

Progressionen in der muskuloskelettalen Rehabilitation

Frank Diemer

Nach Muskel- und Bandverletzungen oder Knochenbrüchen hängt in der Rehabilitation viel davon ab, dass die Belastung adäquat gesteigert wird. Die Kontrolle bestimmter klinischer und funktioneller Parameter hilft dabei, die richtigen Entscheidungen zu treffen.

Einführung

Trotz intensiver Forschung ist die Nachbehandlung von vielen muskuloskelettalen Beschwerdebildern nach wie vor nicht einheitlich geregelt. Die Orientierung in der Rehabilitation fällt daher schwer, und Fragestellungen wie „Wann darf ich was?“ („Dos and Don'ts“) sind selten eindeutig zu beantworten. Dieses Vakuum führt häufig zu einem einfachen, pragmatischen Ansatz. Die Belastung wird progressiv im Einklang mit der klinischen Reaktion des Patienten gesteigert. Die Umsetzung erscheint zunächst banal. Ist sie aber nicht. Die Planung und Anwendung einer sinnvollen Progression erfordert ein breites Grundlagenwissen im Bereich Bindegewebsphysiologie, Pathophysiologie betroffener Strukturen, Wundheilungsprozesse, Biomechanik und Trainingslehre. Dieser Beitrag erörtert Hintergründe, Definitionen und grundlegende Ziele von Progressionen und soll dabei helfen, klare Entscheidungen zu treffen. Bewährte Beispiele runden den Artikel ab.

Hintergrund

Grundsätzlich wird die Rehabilitation durch zeitliche, klinische und funktionelle Parameter gesteuert. In der Historie stand bzw. steht häufig auch heute noch die Zeit im Vordergrund. Hierbei werden bestimmte Funktionen oder Aktivitäten nach einem definierten Zeitintervall erlaubt (z. B. Beginn der Mobilisation der Schulteraußenrotation ab der 4. Woche nach einer Bankart-Operation, Joggen nach einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes nach 3 Monaten) [1][54]. Ein solcher Ansatz kann durchaus begründet sein. Ein zeitbasiertes Schema hat insbesondere dann eine Bedeutung, wenn es sich an einer verringerten Belastung traumatisierter Strukturen im Rahmen der Wundheilung orientiert. Leider zeigen Übersichtsarbeiten aber, dass bei gleicher Operationsmethode völlig unterschiedliche Vorgaben bestehen [6][11][53][54]. Offensichtlich stehen daher weniger physiologische Prinzipien, sondern

eher persönliche Präferenzen von Ärzten und Therapeuten im Vordergrund.

Darüber hinaus setzen zeitliche Vorgaben voraus, dass alle Patienten eine gleich schnelle bzw. gleich effiziente Heilung betroffener Strukturen aufweisen. Betrachtet man aber die multiplen Einflussfaktoren, so kann man sicherlich selbst bei identischem Schadensbild von unterschiedlichen Zeitintervallen ausgehen [13][14].

Aus diesen Gründen stehen zeitbasierte Nachbehandlungsschemata berechtigterweise in der Kritik. Andererseits wäre eine völlige Abkehr kurzsichtig. So steht beispielsweise eine frühe Partizipation im Sport beim Patienten mit rekonstruiertem vorderem Kreuzband mit einer größeren Anzahl von Rezidiven im Zusammenhang [19]. Nagelli et al. (2017) [39] fassen diesbezüglich diverse biologische Argumente für eine spätere Rückkehr in den Sport zusammen.

Eine Kombination klinischer und funktioneller Kriterien ermöglicht eine Individualisierung der Nachbehandlung innerhalb eines zeitbasierten Schemas. Aktivitäten werden nur dann empfohlen, wenn bestimmte funktionelle Meilensteine bei einem adäquaten klinischen Status erfüllt werden. Am häufigsten wird in diesem Zusammenhang die Rückkehr in den Sport („Return to Sport“, RTS) diskutiert (siehe ► **Tab. 1**).

Um die formulierten Ziele zu erreichen, wird die Belastung sukzessive innerhalb funktioneller Progressionen gesteigert. Der Terminus „funktionell“ umfasst dabei die Leistung in den einzelnen motorischen Hauptbeanspruchungsformen Beweglichkeit, Kraft, Koordination, Ausdauer und Schnelligkeit. Hauptfaktor für die Geschwindigkeit der Progression sind die individuelle Leistungsentwicklung, die Gesetzmäßigkeiten der Trainingslehre und

► **Tab. 1** Checkliste: Klinische und funktionelle Kriterien für die Sportfreigabe nach einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (mod. [1][20][56]).

Klinische Kriterien	Funktionelle Kriterien
<ul style="list-style-type: none"> kein Schmerz keine Schwellung keine Temperaturerhöhung im Seitenvergleich psychologisch stabil (z. B. ACL-RSI) 	<ul style="list-style-type: none"> volles Bewegungsausmaß („Range of Motion“) gute Bewegungsqualität (Gangbild oder Sprungmuster, z. B. LESS) gute posturale Kontrolle (z. B. SEBT) Leistung bei dynamischer Belastung >90% im Seitenvergleich (z. B. EBS) Kraft im Seitenvergleich >90%

LESS: Landing Error Scoring System, SEBT: Star Excursion Balance Test, EBS: Einbeinsprungtest, ACL-RSI: Anterior Cruciate Ligament – Return to Sport after Injury

► **Tab. 2** Checkliste: Ausgewählte Mediatoren/Moderatoren des ACWR-Grenzwerts.

Mediatoren	Moderatoren
<ul style="list-style-type: none"> Schlafgewohnheiten Stress, Ängste, Perfektionismus Ermüdung (neuromuskulär, metabolisch) Herzfrequenzvariabilität Belastungscharakter (Training vs. Wettkampf) 	<ul style="list-style-type: none"> Grundkondition Maximalkraft (komplex/isoliert) Schnelligkeit (z. B. Sprintleistung über 20 m) aerobe Kapazität Alignment (z. B. Skapula-setting)

- Weiterentwicklung: Der Trainierende eignet sich durch systematische Reizsetzung Fähigkeiten im Bereich der motorischen Grundeigenschaften an (z. B. Maximalkraftsteigerung, Sprint- oder Sprungleistung [2][23]).
- Stufenweise Steigerung: Die Gewichtsbelastung wird in der postoperativen Phase innerhalb bestimmter Zeitabstände gesteigert [55][58].

Auf dieser Grundlage wird für diesen Artikel folgende Definition für den Begriff Progression gefasst.

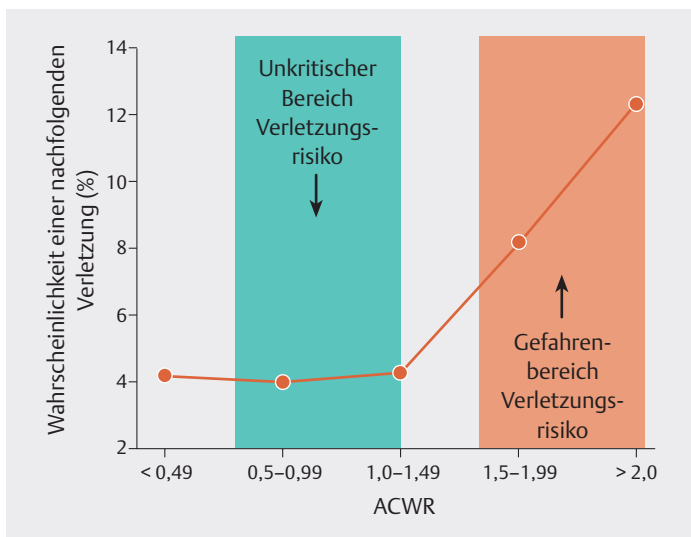
DEFINITION

Progression ist die systematische Steigerung der physischen, psychischen oder biomechanischen Belastung unter Berücksichtigung der physio- und pathophysiologischen Gesetzmäßigkeiten (u. a. Trainings-, Krankheitslehre, Wundheilung).

Ziele

Die Bedeutung von Progressionen wird aktuell in vielen Bereichen der Trainingslehre und der Sportphysiotherapie diskutiert. Dem „Training-Injury Prevention Paradox“ nach Gabbett wird dabei eine besondere Beachtung beigemessen [18]. Dieses Paradoxon besagt, dass weniger die absolute Höhe des Trainingsumfangs die Verletzungsinzidenz steigert, sondern eher das Verhältnis von chronischer (in der Regel über 4 zusammenhängende Wochen ermittelt) und akuter (1 Woche) Trainingsbelastung eine herausragende Rolle spielt („Acute and Chronic Workload Ratio, ACWR“). Liegt das Verhältnis bei 1,0, so gleichen sich die aktuelle und die regelmäßige Trainingsbelastung. Bei Werten > 1 ist die akute Belastung höher, Werte < 1 zeigen eine Reduktion der Trainingsbelastung an.

Diverse Autoren ermitteln bei exzessiven, akuten Steigerungen der Trainingsbelastung (ACWR z. B. > 1,5) eine größere Anzahl von Verletzungen und belegen damit die Relevanz des ACWR (► **Abb. 1**) [4][5][36]. Eine genaue,



► **Abb. 1** Zusammenhang zwischen ACWR und Verletzungsrisiko. (Quelle: Gabbett 2019[17]; grafische Umsetzung: Thieme Gruppe)

die klinische Reaktion der betroffenen Struktur des Trainierenden. Darüber hinaus haben psychosoziale, emotionale, kognitive sowie Kontextfaktoren auch in der postoperativen Nachbehandlung eine immer größere Bedeutung [31][37][47][51].

Begriffsdefinition

In der bildungssprachlichen Anwendung werden für den Begriff Progression die Synonyme *Fortschreiten*, *Weiterentwicklung* oder auch *stufenweise Steigerung* verwendet. Der Übertrag in die Sportphysiotherapie fällt in diesem Kontext leicht:

- Fortschreiten: Der Patient wechselt innerhalb einer kriterienbasierten Rehabilitation von der einen in die nächste Phase [7][25][45].

Schmerz-Intensität (NRS)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wertung	sicher			akzeptabel			riskant				

► **Abb. 2** Pain Monitoring Model (nach [50][52]; grafische Umsetzung: Thieme Gruppe).

für alle Sportler gleich gültige Festsetzung eines ACWR-Grenzwertes ist dennoch schwierig und vermutlich auch für die Zukunft unrealistisch, denn es bestehen eine Reihe von Mediatoren oder Moderatoren. Diese regulieren den zu tolerierenden Grenzwert der absoluten Trainingsbelastung bzw. den ACWR nach unten oder oben und haben so einen gewichtigen Einfluss (siehe ► **Tab. 2**) [17][36][38][59].

Darüber hinaus ist zu beachten, dass eine immer gleichbleibende Trainingsbelastung bzw. ein immer gleichbleibender Anstieg weder der zielgerichteten Vorbereitung auf oder der Regeneration nach einem Wettkampf entsprechen. Belastungsspitzen sind daher genauso alltäglich wie eine geplante Reduktion der Belastung [17]. Die Verwendung des ACWR muss daher im Kontext der Saisonplanung vorgenommen werden und sollte keine eindimensionale Anwendung finden.

Die Ergebnisse aus den genannten Untersuchungen erklären das grundsätzliche Streben nach einer optimalen Progression (in diesem Fall eine optimale Trainingssteuerung). Bestenfalls können dadurch folgende Ziele erreicht werden:

1. maximale physische Leistungssteigerung bei geringstmöglicher chronischer Ermüdung bzw. Erkrankung im Sport
2. maximale psychische Widerstandsfähigkeit im Kontext alltäglicher und sportartspezifischer Anforderung
3. optimale Anpassung und Heilung passiver Strukturen innerhalb der Rehabilitation nach einer Verletzung

Beispiele für Progressionen

Klinische Progression

Unter klinischen Progressionen wird die Steigerung der Belastung oder Trainingsintensität unter Beachtung der Schwellung, der Temperatur oder mittels der Schmerzintensität bzw. des zeitlichen Verlaufs der Schmerzwahrnehmung verstanden.

Schmerz

Der Begriff „Pain Monitoring Model (PMM)“ wurde in diesem Zusammenhang von Roland Thomeé 1997 einge-

bracht und später von G. Silbernagel modifiziert [50][52]. Das PMM klassifiziert die Schmerzintensität bei Übungen in sicher (0–2), akzeptabel (3–5) und in riskant (> 5–10, ► **Abb. 2**). Eine Progression wird nur dann vorgenommen, wenn der Schmerz während der Übung im sicheren oder akzeptablen Bereich vom Trainierenden angegeben wird. Sollte der Schmerz nach einer Belastung bestehen bleiben, so sollte er spätestens am nächsten Morgen wieder auf das alte Niveau gesunken sein.

Mittlerweile belegen diverse klinische Studien die Praktikabilität dieses Ansatzes bei Patienten mit Tendinopathien, patellofemorale Schmerzen und auch in der Rehabilitation nach einer Verletzung der ischiokruralen Muskulatur [45][21][49].

Temperatur

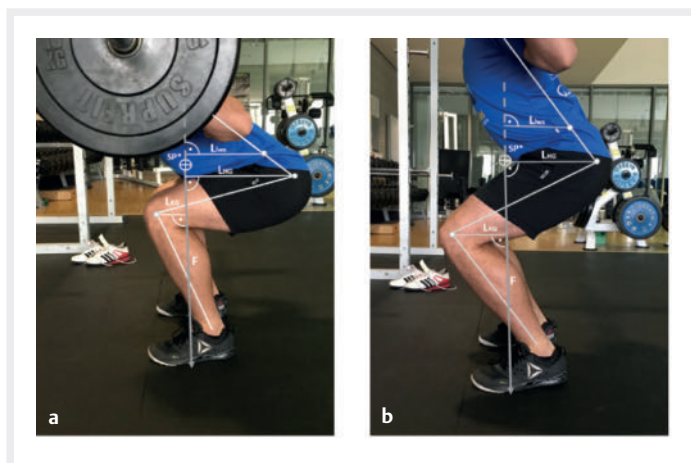
Die Messung der Hauttemperatur ist einer der wichtigsten objektiv messbaren Parameter zur Beurteilung der lokalen Entzündungsreaktion nach einem Trauma oder innerhalb der postoperativen Nachsorge [14]. Die Höhe der Temperaturdifferenz zwischen der verletzten und der nicht verletzten Seite ist ein zuverlässiger Indikator für das Ausmaß der entzündlichen Reaktion. Diverse Autoren bezeichnen Werte über 1,6–2° C als sehr starke entzündliche Reaktion [15][43][57]. Eine geringe Entzündung mit einem komplikationslosen Verlauf ist nach Chanmugam et al. durch Differenzwerte von ca. 1,1–1,2° C gekennzeichnet [8]. Persistierende, konstante oder gar ansteigende Hyperthermien können auf eine gestörte Wundheilung oder gar Infektionen hindeuten [43][46]. Eine Progression der Belastung oder Trainingsintensität ist daher nur bei einem geringen Differenzwert zu empfehlen (unter 2° C).

Schwellung

Das Assessment des Gelenkumfanges als indirekter Parameter für die Beurteilung von intraartikulären Ödemen wird insbesondere am Sprunggelenk („Figure of Eight“) und am Kniegelenk (Umfang auf Höhe der Patella) empfohlen [12][20]. Nach Jacobsen 2010 sind Steigerungen um > 1 cm zwischen morgendlicher und abendlicher Messung relevante Marker einer größeren intraartikulären Schwellung im Kniegelenk [24]. Für Progressionen haben intraartikuläre Ödeme insofern eine Bedeutung, da die Innervation der gelenkumgebenden Muskulatur negativ beeinflusst werden kann oder gar ein Trauma der

► **Tab. 3** Checkliste: Gewichtsvorgabe nach einem regenerativen Eingriff am Gelenkknorpel (nach [22]).

Lokalisation des Schadens	Belastungsvorgabe (in % des Körpergewichts)
Patellofemoral	Vollbelastung in Extension (100%)
tibiofemoral – anterior	Vollbelastung in Extension (100%)
tibiofemoral – zentral/posterior	Teilbelastung bis zur 6. Woche <ul style="list-style-type: none"> • 0.–2. Woche: 20% • 2.–4. Woche: 50% • 4.–6. Woche: 75%



► **Abb. 3** Squat mit unterschiedlicher Knieposition (SP Schwerpunkt (Oberkörper und Hantelmasse), F = Kraftwirkungslinie, L = Lastarm, Lws = Lendenwirbelsäule, HG = Hüftgelenk, KG = Kniegelenk) **a** hüftdominante Ausführung, **b** kniedominante Ausführung. (Quelle: Köppel M, Hamacher D 2018 [27])

Gelenkkapsel droht. Eine Modifikation der biomechanischen Belastung sowie eine Reduktion der funktionellen Leistungsfähigkeit werden in diversen Arbeiten als Konsequenz aus diesen Erkenntnissen beschrieben [32][42][44].

Biomechanische Progression

Gewichtsbelastung

Die Strukturierung der Rehabilitation durch die Vorgabe der Gewichtsbelastung ist in der Physiotherapie fest verankert. Wenngleich sich bei manchen postoperativen Schemata die Vorgaben in den letzten Jahren deutlich gelockert haben, ist der Einsatz solcher Progressionsmodelle nach wie vor existent (siehe ► **Tab. 3**) [22][55][58].

Irreführend wäre es allerdings, die Gewichtsbelastung automatisch mit der entstehenden Gelenkbelastung gleichzusetzen. Die Arbeiten des Julius-Wolf-Instituts der Charité in Berlin belegen eindrucksvoll, dass nicht die Gewichtsbelastung, sondern vielmehr die Muskelaktivierung den entscheidenden Faktor für die Gelenkbelastung darstellt [10][30][48]. So treten selbst unter vollständiger Entlas-

tung bei dynamischer Bewegung gegen den Wasserwiderstand Kompressionskräfte bis zum 3–4-Fachen des Körpergewichtes auf (gemessen im Kniegelenk und Hüftgelenk) [29]. Noch erstaunlicher sind die Ergebnisse bezüglich der Friktionskräfte im Hüftgelenk. Eine statische Dehnung der Hüftflexoren in einer Lunge-Position produziert höhere Werte als langsames Joggen [3].

Die oben genannten biomechanischen Daten der Gruppe um Prof. Bergmann erklären zum Teil die Ergebnisse diverser Übersichtsarbeiten in der Nachbehandlung nach Operationsmethoden mit einer geringen Primärstabilität des Zielgewebes. Weder für die Meniskusnaht noch für die autologe Chondrozytentransplantation können schlechtere Ergebnisse für eine progressive und frühe Gewichtsbelastung ermittelt werden [28][40][41]. Es ist daher zu erwarten, dass solche Progressionsmodelle in der Zukunft immer seltener oder nicht mehr zum Einsatz kommen.

Gelenkbelastung

Eine sinnvolle Progression für die Gelenkbelastung sollte gerade im Rahmen der posttraumatischen oder postoperativen Rehabilitation, aber auch im allgemeinen Konditionstraining standardisiert zum Einsatz kommen. Leider werden hier die Vorgaben häufig durch Dogmen dominiert. Ein häufiges Beispiel wäre in diesem Zusammenhang die Kniebeuge und das klassische Verbot, die Kniegelenke nicht über die Fußspitzen hinaus zu positionieren. Eine solche Anleitung reduziert zwar die Belastung auf das Kniegelenk, erhöht aber im gleichen Maße das Drehmoment auf die gesamte Lenden-Becken-Hüftregion durch eine kompensatorische größere Hüftflexion (► **Abb. 3**) [16][34].

Die Anleitung unterschiedlicher Squat-Varianten sollte daher nicht einseitig oder dogmatisch erfolgen. Sie sollte sich am Ziel-Bewegungsmuster, an der Klinik (Schmerz), an der individuellen Belastbarkeit (Wundheilung) und dem betroffenen Gelenk des Individuums orientieren. So führt ein Hüftpatient zunächst einen kniedominanten Squat aus (► **Abb. 3b**). Im Laufe der Rehabilitation erarbeitet sich der Trainierende, einer biomechanischen Progression entsprechend, hüftdominante Varianten (► **Abb. 3a**).

Selbstverständlich kann die Beanspruchung einzelner Strukturen (z. B. vorderes oder hinteres Kreuzband) nicht durch eine einfache Analyse der Gelenkbelastung bestimmt werden. Hierfür sind weitere Faktoren wie zum Beispiel die Zerlegung der absoluten Gelenkbelastung in Scher- und Kompressionskraftkomponenten und auch die Einflussfaktoren individuelle Belastbarkeit, neuromuskuläre Aktivierungsmuster und die Qualität der Übungsausführung von Bedeutung [10][26].

Kognitiv-verhaltenstherapeutische Progression

Bei chronischen Schmerzpatienten kommen häufig kognitiv-verhaltenstherapeutische Behandlungsansätze zum Einsatz. Unter anderem werden in diesem Zusammenhang Graded-Activity(GA)- und Graded-Exposure(GE)-Modelle beschrieben. Insbesondere das GA-Modell entspricht einer klassischen Progression, bei der nach einer festgelegten Quote das Aktivitätsniveau des Patienten gesteigert wird. Die Orientierung erfolgt dabei nach einer Startphase an der festgelegten motorischen Leistung und nicht an der Schmerzreproduktion. Übergeordnete Ziele sind die Übernahme von Selbstverantwortung, Selbstwirksamkeit, Verhaltensänderung und der Aufbau von Belastungstoleranz. Im GE-Modell werden potenziell „gefährliche“ motorische Leistungen identifiziert und im Einklang mit der Bewertung des Patienten gezielt trainiert. Durch diese Exposition kann eine Neubewertung der Zielbewegung stattfinden und schmerz- bzw. furchtassoziierte Gedächtnisinhalte werden umgelernt.

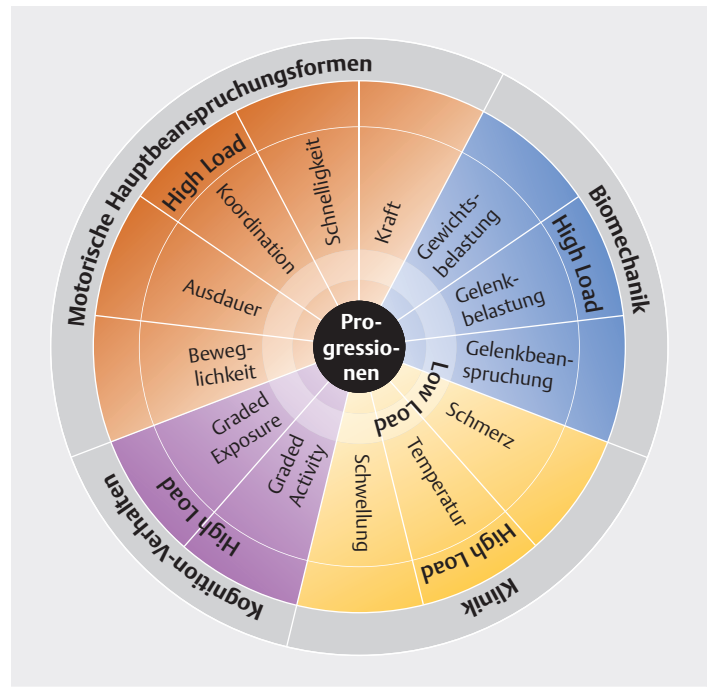
Kognitiv-verhaltenstherapeutische Modelle sind im Kontext chronischer Rückenschmerz gut untersucht und werden in Übersichtsarbeiten empfohlen [33][35]. Betrachtet man aber den großen Einfluss von Kinesiophobie und Angst-Vermeidung auf die Rückkehr in den Sport beim Patienten mit einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes, so sind momentan verhaltenstherapeutische Ansätze in dieser Patientengruppe stark unterrepräsentiert [9][31][37][47].

Progression der motorischen Hauptbeanspruchungsformen

Motorische Progressionen werden in der Regel aus den Gesetzmäßigkeiten der Trainingslehre abgeleitet und in Periodisierungsmodellen in einen zeitlichen Ablauf gebracht. Die Kunst von Sportphysiotherapeuten, Sportwissenschaftlern und Trainern ist es, hier eine Synthese zu schaffen, welche alle genannten Aspekte berücksichtigt (siehe ► **Abb. 4**). Adäquate Beispiele, wie dies gelingen kann, werden in den weiteren Schwerpunktartikeln dieser Ausgabe thematisiert.

TAKE HOME MESSAGE

- In der Sport- und Physiotherapie kommen verschiedene Progressionsmodelle zum Einsatz.
- Der Hintergrund der Modelle ist auf einer klinischen, biomechanischen, kognitiv-verhaltenstherapeutischen oder auch motorischen Ebene lokalisiert und dient einer sicheren Führung des Patienten im Rehabilitationsprozess.
- Ein ausreichendes Grundlagenwissen und der spielerische Umgang mit den Progressionen im Rahmen eines individuellen Clinical-Reasoning-Prozesses ist ein grundlegender Bestandteil des therapeutischen Alltags.



► **Abb. 4** Progressionskreis. (Grafik: Thieme Gruppe nach Angaben von Frank Diemer)

Autorinnen/Autoren



Frank Diemer

Frank Diemer ist Physiotherapeut mit eigener Praxis, MSc Muskuloskeletale Physiotherapie und hat Weiterbildungen in Manueller Therapie, Osteopathie und Sportphysiotherapie absolviert. Er ist Autor der bei Thieme erschienenen „Praxis der medizinischen Trainingstherapie“ sowie zahlreicher Fachartikel. Mit Kollegen betreibt er die digoto Akademie und ist zusätzlich als Dozent im In- und Ausland tätig.

Korrespondenzadresse

Frank Diemer

E-Mail: frank_diemer@web.de

Literatur

- [1] Ardern CL, Glasgow P, Schneiders A et al. 2016 consensus statement on return to sport from the first world congress in sports physical therapy, Bern. Br J Sports Med 2016; 50: 853
- [2] Barfod KW, Feller JA, Hartwig T et al. Knee extensor strength and hop test performance following anterior cruciate ligament reconstruction. Knee. 2019; 26: 149
- [3] Bergmann G, Bender A, Dymke J et al. Physical activities that cause high friction moments at the cup in hip implants. J Bone Joint Surg Am 2018; 100: 1637

- [4] Blanch P, Gabbett TJ. Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute: chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. *Br J Sports Med* 2016; 50: 471
- [5] Bowen L, Gross AS, Gimpel M et al. Spikes in acute:chronic workload ratio (ACWR) associated with a 5–7 times greater injury rate in English premier league football players: A comprehensive 3-year study. *Br J Sports Med* 2019; doi:10.1136/bjsports-2018-099422
- [6] Bullock GS, Garrigues GE, Ledbetter L et al. A systematic review of proposed rehabilitation guidelines following anatomic and reverse shoulder arthroplasty. *J Orthop Sports Phys Ther* 2019; 49: 337
- [7] Capin JJ, Behrns W, Thatcher BA et al. On-ice return-to-hockey progression after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 2017; 47: 324
- [8] Chanmugam A, Langemo D, Thomason K et al. Relative temperature maximum in wound infection and inflammation as compared with a control subject using long-wave infrared thermography. *Adv Skin Wound Care* 2017; 30: 406
- [9] Coronado RA, Bird ML, Van Hoy EE et al. Do psychosocial interventions improve rehabilitation outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction? A systematic review. *Clin Rehabil* 2018; 32: 287
- [10] Damm P, Brackertz S, Streitparth F et al. ESB Clinical Biomechanics Award 2018: Muscle atrophy-related increased joint loading after total hip arthroplasty and their postoperative change from 3 to 50 months. *Clin Biomech* 2019; 65: 105
- [11] DeFroda SF, Mehta N, Owens BD et al. Physical Therapy protocols for arthroscopic Bankart repair. *Sports Health* 2018; 10: 250
- [12] Delahun E, Bleakley CM, Bossard DS et al. Clinical assessment of acute lateral ankle sprain injuries (ROAST): 2019 consensus statement and recommendations of the International Ankle Consortium. *Br J Sports Med* 2018; 52: 1304
- [13] Diemer F. Training und Entzündung – Teil 1. *Zeitschrift für Physiotherapeuten* 2018; 70 (6): 43
- [14] Diemer F. Training und Entzündung – Teil 2. *Zeitschrift für Physiotherapeuten* 2018; 70 (7): 41
- [15] Fernandez-Cuevas I, Lastras JA, Galindo VE et al. Infrared thermography for the detection of injury in sports medicine. In: Priego Quesada JI. Application of infrared thermography in sports science. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering. Springer International Publishing 2017; doi:10.1007/978-3-319-47410-6_4
- [16] Fry AC, Smith C, Schilling BK et al. Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat. *J Strength Cond Res* 2003; 17: 629
- [17] Gabbett TJ. Debunking the myths about training load, injury and performance: Empirical evidence, hot topics and recommendations for practitioners. *Br J Sports Med* 2019; doi:10.1136/bjsports-2018-099784
- [18] Gabbett TJ. The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *Br J Sports Med* 2016; 50: 273.
- [19] Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H et al. Simple decision rule can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: The Delaware-OSLO ACL cohort study. *Br J Sports Med* 2016; 50: 804
- [20] Herrington L, Myer G, Horsley I. Task based rehabilitation protocol for elite athletes following anterior cruciate ligament reconstruction: A clinical commentary. *Phys Ther Sport* 2013; 14: 188
- [21] Hickey JT, Timmins RG, Maniar N et al. Pain-free versus pain-threshold rehabilitation following acute hamstring strain injury: A randomized controlled trial. *J Orthop Sports Phys Ther* 2019; doi:10.2519/jospt.2019.8895
- [22] Hirschmüller A, Schoch W. Vor- und Nachbehandlung im Kontext knorpelregenerativer Operationen am Kniegelenk. *Orthopädische Unfallchirurgische Praxis*. 2018; 7: 615
- [23] Iriuchishima T, Ryu K, Okano T et al. The evaluation of muscle recovery after anatomical single-bundle ACL reconstruction using a quadriceps autograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017; 25: 1449
- [24] Jakobsen T, Christensen M, Christensen S et al. Reliability of knee joint range of motion and circumference measurements after total knee arthroplasty: Does tester experience matter? *Physiother Res Int* 2010; 15: 126
- [25] Keller M, Supp G, Steinhoff B et al. Funktionsbasierte Beurteilung der Belastbarkeit nach Wirbelsäulenverletzungen – Entscheidungshilfe für die Rückkehr zur körperlichen Aktivität. *Manuelle Therapie* 2018; 22: 233
- [26] Köppel M, Hamacher D. Belastung und Beanspruchung der unteren Extremität. *Bewegungstherapie und Gesundheitssport* 2019; 35: 29
- [27] Köppel M, Hamacher D. „Zehen beim Squat nicht vor die Fußspitzen“. *Bewegungstherapie und Gesundheitssport* 2018; 34: 44
- [28] Kraeutler MJ, Belk JW, Carver TJ et al. Is delayed weightbearing after matrix-associated autologous chondrocyte implantation in the knee associated with better outcomes? *Orthop J Sports Med* 2018; 6(5): 2325967118770986
- [29] Kutzner I, Richter A, Gordt K et al. Does aquatic exercise reduce hip and knee joint loading In vivo load measures with instrumented implants? *PlosOne* 2017; 12: e0171972
- [30] Kutzner I, Heinlein B, Graichen F et al. Loading of the knee joint during activities of daily living measured in vivo in five subjects. *J Biomech* 2010; 43: 2164
- [31] Lepley AS, Pietrosimone B, Cormier ML. Quadriceps function, knee pain, and self-reported outcomes in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train* 2018; 53: 337
- [32] Lepley AS, Bahhur NO, Murray AM et al. Quadriceps corticomotor excitability following an experimental knee joint effusion. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015; 23: 1010
- [33] López-de-Uralde-Villanueva I, Muñoz-García D, Gil-Martínez A et al. A systematic review and meta-analysis on the effectiveness of graded activity and graded exposure for chronic nonspecific low back pain. *Pain Med* 2016; 17: 172
- [34] Lorenzetti S, Gülay T, Stoop M et al. Comparison of the angles and corresponding moments in the knee and hip during restricted and unrestricted squats. *J Strength Cond Res* 2012; 26: 2829
- [35] Malfliet A, Ickmans K, Huysmans E et al. Best evidence rehabilitation for chronic pain part 3: Low back pain. *J Clin Med* 2019; 8: 1063
- [36] Malone S, Hughes B, Doran DA et al. Can the workload-injury relationship be moderated by improved strength, speed and repeated-sprint qualities? *J Sci Med Sport* 2019; 22: 29
- [37] Meierbachtol A, Yungtum W, Paur E et al. Psychological and functional readiness for sport following advanced group training in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 2018; 48: 864
- [38] Møller M, Nielsen RO, Attermann J et al. Handball load and shoulder injury rate: A 31-week cohort study of 679 elite youth handball players. *Br J Sports Med* 2017; 51: 231

- [39] Nagelli CV, Hewett TE. Should return to sport be delayed until 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and functional considerations. *Sports Med* 2017; 47: 221
- [40] O'Donnell K, Freedman KB, Tjoumakaris FP. Rehabilitation protocols after isolated meniscal repair: A systematic review. *Am J Sports Med* 2017; 45: 1687
- [41] Perkins B, Gronbeck KR, Yue RA et al. Similar failure rate in immediate post-operative weight bearing versus protected weight bearing following meniscal repair on peripheral, vertical meniscal tears. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2018; 26: 2245
- [42] Palmieri-Smith RM, Kreinbrink J, Ashton-Miller JA et al. Quadriceps inhibition induced by an experimental knee joint effusion affects knee joint mechanics during a single-legged drop landing. *Am J Sports Med* 2007; 35: 1269
- [43] Pflanzner K, Dunky A, Ebner W et al. Die Kontaktthermographie bei der Beurteilung entzündlicher Gelenkserkrankungen. *Zeitschrift für Rheumatologie* 1979; 38: 434
- [44] Pietrosimone B, Lepely AS, Murray AM. Changes in voluntary quadriceps activation predict changes in muscle strength and gait biomechanics following knee joint effusion. *Clin Biomech* 2014; 29: 923
- [45] Rathleff MS, Graven-Nielsen T, Hölmich P et al. Activity modification and load management of adolescents with patellofemoral pain. *Am J Sports Med* 2019; 47: 1629
- [46] Romanò CL, Logoluso N, Dell'Oro F et al. Telethermographic findings after uncomplicated and septic total knee replacement. *The Knee* 2012; 19: 193
- [47] Sadeqi M, Klouche S, Bohu Y et al. Progression of the psychological ACL-RSI score and return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop J Sports Med* 2018; 6(12): 2325967118812819
- [48] Schwachmeyer V, Damm P, Bender A et al. In vivo hip joint loading during post-operative physiotherapeutic exercises. *PlosOne* 2013; 8: e77807
- [49] Silbernagel KG, Thomee R, Eriksson BI et al. Continued sports activity, using a pain-monitoring model, during rehabilitation in patients with Achilles tendinopathy: A randomized controlled study. *Am J Sports Med* 2007; 35: 897
- [50] Silbernagel KG, Thomee R, Thomee P et al. Eccentric training for patients with chronic Achilles tendon pain – a randomised controlled study with reliability testing of the evaluation methods. *Scand J Med Sci Sports* 2001; 11: 197
- [51] Swanik CB, Covassin T, Stearne DJ et al. The relationship between neurocognitive function and noncontact anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med* 2007; 35: 943
- [52] Thomee R. A comprehensive treatment approach for patellofemoral pain syndrome in young women. *Phys Ther in Sport* 1997; 77: 1690
- [53] Trush C, Porter TJ, Devitt BM. No evidence for the most appropriate postoperative rehabilitation protocol following anterior cruciate ligament reconstruction with concomitant articular cartilage lesions: A systematic review. *Knee Surg Sports Traum Arthrosc* 2018; 26: 1065
- [54] Valle C, Hirschmüller A, Schmitt-Sody M et al. Standards in der Nachbehandlung nach vorderem Kreuzbandersatz im deutschsprachigen Raum. *Sportverletz Sportschaden* 2018; 32: 103
- [55] Valle C, Schoch W, Schmitt-Sody M et al. Prähabilitation und Rehabilitation nach knorpelregenerativen Eingriffen. *Arthroskopie* 2019; 32 (3); 199
- [56] Van Melick N, van Cingel REH, Brooijmans F et al. Evidence-based clinical practice update: Practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med* 2016; 50: 1506
- [57] Weber J. Die Messung der Hauttemperatur – eine zusätzliche Objektivierungsmöglichkeit zur Therapie und Belastungssteuerung nach Verletzungen und Operationen des Stütz- und Bewegungsapparats. *Medizin und Sport* 1990; 30: 178
- [58] Wondrasch B. Rückkehr zum Sport nach Eingriffen am Gelenkknorpel im Kniegelenk. *Arthroskopie* 2016; 29: 108
- [59] Windt J, Gabbett TJ. How do training and competition workloads relate to injury? The workload-injury aetiology model. *Br J Sports Med* 2017; 51: 428

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0965-9284>
 Sportphysio 2020; 8: 9–15
 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
 ISSN 2196-5951