskelkater zeigten sich positive Effekte auf die Schmerzintensität und Druckschmerzschwelle sowie Gelenkbeweglichkeit, Schnelkkraft und Kraftausdauer.

Keine der genannten Studien liefert Anhaltspunkte für zugrundeliegende Mechanismen oder für einen Mediator-effekt von Faszien-gewebe. Ferner lassen sich keine Hinweise auf Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge finden. Da in die genannten Studien ausschließlich gesunde Probanden eingeschlossen wurden, lassen sich derzeit keine Aussagen über die postulierten therapeutischen Effekte machen. Eingeschränkt ist die Aussagekraft der genannten Studien auch aufgrund geringer Stichprobenumfänge.

2.4.2 Blood Flow Restriction Training

Definition und Methode

Im ► Abschn. 2.2.2 zu den Trainingsmethoden im Krafttraining (■ Tab. 2.5) wird deutlich, dass ein Krafttraining zur Steigerung von Muskelquerschnitt und Maximalkraft optimalerweise mit einer Belastungsintensität von mindestens 65 % 1RM durchgeführt werden sollte. Geringere Belastungsintensitäten (< 50 % 1RM) hingegen führen überwiegend zu intermuskulären Koordinationsverbesserungen und werden zum Bewegungsklernen oder im therapeutisch-rehabilitativen Bereich eingesetzt. Aktuelle Studien zum Blood Flow Restriction Training (BFR) deuten darauf hin, dass sich bereits mit niedrigeren Intensitäten (~20-50 % 1RM) bedeutsame Effekte auf Muskelquerschnitt und Maximalkraft erzielen lassen, wenn der Blutfluss im arbeitenden Muskel unterdrückt wird.

Blood Flow Restriction Training (BFR) – Beim Blood Flow Restriction Training (BFR) handelt es sich um eine Trainingsmethode, bei der der Blutfluss in der arbeitenden Extremitätenmuskulatur durch proximale Kompression mittels Manschette, Bandage oder Venenstauer gehemmt werden soll.

Der dabei verwendete Druck variiert erheblich und reicht von 140 bis 240 mmHg, wobei ein Druck von über 200 mmHG nicht effektiver zu sein scheint als ein moderater Druck von ungefähr 150 mmHG (Loenneke et al. 2012). Beabsichtigt wird insbesondere die Hemmung des

venösen Blutrückflusses und damit die Stauung von venösem Blut im Kapillargebiet (engl. »blood pooling«).

Wie bereits angedeutet, reduziert sich das BFR-Training auf die Extremitäten. Hierzu eignen sich insbesondere ein- und mehrgelenkige Übungen unter Verwendung von freien Gewichten oder Krafttrainingsgeräten (z. B. Kniebeugen, Beinpresse, Beinstrecken und -beugen, Armstrecken und -beugen). Das BFR-Training kann auch während aerober Ausdauerbelastungen angewendet werden, beispielsweise beim Gehen, Laufen oder Radfahren. Dabei wird der venöse Blutrückfluss aus der Waden- oder Oberschenkelmuskulatur restringiert.

Effekte und Mechanismen

Umfassende narrative Übersichten zu den möglichen Mechanismen des Muskelwachstums durch BFR-Training finden sich bei Heitkamp (2015) und Pearson u. Hussain (2015).

Als primär auslösende Faktoren für die Hypertrophie vermutet werden mechanische Spannung und metabolischer Stress (infolge der Durchblutungsreduktion verursachte Sauerstoffunterversorgung des Gewebes), die synergistisch eine Reihe von weiteren neuronalen, hormonellen und biochemischen Mechanismen auslösen. Hierzu zählen die vermehrte Aktivierung von Typ-II-Muskelfasern, Ausschüttung von Wachstumshormonen, Zellschwellung (intrazelluläre Wassereinsparung), Mechanotransduktion und vermehrte Produktion reaktiver Sauerstoffspezies (engl. »reactive oxygen species«; ROS). Diese Mechanismen führen möglicherweise über eine gesteigerte Proteinsynthese und/oder Aktivierung und Proliferation von Satellitenzellen (Wernbom et al. 2013) zur Muskelhypertrophie. Auch zeigen einige Studien erhöhte Wachstumshormonkonzentrationen (»growth hormone«, GH; »insulin-like growth factor-1«) nach BFR-Training (Takano et al. 2005), die allerdings nicht zwingend im Zusammenhang mit einer gesteigerten Proteinsynthese stehen müssen (West u. Phillips 2012). Unklar ist auch die relative Bedeutung der primär auslösenden Faktoren (mechanische Spannung, metabolischer Stress) sowie der sekundären Mechanismen für die Muskelhypertrophie. Aufgrund der beim BFR-Training verwendeten geringen Belastungsintensitäten wird davon ausgegangen, dass das Muskelwachstum primär durch metabolischen Stress ausgelöst wird.

Evidenz

Zu den Effekten von BFR-Training auf Hypertrophie und Muskelkraft liegen systematische Reviews von Loenneke et al. (2012) und Slys et al. (2015) vor. Diese berücksichtigten Studien, die Kraft- oder Ausdauertraining plus BFR mit Kraft- oder Ausdauertraining ohne BFR (Kontrollintervention) verglichen. Untersucht wurden gesunde trainierte und untrainierte Probanden im Alter von 18 bis 70 Jahren.

Loenneke et al. (2012) schlossen 11 Studien (9 Studien zum Krafttraining, 2 Studien zum Ausdauertraining) ein, die trainingsinduzierte Veränderungen des Muskelquerschnitts und der Muskelkraft der unteren Extremitäten untersuchten. Die Belastungsintensität für das Krafttraining (Kniebeugen, Beinstrecken, Beinbeugen) lag bei 15-30 % 1RM. Über einen Zeitraum von 2-8 Wochen wurden mehrmals wöchentlich (2- bis 14-mal) 3 bis 4 Sätze à 15-30 Wiederholungen durchgeführt. Das Ausdauertraining (Laufband, Fahrradergometer) wurde mehrmalig pro Woche (4- bis 12-mal) mit Intensitäten von 40 % der maximalen Sauerstoffaufnahme, 35 % der Herzfrequenzreserve oder 3 km/h Ganggeschwindigkeit über einen Zeitraum von 3 bis 8 Wochen durchgeführt. In 9 Studien wurde der Muskelquerschnitt mittels Magnetresonanztomographie erfasst und in zwei Studien mittels Ultraschall.

Im Hinblick auf die Muskelkraft ergab die Metaanalyse einen mittleren Effekt des BFR-Trainings (SMD 0,58; 95 % Konfidenzintervall¹⁰ (KI) 0,40-0,76) und keinen Effekt der Kontrollintervention (SMD 0,00; 95 % KI -0,18-0,17). Für die Muskelhypertrophie zeigte das BFR-Training einen kleinen Effekt (SMD 0,39; 95 % KI 0,35-0,43), wohingegen die Kontrollintervention keinen Effekt zeigte (SMD 0,01, 95 % KI -0,05-0,03). In Bezug auf die Muskelkraft deuteten Subgruppenanalysen auf größere Effektstärken für Untrainierte im Vergleich zu trainierten Personen hin. Subgruppenanalysen nach Trainingszustand konnten für die Hypertrophie aufgrund der limitierten Datenlage nicht durchgeführt werden. Die größten Effekte auf Kraft und Muskelmasse fanden sich für das BFR-Krafttraining mit einer Trainingshäufigkeit von 2- bis 3-mal pro Woche.

Die Qualität des Reviews ist aufgrund einiger Defizite bei der Erstellung und/oder Berichterstattung allerdings eingeschränkt. Es fehlen genaue Angaben zur Literatursuche, die Studienselektion und Datenextraktion wurde anscheinend nicht von zwei Autoren unabhängig voneinander durchgeführt, und es erfolgte keine Qualitätsbewertung der eingeschlossenen Studien. Ferner sind die statistischen Verfahren, die zur Zusammenfassung der Ergebnisse der einzelnen Studien verwendet wurden (Metaanalyse unter Verwendung von Modellen mit festen oder zufälligen Effekten) nicht beschrieben. Auch wäre es hilfreich gewesen, wenn die Autoren den Grad der Heterogenität der Studien mittels geeigneter statistischer Verfahren quantitativ beschrieben hätten. Solche Heterogenitätsmaße helfen bei der Frage, ob generell eine Metaanalyse durchgeführt werden sollte (bei zu großer Heterogenität ist das nicht immer sinnvoll). In Bezug auf die Beschrei-

bung der eingeschlossenen Studien fehlen Informationen zu den verwendeten Messmethoden zur Erfassung der Muskelkraft.

Ein aktuelles Review mit Metaanalyse von Slys et al. (2015) schloss (a) 19 Studien mit insgesamt 400 Studienteilnehmern zu den Effekten des BFR-Trainings auf die Muskelkraft und (b) 19 Studien mit insgesamt 377 Teilnehmern zu den Effekten auf den Muskelquerschnitt ein. Nach BFR-Ausdauertraining zeigte sich eine signifikant höhere Muskelkraft im Vergleich zum Ausdauertraining ohne BFR (WMD 0,4 Nm; 95 % KI 0,1-0,6). Die größten Gruppenunterschiede fanden sich für Trainingsprogramme mit einer Dauer von mehr als 6 Wochen und einer Gehgeschwindigkeit von mehr als 4,3 km/h. Ebenso zeigte sich nach BFR-Krafttraining eine signifikant höhere Muskelkraft im Vergleich zum Krafttraining ohne BFR (WMD 0,3 kg; 95 % KI 0,1-0,5). Am effektivsten waren Trainingsprogramme mit einer Dauer von bis zu 8 Wochen, einer Trainingsfrequenz von 2-mal pro Woche, einer Intensität von 30 % 1RM und einem Abbindedruck von mindestens 150 mmHG. Studien zu den Effekten auf den Muskelquerschnitt ergaben einen signifikanten Effekt für aerobes Training plus BFR gegenüber alleinigem aeroben Training (WMD 0,32cm²; 95 % KI 0,03-0,61). Auch für das BFR-Krafttraining zeigte sich ein größerer Muskelquerschnitt im Vergleich zum Krafttraining ohne BFR (WMD 0,41cm², 95 % KI 0,12, 0,58). Beide Trainingsformen, Kraft- und Ausdauertraining plus BFR, waren am effektivsten, wenn 2-mal pro Woche über einen Zeitraum von mindestens acht Wochen trainiert wurde.

Eingeschränkt ist die Qualität dieses Reviews durch eine unzureichende Beschreibung der eingeschlossenen Studien im Hinblick auf Studiendesign, Studienteilnehmer (z. B. Trainingszustand), Trainingsparameter (Häufigkeit, Intensität) und Messmethoden zur Erfassung von Kraft und Muskelquerschnitt. Ferner werden die Ergebnisse der individuellen Studien nicht dargestellt. Ähnlich wie bei der zuvor beschriebenen Metaanalyse fehlen Angaben zu den verwendeten statistischen Verfahren, die zur Heterogenitätsbestimmung und Zusammenfassung der Ergebnisse verwendet wurden. Obwohl die methodische Qualität der Studien bestimmt wurde, floss diese nicht in die Synthese und Diskussion der Ergebnisse ein.

Fazit

Die vorgestellte Literatur liefert Evidenz dafür, dass ein niedrigintensives Kraft- oder Ausdauertraining in Kombination mit BFR möglicherweise zu Steigerungen von Muskelkraft und Muskelmasse führen kann. Das BFR-Krafttraining war effektiver als das BFR-Ausdauertraining. Für das BFR-Krafttraining zeigten sich die größten Effekte, wenn 2-mal pro Woche über einen Zeitraum von mindestens 8 Wochen bei Belastungsintensitäten von ≥ 20 %

¹⁰ Konfidenzintervalle sind Angaben zur Präzision der Schätzung des Effektes auf Basis der Stichprobe. Das 95 % Konfidenzintervall beschreibt den Bereich, der die wahre Effektgröße der Gesamtpopulation mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % beinhaltet.

1RM und unter Verwendung eines Abbindedrucks von > 150 mmHg trainiert wurde. Allerdings fanden sich erhebliche Variationen der Effektstärken zwischen den Primärstudien. Deshalb und vor dem Hintergrund der genannten methodischen Limitation bei der Durchführung und Berichterstattung der Metaanalysen sind deren Ergebnisse zunächst unter Vorbehalt zu interpretieren.

Auf Basis der zitierten Literatur lassen sich keine direkten Vergleiche zwischen niedrigintensivem BFR-Training und einem höherintensiven Krafttraining ohne BFR anstellen. Allerdings deutet eine aktuelle randomisierte Studie an untrainierten Probanden darauf hin, dass sich durch ein Krafttraining mit einer Belastungsintensität von 80 % 1RM größere Effekte auf die Muskelkraft erzielen lassen als durch BFR-Krafttraining mit einer Intensität von 20 % oder 40 % 1RM (+12 % versus +22 %) (Lixandrão et al. 2015). Im Hinblick auf den Muskelquerschnitt wurde kein Unterschied zwischen beiden Methoden festgestellt.

2.4.3 Elektromyostimulation

Definition und Methode

Elektromyostimulation (EMS) – Bei der Elektromyostimulation (EMS) werden Muskeln mittels elektrischer Reize stimuliert, um eine Muskelkontraktion hervorzurufen. Die Reizapplikation erfolgt mit Oberflächen Elektroden über die Haut im Bereich der Innervationszone des Muskels, entweder in Ruhe oder in Verbindung mit einer willkürlichen Kontraktion des Zielmuskels (überlagernde Muskelstimulation).

Ausgelöst wird die Kontraktion angeblich nicht indirekt durch Aktivierung motorischer Nerven, sondern durch direkte Aktivierung intramuskulärer Nervenfasern (Vanderthommen u. Duchateau, 2007). Es können sowohl einzelne Muskeln als auch mehrere Muskelgruppen gleichzeitig stimuliert werden. Obwohl im Hinblick auf die optimalen Stimulationsparameter nur wenig Konsens besteht, wurde in vielen wissenschaftlichen Untersuchungen ein biphasischer, symmetrischer Impuls mit einer Dauer von 0,1-0,5 Millisekunden, einer Frequenz von 50-100 Hertz und einer maximal tolerierten Stromstärke im Milliampere-Bereich verwendet (Vanderthommen u. Duchateau 2007). Die Interventionsdauer erstreckte sich meist über einen Zeitraum von vier bis fünf Wochen mit 20-25 Behandlungen von jeweils 10-30 Minuten. Angewendet wird die EMS bei Sportlern zur Verbesserung der muskulären Regeneration und Steigerung der Kraftleistungsfähigkeit und im Rahmen der Rehabilitation verschiedener Erkrankungen (Kniearthrose, Kreuzbandruptur, Schlaganfall, chronisch obstruktive Lungenerkrankung) zur Beseitigung inaktivitätsbedingter Veränderungen der Muskelkraft und körperlichen Funktion. Postuliert wird, dass die EMS eine Trainingsalternative insbesondere für Patienten darstellt, die

ein herkömmliches Krafttraining aufgrund krankheitsbedingter Leistungseinbußen nicht durchführen können (Hortobágyi u. Maffiuletti 2011).

Effekte und Mechanismen

Narrative Übersichten zu den Anpassungen an EMS finden sich bei Hortobágyi u. Maffiuletti (2011) und Vanderthommen u. Duchateau (2007). Die Autoren vermuten, dass (akute) EMS-induzierte Veränderungen der Maximalkraft primär auf neuronalen Anpassungen beruhen, da Kraftsteigerungen bereits nach einer Behandlungsdauer von weniger als 6 Wochen und ohne nennenswerte Veränderungen der Muskelmasse beobachtet wurden. Einige Studien verweisen auf einen phasischen Verlauf der Anpassungen, ähnlich wie beim konventionellen Krafttraining mit Willkürkontraktionen, mit Kraftsteigerungen ohne Veränderungen der Muskelmasse in den ersten 4 Wochen, gefolgt von chronischen Anpassungen im Sinne erhöhter Muskelmasse nach längerer Interventionsdauer. So wurden nach 4 bis 8 Wochen Steigerungen der Muskelmasse um 4 % festgestellt (Gondin et al. 2005), die nach 8 bis 9 Wochen auf bis zu 12 % anstiegen (Gondin et al. 2011).

Die Hypothese der neuronalen Anpassung wird empirisch ferner durch Studien belegt, die zeigen, dass durch EMS ausgelöste Steigerungen der Maximalkraft mit einer gleichzeitigen Zunahme der Muskelaktivierung einhergehen können (Gondin et al. 2005; Jubeau et al. 2006). Veränderungen der Muskelaktivierung wurden dabei mittels Oberflächen-EMG während einer maximalen Willkürkontraktion vor und nach der EMS-Intervention gemessen. Allerdings liegen auch Studien vor, die trotz gesteigerter Maximalkraft keine Veränderung der Muskelaktivierung im EMG zeigen, so dass die Literaturlage keine endgültigen Schlüsse zulässt (Hortobágyi u. Maffiuletti 2011).

Eine weitere Hypothese besagt, dass mögliche Maximalkraftsteigerungen nach EMS auf einer erhöhten Erregbarkeit spinaler Motoneurone beruhen könnten. Da allerdings auch für diese Hypothese konsistente und überzeugende empirische Befunde fehlen, sind neuronale Anpassungen auf supraspinaler Ebene zunehmend in den Fokus der Forschung gerückt. Entsprechende Hypothesen besagen, dass durch EMS sensorische Afferenzen stimuliert werden, die zum somatosensorischen Kortex ziehen, und dass es durch diese afferente Reizung zu plastischen Veränderungen im Sinne einer gesteigerten motorkortikalen Erregbarkeit kommt (Hortobágyi u. Maffiuletti 2011). Während mittels bildgebender Verfahren, wie beispielsweise der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT), gezeigt werden konnte, dass durch EMS sensorische und motorische Kortexareale akut aktiviert werden können (Blickenstorfer et al. 2009; Schabrun et al. 2012), ist unklar, ob EMS zu plastischen Veränderungen führt, die

in einem kausalen Zusammenhang mit EMS-induzierten Maximalkraftsteigerungen stehen.

Weiterhin konnten mittels Kernspinresonanzspektroskopie Effekte der EMS auf den Muskelstoffwechsel festgestellt werden (Vanderthommen u. Duchateau 2007), die auf einen erhöhten Energieumsatz hindeuten (Kemmler et al. 2012). Entsprechende Studien zeigten im Vergleich zu einer willkürlichen Muskelkontraktion eine Zunahme der Konzentration energiereicher Phosphate und des muskulären Sauerstoffverbrauchs bei gleichzeitiger Verringerung des intrazellulären pH-Werts (Vanderthommen et al. 1999; Vanderthommen et al. 2003).

Evidenz

EMS zur Kraftsteigerung

Ziel des systematischen Reviews mit Metaanalyse von Bax et al. (2005) war es, die Wirksamkeit von EMS, isoliert oder in Kombination mit einer Willkürkonzentration (überlagernde Muskelstimulation), zur Kraftsteigerung der vorderen Oberschenkelmuskulatur (Quadrizepsmuskel) zu untersuchen. Als Vergleich diente eine Kontrollgruppe ohne Intervention oder Kraftübungen mit willkürlichen Kontraktionen. In den meisten Studien wurden isometrische Kontraktionen bei einem Kniebeugungswinkel von 30-90° verwendet. Die Dauer der Trainingsprogramme lag bei 4 bis 6 Wochen, die Trainingsfrequenz betrug 2- bis 5-mal/Woche.

Siebzehn der insgesamt 35 eingeschlossenen randomisierten Studien niedriger bis moderater methodischer Qualität untersuchten gesunde trainierte und untrainierte Probanden mit einem Durchschnittsalter von 28 Jahren. Basierend auf Daten von 235 Personen zeigte sich nach isolierter EMS im Vergleich zu keiner Intervention eine signifikant höhere Muskelkraft (WMD 8Nm; 95 % KI 2,79-13,21). Dieser Effekt war unabhängig vom Trainingszustand der Probanden. In zwei der Studien mit insgesamt 38 Probanden wurde die EMS simultan mit einer Willkürkontraktion der Oberschenkelmuskulatur (überlagernde Muskelstimulation) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Subgruppenanalyse ergaben mit einer WMD von 10Nm (95 % KI 4,71-15,58) ebenfalls einen größeren Effekt der EMS gegenüber keiner Intervention. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, die Kraftübungen mit willkürlichen Kontraktionen durchführte, fanden sich für die EMS (isoliert und überlagernd) geringere Kraftwerte (WMD -11Nm; 95 % KI -22,9-0,08; n=155).

Laut Schlussfolgerung der Autoren weisen die Daten ihrer Analyse darauf hin, dass EMS zwar besser ist als kein Training aber dennoch weniger effektiv als konventionelles Krafttraining.

EMS zur Regeneration

Malone et al. (2014) führten ein systematisches Review zur Anwendung von EMS im Rahmen der Regeneration nach sportlichen Belastungen durch. Eingeschlossen wurden 13 randomisierte Studien, die die Einflüsse von EMS auf Blutlaktatkonzentration, Leistungsfähigkeit, Schmerzen und Belastungsempfinden bei gesunden trainierten (9 Studien) und untrainierten (4 Studien) Personen untersuchten. Acht Studien wiesen eine hohe methodische Qualität auf. Als Referenzbedingungen dienten aktive (z. B. Wassergymnastik, niedrigintensives Laufen/Radfahren) und passive Regenerationsmaßnahmen (z. B. Liegen, Sitzen). Das Durchschnittsalter der insgesamt 139 Studienteilnehmer lag bei 26 Jahren, die durchschnittliche Teilnehmerzahl pro Studie bei 14. Als Belastungsstimulus dienten aerobe und anaerobe Ausdauerbelastungen (Laufen, Schwimmen, Radfahren, Wandern), sportartspezifische Belastungen (Futsal, Baseball Match) sowie maximal konzentrische und exzentrische Muskelkontraktionen zur Induktion von Muskelkater. Die Erfassung der Zielgrößen erfolgte nach der Erholungsphase, die zwischen 6 Minuten und 60 Stunden andauerte (durchschnittlich 27 Stunden).

Im Vergleich zu passiver Regeneration erbrachte die qualitative Ergebnissynthese eine starke Evidenz für die Wirksamkeit von EMS zur Reduzierung der Blutlaktatkonzentration, eine starke Evidenz für die Verbesserung des Schmerz- und Anstrengungsempfindens und keine Evidenz für die Steigerung der Leistungsfähigkeit. Im Vergleich zu aktiven Regenerationsmaßnahmen fand sich nur im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit eine schwache Evidenz für die Wirksamkeit von EMS.

Die Autoren schlussfolgerten, dass die EMS möglicherweise einen positiven Einfluss auf die subjektiv beurteilte Regeneration hat, sehen aber keine überzeugende Evidenz im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit.

EMS bei Kniearthrose

Giggins et al. (2012) führten ein systematisches Review mit Metaanalyse zur Wirksamkeit der EMS bei Patienten mit Kniearthrose durch. Die Autoren schlossen 9 randomisierte Studien und 1 Studie ohne Randomisierung mit insgesamt 409 Studienteilnehmern im Alter von 52-71 Jahren ein. Die methodische Qualität wurde für 2 Studien als hoch bewertet, für 4 Studien als moderat und für 4 Studien als niedrig. Die Dauer der Trainingsprogramme lag bei 4 bis 12 Wochen, die Trainingsfrequenz betrug 3- bis 7-mal/Woche. Die Studien verglichen EMS (isoliert oder in Kombination mit anderen Verfahren wie z. B. Interferenztherapie, Ultraschall, Krafttraining) mit Krafttraining, keiner Intervention, Placebo oder anderen therapeutischen Verfahren (z. B. transkutane elektrische Nervenstimulation (TENS), Selbstmanagement). Gemessen wurden subjektive Veränderungen von Schmerzen (z. B. visuelle

Analogskala) und Funktionseinschränkungen (WOMAC und Lequense Index) sowie objektive Veränderungen der Muskelkraft (1RM, Maximalkraft) und Funktionsfähigkeit (»timed walk«, »timed stair climb«, »timed sit-to-stand«, Gleichgewicht).

Insgesamt kam die qualitative Synthese der Studienergebnisse zu keinem einheitlichen Ergebnis (inkonsistente Evidenz), so dass eine Aussage im Hinblick auf die Wirksamkeit der EMS bei Kniearthrose nicht möglich war.

Ein weiteres systematisches Review zur EMS bei Kniearthrose konzentrierte sich auf Studien, in denen Effekte auf die Maximalkraft der Oberschenkelmuskulatur bei Senioren untersucht wurden (de Oliveira Melo et al. 2013). Die Probanden der 6 eingeschlossenen randomisierten Studien waren zwischen 42 und 85 Jahre alt. Trainingsdauer und Häufigkeit waren ähnlich wie im Review von Giggins et al. (2012). Vier Studien fanden eine Steigerung der isometrischen Maximalkraft durch EMS (isoliert oder in Kombination mit Krafttraining), die allerdings nicht größer ausfiel als bei den Kontrollinterventionen ohne EMS. Nur zwei Studien berichteten, dass EMS in Kombination mit Wärmebehandlung oder Krafttraining effektiver war als Krafttraining, Ultraschall oder Wärme alleine oder in Kombination.

Auf Basis einer qualitativen Synthese der Studienergebnisse schlussfolgerten die Autoren, dass moderate Evidenz für die Wirksamkeit von EMS, alleine oder in Kombination mit Krafttraining, zur Steigerung der isometrischen Maximalkraft bei Senioren mit Kniearthrose besteht. Die Evidenz zur Effektivität gegenüber anderen Verfahren wurde als limitiert bewertet.

EMS nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion

Kim et al. (2010) führten ein systematisches Review randomisierter kontrollierter Studien zu den Effekten von EMS auf die Muskelkraft und Funktionsfähigkeit bei Patienten nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion durch. Eingeschlossen wurden 8 Studien, die EMS, alleine oder in Kombination mit Krafttraining, mit einer Kontrollgruppe verglichen, die Krafttraining alleine oder in Kombination mit einer anderen Behandlungsmaßnahme erhielten (EMG Biofeedbacktraining, TENS). Die methodische Qualität der Studien war im Durchschnitt niedrig. Als Outcomevariablen dienten die isometrische oder isokinetische Quadrizepskraft und die körperliche Funktionsfähigkeit, die mittels sportmotorischer Tests oder fragebogenbasiert erhoben wurde. Die Teilnehmerzahl der Studien lag im Durchschnitt bei 22 (insgesamt 178 Studienteilnehmer). Die Studienteilnehmer erhielten durchschnittlich 35 Behandlungen (Spannweite: 12-105 Sitzungen) über einen Zeitraum von 6 Wochen (Spannweite: 3-11 Wochen). Die Erhebung der Outcomevariablen erfolgte in 6 der 8 Studien zu einem Messzeitpunkt unmittelbar nach der Intervention.

Basierend auf Daten zur Muskelkraft aus 3 Studien konnten für 11 Gruppenvergleiche SMD berechnet werden. Sechs (55 %) dieser Gruppenvergleiche fanden signifikant höhere Werte nach EMS im Vergleich zur Kontrolle (SMD Spannweite: 0,93-3,81; großer Effekt). Die übrigen Effektstärken für die Muskelkraft-Outcomevariablen waren statistisch nicht signifikant und lagen zwischen -0,74 (großer Effekt zugunsten der Kontrollgruppe) und 0,93 (großer Effekt zugunsten der Experimentalgruppe). Hinsichtlich der körperlichen Funktionsfähigkeit konnten 3 SMD für motorische Tests und 2 SMD für fragebogenbasierte Erhebungen berechnet werden. Während sich für die testbasierten Erhebungen höhere Werte zugunsten der EMS zeigten (SMD Spannweite: 0,66-0,72; mittlerer Effekt), waren die Gruppenunterschiede für die fragebogenbasierten Erhebungen nicht signifikant (SMD Spannweite: 0,07-0,64; kein bis mittlerer Effekt).

Den Autoren zufolge lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass die Effekte auf die Quadrizepskraft größer sein könnten für EMS plus Krafttraining als für alleiniges Krafttraining. Hingegen sei die Datenlage zur körperlichen Funktionsfähigkeit nicht eindeutig. Die Schlussfolgerung aus den Ergebnissen der Muskelkraft lässt sich allerdings nur bedingt nachvollziehen, da sich nur in 55 % der Untersuchungen eine Übereinstimmung der Ergebnisse zeigte, was eher auf eine widersprüchliche Evidenzlage hinweist. Auch ist nicht eindeutig, inwieweit die Studienqualität in die Evidenzbewertung einbezogen wurde und warum die einzelnen Effektstärken für die Muskelkraft nicht zu einem Gesamteffekt zusammengefasst wurden.

EMS nach Schlaganfall

Für ihr systematisches Review zur EMS bei Schlaganfallpatienten berücksichtigten Nascimento et al. (2014) kontrollierte Studien mit und ohne Randomisierung, die Effekte auf die Muskelkraft und alltagsrelevante Funktionsfähigkeit untersuchten. Eingeschlossen wurden 16 Studien moderater methodischer Qualität mit insgesamt 638 Studienteilnehmern im subakuten (1-6 Monate; 9 Studien) und chronischen Stadium (2-7 Monate; 7 Studien). Die Studienteilnehmer waren zwischen 52 und 75 Jahren alt. 13 Studien verglichen EMS mit Placebo oder keiner Intervention und 3 Studien mit Krafttraining. In 10 Studien erhielten die Probanden beider Studienarme eine Standardtherapie. Die EMS erfolgte an den Muskeln des Sprunggelenkes (Dorsal- und Plantarflexoren), des Handgelenkes (Unterarmextensoren), des Ellenbogens (Extensoren) und des Kniegelenkes (Extensoren und Flexoren). Die Probanden erhielten im Mittel 4 Behandlungen pro Woche über einen Zeitraum von 6 Wochen.

Das Ergebnis der Metaanalyse zeigte eine Steigerung der Muskelkraft durch EMS gegenüber keiner Intervention/Placebo unmittelbar nach der Interventionsphase

(SMD 0,47; 95 % KI 0,26–0,68; mittlerer Effekt). Studien mit einer längeren Nachuntersuchungsphase von bis zu 30 Wochen deuteten darauf hin, dass der Effekt über die Interventionsphase hinaus erhalten blieb (SMD 0,30; 95 % KI 0,05–0,56; kleiner Effekt). Die Metaanalyse der Daten der alltagsrelevanten Funktionsfähigkeit ergab einen kleinen Effekt direkt nach Interventionsende zugunsten der EMS (SMD 0,30; 95 % KI 0,26–0,68). Für den Vergleich zwischen EMS und Krafttraining fanden sich keine signifikanten Gruppenunterschiede.

EMS bei chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD)

Pan et al. (2014) schlossen in ihr systematisches Review mit Metaanalyse 8 randomisierte Studien niedriger methodischer Qualität mit insgesamt 156 Patienten mit COPD ein. Berücksichtigt wurden Studien, die die Wirksamkeit von EMS, entweder alleine oder in Kombination mit einem anderen Treatment (z. B. Gelenkmobilisation, Physiotherapie), im Vergleich zu Placebo oder einem anderen Treatment untersuchten. Die Behandlungsfrequenz war in fast allen Studien 5-mal pro Woche (in einer Studie 3-mal/Woche), und die Dauer der Interventionsphase lag bei 4 (2 Studien) oder 6 Wochen (6 Studien). Das Alter der Studienteilnehmer lag zwischen 58 und 72 Jahren.

Die Metaanalyse ergab keinen signifikanten Effekt für die isokinetische Muskelkraft (SMD 0,38; 95 % KI –0,13–0,89) oder Leistungsfähigkeit beim 6-Minuten-Gehtest (WMD 13,63 m; 95 % KI –17,39–44,65). Die Autoren schlussfolgerten, dass keine ausreichende Evidenz zur Wirksamkeit von EMS bei COPD vorliegt.

EMS bei chronischer Herzinsuffizienz

Ziele des systematischen Reviews und der Metaanalyse randomisierter Studien von Sbruzzi et al. (2010) war es, die Wirksamkeit von EMS bei Personen mit chronischer Herzinsuffizienz zu bewerten. Die Autoren schlossen 7 Studien niedriger methodischer Qualität mit insgesamt 224 Probanden ein. In fünf Studien wurde die EMS mit aerobem Ausdauertraining verglichen (n=168) und in zwei Studien mit einer Kontrollgruppe ohne Intervention (n=56). Die EMS erfolgte im Bereich der Oberschenkel- und Wadenmuskulatur mit einer durchschnittlichen Frequenz von 5-mal pro Woche (Range: 3- bis 7-mal) für eine Dauer von sechs Wochen (Range: 3-10 Wochen).

Die Metaanalyse zum Vergleich mit aeroben Ausdauertraining ergab keine signifikante Wirkung für die isometrische Muskelkraft des Quadrizeps (WMD –0,33Nm; 95 % KI –4,56–3,90) oder Leistungsfähigkeit beim 6-Minuten-Gehtest (WMD 2,73m; 95 % KI –15,39–20,85). Während sich ein Zuwachs der Sauerstoffaufnahme gegenüber keiner Intervention zeigte (WMD 2,78ml/kg/min; 95 % KI 1,44–4,13), war die Sauerstoffaufnahme im Vergleich zum

aeroben Ausdauertraining geringer (–0,74 ml/kg/min; 95 % KI –1,38–0,10). Die Autoren schlussfolgerten, dass EMS eine Alternative für Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz darstellt, die ein konventionelles Training nicht durchführen können.

Fazit

Insgesamt betrachtet zeigt sich eine heterogene Evidenzlage zur Wirksamkeit der EMS zur Steigerung der Muskelkraft und Alltagsfunktion bei gesunden Personen und Patienten. Die Aussagekraft der dargestellten Reviews wird durch kleine Stichproben und methodische Limitationen der Primärstudien eingeschränkt. Die meisten Arbeiten erfüllten weniger als 50 % der für wissenschaftliche Studien üblicherweise geforderten Qualitätskriterien. Zu den häufigsten Limitationen zählten Probleme im Hinblick auf die Randomisierung, die Angabe von Baseline-Werten für alle Untersuchungsgruppen und die Verblindung der Untersucher. Darüber hinaus waren die verwendeten Stimulationsparameter (Frequenz, Intensität, Pulsdauer, Stimulationszeit) entweder nicht ausreichend beschrieben oder sehr unterschiedlich, was eine Beurteilung von Dosis-Wirkungs-Zusammenhängen praktisch unmöglich macht. Schwierig ist auch die Abschätzung des Placeboeffektes, da in den meisten Studien kein entsprechender Vergleich durchgeführt wurde und deshalb in keiner der Metaanalysen ein Gesamteffekt für die EMS versus Placebo/Sham-EMS berechnet wurde.

Bei gesunden trainierten und untrainierten Personen fanden sich zwar Kraftsteigerungen im Vergleich zu keiner Intervention, dennoch waren Trainingsprogramme mit Willkürkontraktionen effektiver. In ähnlicher Weise zeigte sich im Hinblick auf subjektive Regenerationseffekte eine Überlegenheit aktiver Regenerationsmaßnahmen.

Bei Patienten mit Kniearthrose und Kreuzbandrekonstruktion gibt es einige Hinweise darauf, dass EMS zu einer Verbesserung der Muskelkraft und -funktion beitragen könnte. Allerdings scheint die EMS nicht wirksamer zu sein als andere gängige Trainings- und Therapieverfahren.

Auch bei Schlaganfallpatienten konnte mittels EMS eine dem Krafttraining vergleichbare Verbesserung von Muskelkraft und alltagsrelevanter Funktionsfähigkeit konstatiert werden.

Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz zeigten zwar keine Verbesserung der Muskelkraft und Alltagsfunktion, konnten aber ihre aerobe Leistungsfähigkeit etwas verbessern. Bei COPD-Patienten lag keine Evidenz für die Wirksamkeit der EMS vor. Basierend auf diesen Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass die EMS zumindest für die genannten Patientengruppen, mit Ausnahme von COPD, eine Alternative zum körperlichen Training darstellen könnte.

2.4.4 Ganzkörpervibrationstraining

Definition und Methode

Ganzkörpervibrationstraining (engl. Whole Body Vibration Training, WBV) – Beim WBV handelt es sich um eine Trainingsmethode, bei der sich die trainierende Person auf einer Vibrationsplatte befindet, die sinusförmige oder stochastisch überlagerte (zufällige) Oszillationen produziert. Durch die Schwingungen wird mechanische Energie auf den Körper übertragen.

Die trainierende Person steht, sitzt, hockt oder liegt auf der Vibrationsplatte oder führt statische und dynamische Übungen mit oder ohne Zusatzlast durch. Die Höhe der Vibrationsbelastung wird hauptsächlich durch die Schwingungsintensität (Amplitude in mm), Schwingungsfrequenz (Hz), Schwingungsrichtung (vertikal, horizontal) und Körperposition in Relation zur Vibrationsplatte bestimmt (Costantino et al. 2014). Vibrationsplatten werden anhand der erzeugten Beschleunigung als »low-intensity« (weniger als 1g (9,81 m/s²)) und »high-intensity« (mehr als 1g (9,81 m/s²)) eingestuft (Wysocki et al. 2011). Anwendung findet die WBV insbesondere im Sport (Costantino et al. 2014) wie auch in der Prävention und Therapie von Osteoporose (Kiel et al. 2015) und neurodegenerativen Erkrankungen (Sitjà Rabert et al. 2012).

Effekte und Mechanismen

Wissenschaftliche Untersuchungen beschäftigten sich mit den Effekten der WBV auf die Kraftfähigkeiten (Maximalkraft und Schnellkraft) (Nordlund u. Thorstensson 2006), das Gleichgewicht (Ritzmann et al. 2014) und die Knochendichte (Kiel et al. 2015). Mechanismen, die entsprechende Wirkungen erklären könnten, sind größtenteils unbekannt.

Im Hinblick auf die Kraftfähigkeiten werden hauptsächlich Anpassungen des neuronalen Systems vermutet (Costantino et al. 2014). Untersuchungen von Ritzmann et al. (2013) zeigten beispielsweise einen höheren Aktivierungsgrad (EMG) der Oberschenkel- und Wadenmuskulatur direkt nach WBV. Ein weit verbreiteter Erklärungsansatz besagt, dass es durch die Schwingungen der Vibrationsplatte zu Längenveränderungen der Muskulatur kommt, die von speziellen Dehnungsrezeptoren (Muskelspindeln) registriert und als Nervenimpulse an die Motoneurone im Rückenmark weitergeleitet werden, die wiederum die Kontraktion des gedehnten Muskels auslösen. Beim WBV-Training würden die Kontraktionen der Muskulatur demnach primär durch Dehnreflexe ausgelöst. Durch die wiederholte Auslösung des Dehnungsreflexes soll es zu einer erhöhten Empfindlichkeit der Muskelspindeln und dadurch zu einer gesteigerten Erregbarkeit der Alpha-Motoneurone kommen (Costantino et al. 2014). Die empirische Überprüfung dieser Hypothese ergab bisher allerdings ein heterogenes Bild. Während einige WBV-Studien akute Erhöhungen der Reflexaktivität zeigten, fanden

andere Autoren keine Veränderungen (Fernandes et al. 2013) oder reduzierte Reflexaktivitäten (Ritzmann et al. 2013). Reduzierte Reflexaktivitäten werden auch zur Erklärung von akuten Verbesserungen der Gleichgewichtsfähigkeit nach WBV herangezogen (Ritzmann et al. 2014).

Im Hinblick auf die osteogene Wirkung von WBV deuten zahlreiche Untersuchungen darauf hin, dass Knochengewebe auf Vibration mit verschiedenen morphologischen Anpassungen reagiert (Prisby et al. 2008). Hatori et al. (2015) zeigten in ihrer Studie an Ratten, dass ein hochfrequentes WBV bei täglicher Anwendung über zwei Wochen zu einer Zunahme der kortikalen Knochendichte führte. Ausgelöst werden diese Anpassungen möglicherweise durch Freisetzung von Mediatorstoffen (Stickstoffmonoxid, Prostaglandin E2) und Genexpression (Produktion) von Enzymen (Cyclooxygenase-2), die eine wichtige Rolle im Knochenstoffwechsel spielen (Bacabac et al. 2006).

Evidenz

WBV zur Leistungssteigerung

Osawa et al. (2013) schlossen 12 randomisierte Studien in ihre Metaanalyse ein, die chronische Effekte eines mindestens vierwöchigen WBV-Trainings auf die Muskelkraft und Sprungleistung untersuchten. Um den Zusatznutzen der WBV im Vergleich zu einem Training ohne WBV bestimmen zu können, wurden nur Studien berücksichtigt, in denen die Probanden der Experimental- und Kontrollgruppe die gleichen Übungen durchführten, in der Experimentalgruppe auf der Vibrationsplatte und in der Kontrollgruppe ohne WBV. Diese Übungen umfassten beispielsweise Kniebeugen (mit und ohne Zusatzlast), Ausfallschritte, Wadenheben und statische Übungen. Sieben der 12 Studien wiesen eine gute methodische Qualität auf. Die in die Einzelstudien eingeschlossenen Probanden waren gesunde untrainierte Personen, (Freizeit-) Sportler und ältere Frauen nach der Menopause. Sieben Studien schlossen Jugendliche und junge Erwachsene (n=188) mit einem durchschnittlichen Alter von 24 Jahren (Range: 12-38 Jahre) ein und 5 Studien ältere Personen (n=187) mit einem Durchschnittsalter von 74 Jahren (Range: 61-78 Jahre). Während die jüngeren Personen im Durchschnitt 22 Trainingseinheiten über einen Zeitraum von 9 Wochen absolvierten, führten die älteren Personen durchschnittlich 56 Einheiten über eine Gesamtdauer von 24 Wochen durch. Die Vibrationsfrequenzen lagen zwischen 12 und 40 Hz, und die Amplitude variierte zwischen 1 bis 5 mm. Die Beschleunigung wurden in nur 3 Studien berichtet und lag bei 2,28-5,09 g, 1,4-3,4 g oder 0,3 g.

Die Metaanalyse der Daten zur Kraft der Knieextensoren bei jüngeren Personen (n=160) fand keinen signifikanten Effekt für das WBV-Training im Vergleich zur Kontrolle (SMD 1,01; 95 % KI 0,00-2,03). Bei den älteren Personen (n=154) fanden sich signifikant höhere Kraftwerte

für die Knieextensoren gegenüber der Kontrolle (SMD 0,47; 95 % KI 0,15–0,79; mittlerer Effekt). Ebenso zeigte das WBV-Training einen signifikanten Effekt auf die Sprungleistung beim Counter Movement Jump für jüngere Personen (SMD 1,00; 95 % KI 0,04–1,95; großer Effekt; $n=127$) und ältere Personen (SMD 0,60; 95 % KI 0,24–0,97; mittlerer Effekt; $n=122$).

Effekt von WBV auf Gleichgewicht, Mobilität und Sturzrisiko bei Älteren

Lam et al. (2012) schlossen 15 Arbeiten in ihr systematisches Review ein, das die Wirksamkeit der WBV zur Verbesserung von Gleichgewicht, Mobilität und Sturzrisiko bei älteren Personen untersuchte. Sechs Studien wiesen eine gute methodische Qualität auf. Die Stichprobengrößen lagen im Mittel bei 72 Probanden (Range: 24–220) und deren durchschnittliches Alter bei 73 Jahren (Range: 64–81 Jahre). Die Interventionsdauer variierte von sechs Wochen bis zu 18 Monaten, die Trainingshäufigkeit zwischen 1- bis 5-mal pro Woche. Die Frequenz der Vibrationen lag zwischen 10 und 54 Hz, die Amplitude zwischen 0,05 und 5 mm. Die Satzzahl variierte pro Trainingseinheit zwischen 1 und 27, die jeweilige Belastungsdauer zwischen 15 Sekunden und 3 Minuten. Die Probanden standen entweder auf der Vibrationsplatte oder führten Übungen wie Kniebeugen oder Ausfallschritte durch. Verglichen wurde das WBV mit einer Kontrollgruppe ohne Intervention oder mit einer anderen Intervention (z. B. Krafttraining, Walking, Physiotherapie). Die Erfassung der statischen Gleichgewichtsfähigkeit erfolgte mittels objektiver Verfahren (Kraftmessplatten) und einfacher motorischer Tests (Einbeinstand). Zusätzlich wurden die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit, Gang und Mobilität unter Anwendung geriatrischer Testverfahren (Tinetti-Test: Gleichgewicht, Gang; Timed Up and Go Test: Gleichgewicht, Mobilität) erfasst.

Die Metaanalyse zeigte einen positiven Effekt des WBV-Trainings auf das Gleichgewicht (Tinetti-Test) im Vergleich zur Kontrollgruppe (SMD 0,53; 95 % KI 0,12–0,94; mittlerer Effekt; 3 Studien). Ebenso zeigte die Metaanalyse bessere Werte im Timed Up and Go test (Gleichgewicht, Mobilität) für die WBV-Gruppe gegenüber der Kontrolle (SMD 0,34; 95 % KI 0,11–0,57; kleiner Effekt; 7 Studien). Keine Effekte bzw. widersprüchliche Ergebnisse fanden sich im Hinblick auf die Gangsicherheit und statische Gleichgewichtsfähigkeit sowie die Sturzhäufigkeit.

WBV und Knochendichte

In einem systematischen Review randomisierter Studien von Slatkovska et al. (2010) wurde die Wirkung der WBV im Vergleich zu keiner Intervention, Sham-WBV oder Kraft-/Ausdauertraining auf die Knochenmineraldichte untersucht. Die Studienteilnehmer waren postmenopau-

sale Frauen mit Osteopenie und Osteoporose in fünf Studien ($n=210$; 47–88 Jahre), junge gesunde Erwachsene in einer Studie ($n=53$; 19–38 Jahre) und Kinder/Jugendliche mit Behinderung oder geringer Knochendichte in zwei Studien ($n=65$; 4–19 Jahre). Der Gesamttrainingsumfang lag im Mittel bei 1348 Minuten (Spannweite: 208–7300 Minuten). Die Frequenz der Vibrationen variierte zwischen 12 Hz und 90 Hz. Vier der 5 Studien bei postmenopausalen Frauen verwendeten hochintensive Vibrationen mit einer Beschleunigung von mehr als einem g. Die Nachbeobachtungszeit lag im Mittel bei 8 Monaten (Spannweite: 6–12 Monate).

Die Metaanalyse der Effekte von WBV bei menopausalen Frauen ergab signifikant höhere Werte für den Mineralgehalt der Hüfte im Vergleich zur Kontrolle (WMD 0,015 g/cm²; 95 % KI 0,008–0,022; $n=131$). Die Autoren interpretieren diesen Effekt als klein und konstatieren, dass die Effektgröße zu vergleichen wäre mit der einer Kalzium- und Vitamin-D-Supplementierung. Eine Subgruppenanalyse deutete darauf hin, dass die WBV zwar effektiver war als keine Intervention oder Sham-WBV (WMD 0,013 g/cm²; 95 % KI 0,005–0,021; $n=81$), nicht jedoch effektiver als Kraft- oder Ausdauertraining (WMD 0,023 g/cm²; 95 % KI –0,003–0,048; $n=75$). Es zeigten sich keine Effekte auf den Mineralgehalt der Wirbelsäule (WMD –0,003 g/cm²; 95 % KI –0,012 bis 0,005; $n=181$) oder Tibia (WMD –2,2 mg/cm³; 95 % KI –10,0–5,7; $n=29$). Ebenfalls keine Veränderungen des Knochenmineralgehaltes fanden sich für junge Erwachsene ($n=53$). Bei Kindern und Jugendlichen zeigten sich signifikante Effekte der WBV auf die Knochenmineraldichte der Wirbelsäule (6,2 mg/cm³; 95 % KI 2,5–10,0; $n=65$) und der Tibia (14,2 mg/cm³; 95 % KI 5,2–23,2; $n=17$).

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass sich bei postmenopausalen Frauen und Kindern mit geringer Knochendichte ein kleiner bzw. mittlerer Effekt auf die Knochenmineraldichte zeigt, nicht jedoch bei gesunden Erwachsenen. Die Autoren schlussfolgerten, dass sich aufgrund der geringen Stichprobengrößen und methodischen Limitationen der Primärstudien keine Empfehlungen zur klinischen Anwendung der WBV machen ließen, und fordern die Planung und Durchführung qualitativ hochwertiger randomisierter Studien.

Eine klinisch relevante Wirkung von WBV auf die Knochendichte von älteren Männern und Frauen mit Osteopenie konnte in zwei später veröffentlichten hochwertigen randomisierten Studien nicht bestätigt werden. Slatkovska et al. (2011) untersuchten die Effekt einer niedrigintensiven (0,3 g) WBV auf die Knochenmineraldichte an der Tibia, der Hüfte und Wirbelsäule bei postmenopausalen Frauen. Insgesamt 202 Frauen im Alter von 60 Jahren (Range: 44 bis 79 Jahre) wurden per Randomisierung auf zwei Experimentalgruppen (30 Hz WBV und 90 Hz WBV)

und eine Kontrollgruppe ohne Intervention zugeteilt. Die Probandinnen der WBV-Gruppen standen täglich für 20 Minuten auf der Vibrationsplatte. Nach 12 Monaten zeigten sich keine Unterschiede in der Knochenmineraldichte zwischen den drei Untersuchungsgruppen. Auch Kiel et al. (2015) fanden in ihrer Studie an 174 Frauen und Männern im Alter von 82 Jahren (Spannweite: 65 bis 102 Jahre) keine Effekte eines täglichen WBV-Trainings (0,3 g bei 37 Hz) auf die Knochendichte der Hüfte und Wirbelsäule im Vergleich zu Placebo.

WBV und neurodegenerative Erkrankungen

Sitjā Rabert et al. (2012) untersuchten in ihrem Cochrane Review die Wirksamkeit von WBV bei Personen mit neurodegenerativen Erkrankungen (z. B. Alzheimer, Parkinson, Multiple Sklerose, Amyotrophe Lateralsklerose (ALS)) im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Intervention oder anderen Trainingsmaßnahmen (z. B. Gleichgewichtstraining, Walking, Krafttraining). Berücksichtigt wurden randomisierte Studien, die immediate und chronische Effekte auf Alltagsfunktionen (engl. »activities of daily living«; ADL), krankheitsspezifische Symptome, Gleichgewichtsfähigkeit, Gang, Muskelkraft und Lebensqualität untersuchten. Eingeschlossen wurden 10 Studien mit insgesamt 298 Studienteilnehmern mit Parkinson (6 Studien; n=236) und Multipler Sklerose (4 Studien; n=62). Die methodische Qualität der Studien war insgesamt niedrig. Personen mit Parkinson waren im Durchschnitt 68 Jahre alt und Personen mit Multipler Sklerose 49 Jahre. Verwendet wurden Vibrationsplattformen, die sinusförmige Oszillationen in vertikaler Ebene (Frequenz: 20–50 Hz; Amplitude 2,5 mm) oder horizontaler Ebene (Frequenz: 2–26 Hz; Amplitude 6–14 mm) oder stochastische Schwingungsmuster in vertikaler und horizontaler Ebene (Frequenz: bis 6 Hz; Amplitude 3 mm) erzeugten. Die Dauer pro Trainingseinheit lag zwischen 30 Sekunden und 16,5 Minuten.

Die Ergebnisse der Metaanalyse von 2 Studien bei Parkinsonpatienten (n=45) zeigten eine signifikante Verbesserung der Leistung beim Timed Up and Go test (Gleichgewicht, Mobilität) nach einmaligem WBV-Treatment (Stehen auf der Vibrationsplatte) im Vergleich zur Kontrollgruppe (Stehen auf der Vibrationsplatte ohne WBV) (WMD -3,09 Sekunden; 95 % KI -5,60 – -0,59). Ein längerfristiges WBV-Training ergab keine Veränderungen der parkinsonspezifischen Symptome (Unified Parkinson Disease Rating Scale; UPDRS) oder Gleichgewichtsfähigkeit. Bei Personen mit Multipler Sklerose fanden sich weder kurz- noch langfristige Veränderungen der Gleichgewichtsfähigkeit, Muskelkraft oder Lebensqualität.

Die Autoren schlussfolgerten, dass es keine ausreichende Evidenz für die Wirksamkeit von WBV bei Patienten mit Parkinson oder Multipler Sklerose gibt.

Fazit

Die zitierte Literatur deutet auf einen möglichen Nutzen der WBV zur Steigerung der Beinkraft bei älteren Personen und zur Steigerung der Sprungleistung bei jüngeren und älteren Personen hin. Für ältere und insbesondere gebrechliche Personen könnte die WBV eine Trainingsoption zur Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit und Alltagsmobilität darstellen. Leider fehlen Vergleiche mit konventionellem Gleichgewichtstraining, so dass Aussagen im Hinblick auf die relative Wirksamkeit beider Trainingsverfahren nicht möglich sind. Unklar bleibt auch, ob sich durch das WBV Stürze bei älteren Menschen verhindern lassen. Zielgruppenspezifische Empfehlungen (Freizeit- und Leistungssportler, Senioren) zum WBV-Training hinsichtlich optimaler Vibrationsparameter und Belastungsnormativa lassen sich aufgrund der substantiellen Heterogenität der untersuchten Stichproben und Trainingsprogramme nicht ableiten. Auch müssen die relativ kleinen Stichprobenumfänge bei der Beurteilung der Evidenz berücksichtigt werden. Die Wirksamkeit von WBV bei Patienten mit Parkinson oder Multipler Sklerose ist nicht ausreichend nachgewiesen, um eine definitive Empfehlung abzugeben. Die Annahme, dass WBV die Knochendichte älterer Personen positiv beeinflussen könnte, ist empirisch nicht belegt.

Literatur

- American College of Sports Medicine (2009) Position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 41: 687–708
- American College of Sports Medicine, Thompson WR, Gordon NF, Pescatello LS (2010) ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, 8th ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
- Arampatzis A, Peper A, Bierbaum S (2011) Exercise of mechanisms for dynamic stability control increases stability performance in the elderly. *Journal of Biomechanics* 44: 52–58
- Arstikaitis P, El-Husseini (2009) A Synapse Formation: Neuromuscular Junction Versus Central Nervous System. In: Binder MD, Hirokawa N, Windhorst U (eds) *Encyclopedia of Neuroscience*. Springer Berlin Heidelberg, pp 3983–3944
- Baar K (2014) Using molecular biology to maximize concurrent training. *Sports Medicine* 44: S117–25
- Bacabac RG, Smit TH, Van Loon JJ, Doulabi BZ, Helder M, Klein-Nulend J (2006) Bone cell responses to high-frequency vibration stress: does the nucleus oscillate within the cytoplasm? *FASEB J* 20: 858–864
- Banzer W, Pfeifer K, Vogt L (2004) Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin: Mit 20 Tabellen. Springer, Berlin Heidelberg
- Barnes KR, Kilding AE (2015) Strategies to improve running economy. *Sports Medicine* 45: 37–56
- Barz M, Huonker M (2010) Sporttherapie – Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung. *Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie* 26: 209–215
- Bax L, Staes F, Verhagen A (2005) Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med* 35: 191–212

- Behara B, Jacobson BH (2015) Acute Effects of Deep Tissue Foam Rolling and Dynamic Stretching on Muscular Strength, Power, and Flexibility in Division I Linemen. *J Strength Cond Res* [im Druck]
- Behm DG, Blazevich AJ, Kay AD, McHugh M (2015) Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 41: 1–11
- Bell DR, Guskiewicz KM, Clark MA, Padua DA (2011) Systematic review of the balance error scoring system. *Sports Health* 3: 287–295
- Beneke R, Leithäuser RM, Ochental O (2011) Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *Int J Sports Physiol Perform* 6: 8–24
- Bjarnason-Wehrens B, Schulz O, Gielen S, Halle M, Dürsch M, Hambrecht R, Lowis H, Kindermann W, Schulze R, Rauch B (2009) Leitlinie körperliche Aktivität zur Sekundärprävention und Therapie kardiovaskulärer Erkrankungen. *Clinical Research in Cardiology* 4 (S3): 1–44.
- Blickenstorfer A, Kleiser R, Keller T, Keisker B, Meyer M, Riener R, Kollias S (2009) Cortical and subcortical correlates of functional electrical stimulation of wrist extensor and flexor muscles revealed by fMRI. *Hum Brain Mapp* 30: 963–975
- Booth FW, Chakravarthy MV, Gordon SE, Spangenburg EE (2002) Waging war on physical inactivity: using modern molecular ammunition against an ancient enemy. *J Appl Physiol* 93: 3–30
- Borg G (1970) Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 2: 92–98
- Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D, Mujika I (2007) Effects of tapering on performance: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1358–1365
- Bredin SSD, Gledhill N, Jamnik VK, Warburton DER (2013) PAR-Q+ and ePARmed-X+: new risk stratification and physical activity clearance strategy for physicians and patients alike. *Canadian family physician* 59: 273–277
- Brooks GA (2009) Cell-cell and intracellular lactate shuttles. *J Physiol (Lond)* 587: 5591–5600
- Brozman SB, Manske RC, Daugherty K (Eds.) (2011) *Clinical orthopaedic rehabilitation: An evidence-based approach*, 3rd ed. Elsevier Mosby, Philadelphia, PA
- Burd NA, Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, Phillips SM (2012) Bigger weights may not beget bigger muscles: evidence from acute muscle protein synthetic responses after resistance exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 37: 551–554
- Büsching G, Widmer Leu C (2009) *Kardiologie und Pneumologie*, 1st ed. Huber, Bern
- Bushell JE, Dawson SM, Webster MM (2015) Clinical Relevance of Foam Rolling on Hip Extension Angle in a Functional Lunge Position. *J Strength Cond Res* 29: 2397–2403
- Cadore EL, Pinto RS, Bottaro M, Izquierdo M (2014) Strength and endurance training prescription in healthy and frail elderly. *Aging and Disease* 5: 183–195
- Campbell KL, Neil SE, Winters-Stone KM (2012) Review of exercise studies in breast cancer survivors: attention to principles of exercise training. *British Journal of Sports Medicine* 46: 909–916
- Cobley JN, Bartlett JD, Kayani A, Murray SW, Louhelainen J, Donovan T, Waldron S, Gregson W, Burniston JG, Morton JP, Close GL (2012) PGC-1 α transcriptional response and mitochondrial adaptation to acute exercise is maintained in skeletal muscle of sedentary elderly males. *Biogerontology* 13: 621–631
- Comfort P, Abrahamson E (2010) *Sports Rehabilitation and Injury Prevention*. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken
- Cormie P, McGuigan MR, Newton RU (2011) Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Medicine* 41: 17–38
- Costantino C, Gimigliano R, Olvirri S, Gimigliano F (2014) Whole body vibration in sport: a critical review. *J Sports Med Phys Fitness* 54: 757–764
- Coudert J, Van Praagh E (2000) Endurance exercise training in the elderly: effects on cardiovascular function. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 3: 479–83
- Crane JD, Ogborn DI, Cupido C, Melov S, Hubbard A, Bourgeois JM, Tarnopolsky MA (2012) Massage Therapy Attenuates Inflammatory Signaling After Exercise-Induced Muscle Damage. *Sci Transl Med* 4: 119ra13–119ra13
- Decoster LC, Cleland J, Altieri C, Russell P (2005) The effects of hamstring stretching on range of motion: a systematic literature review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 35: 377–387
- Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (2007) S 1 - Leitlinie Vorsorgeuntersuchung im Sport. www.dgsp.de/_downloads/allgemein/S1_Leitlinie.pdf. Accessed 1 July 2014
- Diemer F, Sutor V (2011) *Praxis der medizinischen Trainingstherapie*, 2nd ed. Thieme, Stuttgart
- Donath L, Faude O, Bopp M, Zahner L (2015) Grundlagen gesundheitsorientierten Krafttrainings im Alter: Ziele und Umsetzung. *Therapeutische Umschau*. 72: 335–342
- Dunn AL, Marcus BH, Kampert JB, Garcia ME, Kohl HW 3rd, Blair SN (1999) Comparison of lifestyle and structured interventions to increase physical activity and cardiorespiratory fitness: a randomized trial. *JAMA* 281: 327–334
- Fernandes IA, Kawchuk G, Bhamhani Y, Gomes PSC (2013) Does whole-body vibration acutely improve power performance via increased short latency stretch reflex response? *J Sci Med Sport* 16: 360–364
- Freriks B, Hermens HJ (2000) European recommendations for surface electromyography: Results of the SENIAM project; Biomedical and health research program, Biomed II Project (PL: 950424) sponsored by the European Union. Roessingh Research and Development b.v, Enschede
- Fröhlich M (2012) Überlegungen zur Trainingswissenschaft. *Sportwissenschaft* 42: 96–104
- Fry CS, Rasmussen BB (2011) Skeletal muscle protein balance and metabolism in the elderly. *Curr Aging Sci* 4: 260–268.
- Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee I, Nieman DC, Swain DP (2011) American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 43: 1334–1359
- Gemeinsamer Bundesausschuss (2011) Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses über die Verordnung von Heilmitteln in der vertragsärztlichen Versorgung. Online verfügbar unter <http://www.g-ba.de/informationen/richtlinien/12/> zuletzt geprüft am 07.01.2016.
- George JD, Stone WJ, Burkett LN (1997) Non-exercise VO₂max estimation for physically active college students. *Med Sci Sports Exerc* 29: 415–423
- Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA (2012) Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of Physiology* 590: 1077–1084
- Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, Chaitman BR, Fletcher GF, Froelicher VF, Mark DB, McCallister BD, Mooss AN, O'Reilly MG, Winters WL, Antman EM, Alpert JS, Faxon DP, Fuster V, Gregoratos G, Hiratzka LF, Jacobs AK, Russell RO, Smith SC (2002) ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation* 106: 1883–1892

- Giggins O, Fullen B, Coughlan G (2012) Neuromuscular electrical stimulation in the treatment of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil* 26: 867–881
- Gillen JB, Gibala MJ (2014) Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 39: 409–412
- Gondin J, Brocca L, Bellinzona E, D'Antona G, Maffiuletti NA, Miotti D, Pellegrino MA, Bottinelli R (2011) Neuromuscular electrical stimulation training induces atypical adaptations of the human skeletal muscle phenotype: a functional and proteomic analysis. *J Appl Physiol* 110: 433–450
- Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A (2005) Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Med Sci Sports Exerc* 37: 1291–1299
- Granacher U, Muehlbauer T, Zahner L, Gollhofer A, Kressig RW (2011) Comparison of traditional and recent approaches in the promotion of balance and strength in older adults. *Sports Medicine* 41: 377–400
- Gribble PA, Hertel J, Plisky P (2012) Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of Athletic Training* 47: 339–357
- Guadalupe-Grau A, Fuentes T, Guerra B, Calbet JAL (2009) Exercise and bone mass in adults. *Sports Medicine* 39: 439–468
- Güllich A, Schmidtbleicher D (1999) Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Dtsch Z Sportmed* 50: 223–234
- Hatori K, Camargos G V., Chatterjee M, Faot F, Sasaki K, Duyck J, Vandamme K (2015) Single and combined effect of high-frequency loading and bisphosphonate treatment on the bone micro-architecture of ovariectomized rats. *Osteoporos Int* 26: 303–313
- Healey KC, Hatfield DL, Blanpied P, Dorfman LR, Riebe D (2014) The effects of myofascial release with foam rolling on performance. *J Strength Cond Res* 28: 61–68
- Heitkamp HC (2015) Training with blood flow restriction. Mechanisms, gain in strength and safety. *J Sports Med Phys Fitness* 55: 446–456
- Herbert RD, Noronha M de, Kamper SJ (2011) Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise. *The Cochrane database of systematic reviews*: CD004577
- Hohmann A, Lames M, Letzelter M (2010) Einführung in die Trainingswissenschaft, 5th ed. Limpert, Wiebelsheim
- Hollmann W, Hettinger T (2000) Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin ; mit 101 Tabellen, 4th ed. Schattauer, Stuttgart
- Hortobágyi T, Maffiuletti NA (2011) Neural adaptations to electrical stimulation strength training. *Eur J Appl Physiol* 111: 2439–49
- Hoover DL, VanWye WR, Judge LW (2015) Periodization and physical therapy: Bridging the gap between training and rehabilitation. *Physical therapy in Sport* 18: 1–20
- Horak FB, Wrisley DM, Frank J (2009) The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to differentiate balance deficits. *Physical Therapy* 89: 484–498
- Hottenrott K, Neumann G (2010) Trainingswissenschaft: Ein Lehrbuch in 14 Lektionen. Meyer & Meyer, Aachen
- Howe TE, Rochester L, Neil F, Skelton DA, Ballinger C (2011) Exercise for improving balance in older people. *The Cochrane database of systematic reviews*: CD004963
- Huang G, Wang R, Chen P, Huang SC, Donnelly JE, Mehlferber JP (2015) Dose-response relationship of cardiorespiratory fitness adaptation to controlled endurance training in sedentary older adults. *European Journal of Preventive Cardiology* 23: 518–29
- Hübscher M, Zech A, Pfeifer K, Hänsel F, Vogt L, Banzer W (2010) Neuromuscular training for sports injury prevention: a systematic review. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 42: 413–421
- Illarraz H, Myers J, Kottman W, Rickli H, Dubach P (2004) An evaluation of training responses using self-regulation in a residential rehabilitation program. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation* 24: 27–33.
- Isner-Horobeti M, Dufour SP, Vautravers P, Geny B, Coudeyre E, Richard R (2013) Eccentric exercise training: modalities, applications and perspectives. *Sports Medicine* 43: 483–512
- Jubeau M, Zory R, Gondin J, Martin A, Maffiuletti NA (2006) Late neural adaptations to electrostimulation resistance training of the plantar flexor muscles. *Eur J Appl Physiol* 98: 202–211
- Junker D, Stöggl T (2015) The foam roll as a tool to improve hamstring flexibility. *J Strength Cond Res* 29: 3480–3485
- Kallerud H, Gleeson N (2013) Effects of stretching on performances involving stretch-shortening cycles. *Sports Medicine* 43: 733–750
- Kay AD, Blazeovich AJ (2012) Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: a systematic review. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 44: 154–164
- Keogh JWL, Morrison S, Barrett R (2010) Strength and coordination training are both effective in reducing the postural tremor amplitude of older adults. *Journal of Aging and Physical Activity* 18: 43–60
- Kemmler W, Von Stengel S, Schwarz J, Mayhew JL (2012) Effect of whole-body electromyostimulation on energy expenditure during exercise. *J Strength Cond Res* 26: 240–245
- Kesaniemi YK, Danforth E, Jensen MD, Kopelman PG, Lefebvre P, Reeder BA (2001) Dose-response issues concerning physical activity and health: an evidence-based symposium. *Med Sci Sports Exerc* 33: S351–8
- Kiel DP, Hannan MT, Barton B a., Boussein ML, Sisson E, Lang T, Allaire B, Dewkett D, Carroll D, Magaziner J, Shane E, Leary ET, Zimmerman S, Rubin CT (2015) Low Magnitude Mechanical Stimulation to Improve Bone Density in Persons of Advanced Age: A Randomized, Placebo-Controlled Trial. *J Bone Miner Res* 30: 1319–1328
- Kim K-M, Croy T, Hertel J, Saliba S (2010) Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction on Quadriceps Strength, Function, and Patient-Oriented Outcomes: A Systematic Review. *J Orthop Sport Phys Ther* 40: 383–391
- Knowles A, Herbert P, Easton C, Sculthorpe N, Grace FM (2015) Impact of low-volume, high-intensity interval training on maximal aerobic capacity, health-related quality of life and motivation to exercise in ageing men. *Age (Dordrecht, Netherlands)* 37: 25
- Kruse LM, Gray B, Wright RW (2012) Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 94: 1737–1748
- Lam FMH, Lau RWK, Chung RCK, Pang MYC (2012) The effect of whole body vibration on balance, mobility and falls in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Maturitas* 72: 206–213
- Landessportbund Nordrhein-Westfalen (2007) Sportmedizinische Aspekte im Breitensport und im gesundheitsorientierten Sport: Stellungnahmen und Positionspapiere der Stellungnahmen und Positionspapiere der Sportärztebünde Nordrhein und Westfalen und des LandesSportBundes Nordrhein-Westfalen. LSB Nordrhein-Westfalen, Duisburg
- LaRoche DP, Roy SJ, Knight CA, Dickie JL (2008) Elderly women have blunted response to resistance training despite reduced antagonist coactivation. *Med Sci Sports Exerc* 40: 1660–1668
- Lauersen JB, Bertelsen DM, Andersen LB (2014) The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine* 48: 871–877
- Lawrenson L, Hoff J, Richardson RS (2004) Aging attenuates vascular and metabolic plasticity but does not limit improvement in muscle VO(2) max. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 286: H1565–1572

- Lee I (2007) Dose-response relation between physical activity and fitness: even a little is good; more is better. *JAMA* 297: 2137–2139
- Lesinski M, Hortobágyi T, Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U (2015) Effects of Balance Training on Balance Performance in Healthy Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine* 45: 1721–1738
- Lixandráo ME, Ugrinowitsch C, Laurentino G, Libardi CA, Aihara AY, Cardoso FN, Tricoli V, Roschel H (2015) Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *Eur J Appl Physiol* 115: 2471–2480
- Loenneke JP, Wilson JM, Marin PJ, Zourdos MC, Bemben MG (2012) Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol* 112: 1849–1859
- Macdonald GZ, Button DC, Drinkwater EJ, Behm DG (2014) Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 46: 131–142
- MacDonald GZ, Penney MDH, Mullaley ME, Cuconato AL, Drake CDJ, Behm DG, Button DC (2013) An acute bout of self-myofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or force. *J Strength Cond Res* 27: 812–821
- Malone JK, Blake C, Caulfield BM (2014) Neuromuscular electrical stimulation during recovery from exercise: a systematic review. *J Strength Cond Res* 28: 2478–2506
- Mansfield A, Wong JS, Bryce J, Knorr S, Patterson KK (2015) Does perturbation-based balance training prevent falls? Systematic review and meta-analysis of preliminary randomized controlled trials. *Physical Therapy* 95: 700–709
- Martin D, Carl K, Lehnertz K (1993) *Handbuch Trainingslehre*. Hofmann, Schorndorf
- Matsuo S, Suzuki S, Iwata M, Banno Y, Asai Y, Tsuchida W, Inoue T (2013) Acute effects of different stretching durations on passive torque, mobility, and isometric muscle force. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27: 3367–3376
- Mauntel TC, Clark M a., Padua D a. (2014) Effectiveness of Myofascial Release Therapies on Physical Performance Measurements: A Systematic Review. *Athl Train Sport Heal Care* 6: 189–196
- Mayer F, Scharhag-Rosenberger F, Carlsohn A, Cassel M, Müller S, Scharhag J (2011) The intensity and effects of strength training in the elderly. *Dtsch Arztebl Int* 108: 359–364
- Mayhew DL, Kim JS, Cross JM, Ferrando AA, Bamman MM (2009) Translational signaling responses preceding resistance training-mediated myofiber hypertrophy in young and old humans. *J Appl Physiol* 107: 1655–1662
- McCall A, Carling C, Nedelec M, Davison M, Le Gall F, Berthoin S, Dupont G (2014) Risk factors, testing and preventative strategies for non-contact injuries in professional football: current perceptions and practices of 44 teams from various premier leagues. *British Journal of Sports Medicine* 48: 1352–1357
- Meyer K, Samek L, Schwaibold M, Westbrook S, Hajric R, Beneke R, Lehmann M, Roskamm H (1997) Interval training in patients with severe chronic heart failure: analysis and recommendations for exercise procedures. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29: 306–312
- Mezzani A, Hamm LF, Jones AM, McBride PE, Moholdt T, Stone JA, Urhausen A, Williams MA (2012) Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitation: a joint position statement of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation, and the Canadian Association of Cardiac Rehabilitation. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention* 32: 327–350
- Milanović Z, Sporiš G, Weston M (2015) Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO2max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Medicine* 45: 1469–1481
- Morton JP, Kayani AC, McArdle A, Drust B (2009) The exercise-induced stress response of skeletal muscle, with specific emphasis on humans. *Sports Medicine* 39: 643–662
- Mujika, I. (Ed.) (2012) *Endurance Training - Scientific Principles and Practical Aspects*. Iñigo Mujika S.L.U.
- Myer GD, Paterno MV, Ford KR, Hewett TE (2008) Neuromuscular training techniques to target deficits before return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22: 987–1014
- Nascimento LR, Michaelsen SM, Ada L, Polese JC, Teixeira-Salmela LF (2014) Cyclical electrical stimulation increases strength and improves activity after stroke: a systematic review. *J Physiother* 60: 22–30
- Neumaier A (2006) *Koordinatives Anforderungsprofil und Koordinationstraining: Grundlagen, Analyse, Methodik*, 3rd ed. Sportverlag Strauß, Köln
- Nordlund MM, Thorstensson A (2006) Strength training effects of whole-body vibration? *Scand J Med Sci Sport* 17: 12–17
- Nussbaumer S, Leunig M, Glatthorn JF, Stauffacher S, Gerber H, Maffiuletti NA (2010) Validity and test-retest reliability of manual goniometers for measuring passive hip range of motion in femoroacetabular impingement patients. *BMC Musculoskeletal Disorders* 11: 194
- Oesch P (2011) *Bewegungsapparat: [mit CD-ROM]*, 2nd ed. Huber, Bern
- de Oliveira Melo M, Aragão FA, Vaz MA (2013) Neuromuscular electrical stimulation for muscle strengthening in elderly with knee osteoarthritis – A systematic review. *Complement Ther Clin Pract* 19: 27–31
- Olivier N (2001) Eine Beanspruchungstheorie sportlichen Trainings und Wettkampfs. *Sportwissenschaft* 31: 437–453
- Opdenacker J, Boen F, Coorevits N, Delecluse C (2008) Effectiveness of a lifestyle intervention and a structured exercise intervention in older adults. *Prev Med* 46: 518–524
- Osawa Y, Oguma Y, Ishii N (2013) The effects of whole-body vibration on muscle strength and power: a meta-analysis. *J Musculoskeletal Neuronal Interact* 13: 380–390
- Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett WE, Beutler AI (2009) The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *The American Journal of Sports Medicine* 37: 1996–2002
- Pan L, Guo Y, Liu X, Yan J (2014) Lack of efficacy of neuromuscular electrical stimulation of the lower limbs in chronic obstructive pulmonary disease patients: A meta-analysis. *Respirology* 19: 22–29
- Pearcey GEP, Bradbury-Squires DJ, Kawamoto J-E, Drinkwater EJ, Behm DG, Button DC (2015) Foam Rolling for Delayed-Onset Muscle Soreness and Recovery of Dynamic Performance Measures. *J Athl Train* 50: 5–13
- Pearson SJ, Hussain SR (2015) A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine* 45: 187–200
- Pedersen BK (2011) Exercise-induced myokines and their role in chronic diseases. *Brain Behav Immun* 25: 811–816
- Petersen J, Hölmich P (2005) Evidence based prevention of hamstring injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine* 39: 319–323
- Peterson MD, Rhea MR, Alvar BA (2004) Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18: 377–382

- Pfeifer K, Sudeck G, Brüggemann S, Huber G (2010) DGRW-Update: Bewegungstherapie in der medizinischen Rehabilitation – Wirkungen, Qualität, Perspektiven. *Rehabilitation* 49: 224–236
- Pfeifer K, Vogt L, Banzer W (2003) Standards der Sportmedizin: Kinesiologische Elektromyographie (EMG). *Dtsch Z Sportmed* 54: 331–332
- Pfeiffer M, Hohmann A (2012) Applications of neural networks in training science. *Hum Mov Sci* 31: 344–359
- Prior M, Guerin M, Grimmer K (2009) An evidence-based approach to hamstring strain injury: a systematic review of the literature. *Sports Health* 1: 154–164
- Prisby RD, Lafage-Proust M-H, Malaval L, Belli A, Vico L (2008) Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: what we know and what we need to know. *Ageing Res Rev* 7: 319–329
- Quintner JL, Bove GM, Cohen ML (2014) A critical evaluation of the trigger point phenomenon. *Rheumatology* 392–399
- Radaelli R, Fleck SJ, Leite T, Leite RD, Pinto RS, Fernandes L, Simão R (2015) Dose-response of 1, 3, and 5 sets of resistance exercise on strength, local muscular endurance, and hypertrophy. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29: 1349–1358
- Rankinen T, Roth SM, Bray MS, Loos R, Pérusse L, Wolfarth B, Hagberg JM, Bouchard C (2010) Advances in exercise, fitness, and performance genomics. *Med Sci Sports Exerc* 42: 835–846
- Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD (2003) A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35: 456–464
- Ritzmann R, Gollhofer A, Kramer A (2013) The influence of vibration type, frequency, body position and additional load on the neuromuscular activity during whole body vibration. *Eur J Appl Physiol* 113: 1–11
- Ritzmann R, Kramer A, Bernhardt S, Gollhofer A (2014) Whole Body Vibration Training - Improving Balance Control and Muscle Endurance. *PLoS One* 9 (2): e89905
- Ritzmann R, Kramer A, Gollhofer A, Taube W (2013) The effect of whole body vibration on the H-reflex, the stretch reflex, and the short-latency response during hopping. *Scand J Med Sci Sport* 23: 331–339
- Rognmo Ø, Hetland E, Helgerud J, Hoff J, Slørdahl SA (2004) High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation* 11: 216–222
- Rohmert W, Rutenfranz J (1975) Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen Arbeitsplätzen. Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn
- Rowlands DS, Thomson JS, Timmons BW et al. (2011) Transcriptome and translational signaling following endurance exercise in trained skeletal muscle: impact of dietary protein. *Physiol Genomics* 43: 1004–1020
- Sarabon N, Panjan A, Rosker J, Fonda B (2013) Functional and neuromuscular changes in the hamstrings after drop jumps and leg curls. *Journal of Sports Science & Medicine* 12: 431–438
- Sasaki H, Kasagi F, Yamada M, Fujita S (2007) Grip strength predicts cause-specific mortality in middle-aged and elderly persons. *The American Journal of Medicine* 120: 337–342
- Sbruzzi G, Ribeiro R, Schaan BD, Signori LU, Silva AM V, Irigoyen MC, Plentz RD (2010) Functional electrical stimulation in the treatment of patients with chronic heart failure: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 17: 254–260
- Schabrun SM, Ridding MC, Galea MP, Hodges PW, Chipchase LS (2012) Primary sensory and motor cortex excitability are co-modulated in response to peripheral electrical nerve stimulation. *PLoS One* 7: e51298.
- Scharhag-Rosenberger F, Becker T, Streckmann F, Schmidt K, et al. (2014) Studien zu körperlichem Training bei onkologischen Patienten: Empfehlungen zu den Erhebungsmethoden. *Dtsch Z Sportmed* 65: 304–313
- Scharhag-Rosenberger F, Meyer T, Gässler N, Faude O, Kindermann W (2010) Exercise at given percentages of VO₂max: heterogeneous metabolic responses between individuals. *J Sci Med Sport* 13: 74–79
- Schleip R (2003) Fascial plasticity - A new neurobiological explanation. Part 2. *J Bodyw Mov Ther* 7: 104–116
- Schleip R, Jäger H, Klingler W (2012) What is »fascia«? A review of different nomenclatures. *J Bodyw Mov Ther* 16: 496–502
- Schlicht W (1992) Das sportliche Training: Überlegungen auf dem Wege zu einem integrierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Janssen JP, Schlicht W, Rieckert H, Carl K (Eds.), *Belastung und Beanspruchung*. Strauß: Köln
- Schlumberger A, Schmidtbleicher D (2000) Grundlagen der Kraftdiagnostik in Prävention und Rehabilitation. *Manuelle Medizin* 38: 223–231
- Schmidt K, Vogt L, Thiel C, Jäger E, Banzer W (2013) Validity of the six-minute walk test in cancer patients. *Int J Sports Med* 34: 631–636
- Schnabel G, Harre D, Borde A (1994) Trainingswissenschaft. Sportverlag, Berlin
- Schroeder AN, Best TM (2015) Is Self Myofascial Release an Effective Preexercise and Recovery Strategy? A Literature Review. *Curr Sports Med Rep* 14: 200–208
- Shrier I (2005) When and whom to stretch? Gauging the benefits and drawbacks for individual patients. *The Physician and Sports-medicine* 33: 22–26
- Silva NL, Oliveira RB, Fleck SJ, Leon, Antonio C M P, Farinatti P (2014) Influence of strength training variables on strength gains in adults over 55 years-old: a meta-analysis of dose-response relationships. *Journal of Science and Medicine in Sport* 17: 337–344
- Simic L, Sarabon N, Markovic G (2013) Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 23: 131–148
- Simons DG (1997) Triggerpunkte und Myogelose. *Man Medizin* 35: 290–294
- Sitjā Rabert M, Rigau Comas D, Fort Vanmeerhaeghe A, Santoyo Medina C, Roqué i Figuls M, Romero-Rodríguez D, Bonfill Cosp X (2012) Whole-body vibration training for patients with neurodegenerative disease. *Cochrane Database Syst Rev* 2: 2–4
- Slatkovska L, Alibhai SMH, Beyene J, Cheung AM (2010) Effect of whole-body vibration on BMD: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int* 21: 1969–1980
- Slatkovska L, Alibhai SMH, Beyene J, Hu HX, Demaras A, Cheung AM (2011) Effect of 12 Months of Whole-Body Vibration Therapy on Bone Density and Structure in Postmenopausal Women A Randomized Trial. *Ann Intern Med* 155: 668–679
- Sloth M, Sloth D, Overgaard K, Dalgas U (2013) Effects of sprint interval training on VO₂max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 23: e341–52
- Slysz J, Stultz J, Burr JF (2015) The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2015.09.005>
- Stahn A, Terblanche E, Grunert S, Strobel G (2006) Estimation of maximal oxygen uptake by bioelectrical impedance analysis. *Eur J Appl Physiol* 96: 265–273

- Steib S, Schoene D, Pfeifer K (2010) Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 42: 902–914
- Steinhöfer D (2008) *Athletiktraining im Sportspiel: Theorie und Praxis zu Kondition, Koordination und Trainingssteuerung*. Philippka-Sportverlag, Münster
- Sudeck G, Pfeifer K (2016) Physical Activity-related Health Competence as an Integrative Objective in Exercise Therapy and Health Sports – Conception and Validation of a Short Questionnaire. *Sportwissenschaft* 46 [im Druck]
- Swain DP (2014) ACSM's resource manual for Guidelines for exercise testing and prescription, 7th ed. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
- Takano H, Morita T, Iida H, Asada K, Kato M, Uno K, Hirose K, Matsumoto A, Takenaka K, Hirata Y, Eto F, Nagai R, Sato Y, Nakajima T (2005) Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol* 95: 65–73
- Thiel C, Vogt L, Banzer W (2012) Narrative Übersicht zur Bewegungsdosis in Prävention und Therapie. *Bewegungstherapie & Gesundheitssport* 28: 43–46
- Timmons JA (2011) Variability in training-induced skeletal muscle adaptation. *J Appl Physiol* 110: 846–853
- Tough E, White AR, Richards S, Campbell J (2007) Variability of criteria used to diagnose myofascial trigger point pain syndrome—evidence from a review of the literature. *Clin J Pain* 23: 278–286
- Trudelle-Jackson E, Leonard D, Morrow JR (2014) Musculoskeletal risk factors as predictors of injury in community-dwelling women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 46: 1752–1757
- Tschene P (2006) Streit um die Superkompensation. *Leistungssport* 18: 5–15
- Tulder MW van, Assendelft WJ, Koes BW, Bouter LM (1997) Method guidelines for systematic reviews in the Cochrane Collaboration Back Review Group for Spinal Disorders. *Spine* 22: 2323–2330
- Vanderthommen M, Duchateau J (2007) Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system. *Exerc Sport Sci Rev* 35: 180–185
- Vanderthommen M, Duteil S, Wary C, Raynaud JS, Leroy-Willig A, Crielaard JM, (2003) A comparison of voluntary and electrically induced contractions by interleaved 1H- and 31P-NMRS in humans. *J Appl Physiol* 94: 1012–1024
- Vanderthommen M, Gilles R, Carlier P, Ciancabilla F, Zahlan O, Sluse F, Crielaard JM (1999) Human muscle energetics during voluntary and electrically induced isometric contractions as measured by 31P NMR spectroscopy. *Int J Sports Med* 20: 279–283
- Wang X, Pi Y, Chen P, Liu Y, Wang R, Chan C (2015) Cognitive motor interference for preventing falls in older adults: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Age and Ageing* 44: 205–212
- Weerapong P, Hume P, Kolt GS (2005) The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Med* 35: 235–256
- Weineck J (2000) *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*, 12th ed. Spitta, Balingen
- Wernbom M, Järrebring R, Andreasson MA, Augustsson J (2009) Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23: 2389–2395
- Wernbom M, Apro W, Paulsen G, Nilsen TS, Blomstrand E, Raastad T (2013) Acute low-load resistance exercise with and without blood flow restriction increased protein signalling and number of satellite cells in human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* 113: 2953–2965
- West DWD, Phillips SM (2012) Associations of exercise-induced hormone profiles and gains in strength and hypertrophy in a large cohort after weight training. *Eur J Appl Physiol* 112: 2693–2702
- Weston M, Taylor KL, Batterham AM, Hopkins WG (2014) Effects of low-volume high-intensity interval training (HIT) on fitness in adults: a meta-analysis of controlled and non-controlled trials. *Sports Medicine* 44: 1005–1017
- Wilke J, Vogt L, Niederer D, Hübscher M, Rothmayr J, Ivkovic D, Rickert M, Banzer W (2014) Short-term effects of acupuncture and stretching on myofascial trigger point pain of the neck: A blinded, placebo-controlled RCT. *Complement. Ther Med* 22: 835–841
- Woods C, Hawkins R, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A (2004) The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *British Journal of Sports Medicine* 38: 36–41
- Wysocki A, Butler M, Shamliyan T, Kane RR (2011) Whole-Body Vibration Therapy for Osteoporosis: State of the Science. *Ann Intern Med* 155: 680–686
- Zaciorskij VM, Kraemer WJ (2008) *Krafttraining: Praxis und Wissenschaft*, 3rd ed. Meyer & Meyer, Aachen

Körperliche Aktivität und Gesundheit
Präventive und therapeutische Ansätze der
Bewegungs- und Sportmedizin
Banzer, W. (Hrsg.)
2017, XXIV, 435 S., Hardcover
ISBN: 978-3-662-50334-8