

Physiotherapie Basics

Herausgegeben von

Bernard C. Kolster, Frans van den Berg und Udo Wolf

Dietmar Seidenspinner

Training in der Physiotherapie

Gerätegestützte Krankengymnastik

Mit 544 Abbildungen und 44 Tabellen

Dietmar Seidenspinner

Finkenweg 6
72555 Metzingen

ISBN 3-540-20290-0
ISBN 978-3-540-20290-0

Springer Medizin Verlag Heidelberg

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer Medizin Verlag
Ein Unternehmen von Springer Science+Business Media

springer.de
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005
Printed in Italy

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Planung: Marga Botsch, Heidelberg
Projektmanagement: Claudia Bauer, Heidelberg
Projektleitung: Martina Kunze, Marburg
Grafiken und Zeichnungen: Dr. Günter Körtner, Marburg
Fotos: Martin Kreutter, Marburg
Satz und Layout: Katja Kubisch, Marburg
Umschlaggestaltung: deblik Berlin
Gedruckt auf säurefreiem Papier

SPIN: 10908037

22/3160/cb – 5 4 3 2 1 0

Wissen ist nichts,
man muss fühlen und empfinden!

Stendhal (Henri Marie Beyle)
*23.1.1783 Grenoble †23.3.1842 Paris; französischer Schriftsteller

Reihenvorwort

Die Reihe „Physiotherapie Basics“ richtet sich in erster Linie an Physiotherapieschüler, aber auch an Physiotherapeuten in der Praxis.

Die Inhalte sind praxisorientiert aufgearbeitet. Alle Elemente der Untersuchung (z. B. Anamnese, Inspektion, Tastbefund und Funktionsuntersuchung) werden ausführlich beschrieben und erleichtern so eine optimale Befundung und Behandlung. Neben den manuellen Tests werden auch Messinstrumente und Skalen vorgestellt. Anleitungen für die Dokumentation und Interpretation der Befunde erleichtern dem Anwender den Einstieg in die Behandlung. Diese wird nach Behandlungszielen gegliedert dargestellt. Dazu bedienen wir uns des bewährten Bildatlas-Konzeptes: Die Praxis wird vorrangig über Bildsequenzen mit erklärenden Texten vermittelt.

Über das didaktische Prinzip klassischer Schulbücher hinausgehend, ist es ein Anliegen der Herausgeber, die physiotherapeutischen Verfahren zusammenhängend und anwendungsbezogen darzustellen. So soll bei der Entscheidung für eine der vielen Techniken unseres Faches eine wirkungsvolle Entscheidungshilfe für Alltagssituationen in der therapeutischen Praxis gegeben werden. Fundierte Kenntnisse über die zugrunde liegenden Wirkungsmechanismen sollen den Dialog mit dem verordnenden Arzt bereichern und zu einer Optimierung der Indikationsstellung beitragen. Sie werden in ausführlichen Theorie-Kapiteln verständlich dargelegt.

Dem Leser soll durch „Lernziele“ am Beginn und „Zusammenfassungen“ am Ende eines Kapitels eine Fokussierung auf die Essentials erleichtert werden. Wichtige Informationen werden durch optische Kästen als „Memo“ und Warnungen unter „Vorsicht“ hervorgehoben. Ferner kann das Erlernte durch die unter „Überprüfen Sie Ihr Wissen“ formulierten Fragen im Hinblick auf eine optimale Prüfungsvorbereitung rekapituliert werden.

Auch der erfahrene Praktiker kann auf unsere „Basics“ zurückgreifen, wenn er sein Wissen auffrischen und aktualisieren möchte. Zudem bietet die Reihe das nötige Know-how, um sich die praxisrelevanten Grundlagen für verschiedene Spezialgebiete aneignen zu können. Dies gilt auch für Studenten der Bachelor-Studiengänge für Physiotherapeuten.

Um die Buchreihe optimal auf die Bedürfnisse von Schülern und Studierenden ausrichten zu können, wurde ein Schülerbeirat in die Planung eingebunden. An dieser Stelle möchten wir Martin Müller, Alice Kranenburg (Rudolf-Klapp-Schule, Marburg), Silvia Weber, Martin Dresler, Eva Maria Plack (IFBE, Marburg) sowie Antonia Stieger für ihre konstruktive Mitarbeit danken.

Udo Wolf
Frans van den Berg
Bernard C. Kolster

Vorwort

Dieses Buch schließt an die Erfahrungen an, die ich im Rahmen meiner praktischen Arbeit mit Patienten sowie abgehaltener Kurse in den Bereichen der „Medizinischen Trainingstherapie (MTT/MAT)“ und der „gerätegestützten Krankengymnastik (KGG)“ gemacht habe. Es ist eine besondere Herausforderung über ein Thema schreiben zu können, das mich im Laufe meiner beruflichen Tätigkeit jahrelang begleitet hat.

Häufig hatten junge Kollegen und Teilnehmer meiner Kurse Schwierigkeiten, die Erkenntnisse der Trainingswissenschaft auf den verletzten oder erkrankten Patienten zu übertragen oder sie in die gängigen physiotherapeutischen Maßnahmen zu integrieren. Vor allem die zeitliche Einordnung trainingstherapeutischer Maßnahmen innerhalb des gesamten Rehabilitationsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Wundheilungsphasen bereitete immer wieder Schwierigkeiten.

Das Ergebnis einer erfolgreichen Therapie liegt neben einer genauen Befunderhebung in der gezielten Auswahl entsprechender Anwendungen, Behandlungstechniken und ihrer Dosierung. So ist auch in der Trainingstherapie neben einer exakten Diagnose der sorgfältige Befund unabdingbare Voraussetzung für die Einschätzung der richtigen Belastungsdosierung.

Das Anliegen dieses Buches ist es daher, Abläufe der unterschiedlichen Untersuchungstechniken im Rahmen eines Trainings in der Physiotherapie aufzuzeigen, die Behandlung mit ausgewählten Techniken zu planen und schließlich mit den richtigen Belastungsparametern durchzuführen. Eine besondere Bedeutung kommt hierbei den einzelnen Wundheilungsphasen, der Trainingssteuerung und der Dokumentation zu.

Ich hoffe, mit diesem Buch dazu beitragen zu können, gleichermaßen sowohl angehenden als auch bereits in der Praxis tätigen Physiotherapeuten mehr Sicherheit bei der Zuordnung der verschiedenen Trainingsparameter zu den unterschiedlichen Therapiephasen zu geben.

Die farbliche Darstellung der einzelnen Therapiephasen, die Bildsequenzen mit dem beschreibenden Text, vor allem aber die Beispielindikationen des Heilmittelkataloges sollen die Nutzung als Nachschlagewerk für Therapeuten sowie verordnende Ärzte erleichtern und die notwendigen Kommunikationsprozesse fördern.

Ich bin davon überzeugt, dass dieses Buch einen Beitrag zum richtigen und effektiven Einsatz des „Trainings in der Physiotherapie“ leisten wird.

Marburg, im Frühjahr 2005

Dietmar Seidenspinner

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen, die an der Entstehung dieses Werkes mitgewirkt haben, meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Als erstes möchte ich die drei Herausgeber (Udo Wolf, Frans van den Berg, Bernard C. Kolster) der Schulbuchreihe „Physiotherapie Basics“ nennen, die mir die Möglichkeit gaben an dieser Reihe mitzuwirken und das Buch zum Thema „Trainingstherapie“ zu schreiben. In diesem Zusammenhang möchte ich mich besonders bei Udo Wolf und Bernard C. Kolster für die enge Zusammenarbeit bedanken.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an alle Kollegen, meine Freunde und meine Eltern für ihre Unterstützung und ihre Geduld in der Zeit des Projektes.

Im Speziellen danken möchte ich:

Dem Arzt und Physiotherapeuten Dr. med. Bernard C. Kolster für die konzeptionelle Unterstützung bei der Umsetzung wichtiger Kernaussagen; Udo Wolf für seine wertvolle Hilfe und Anregung in der Startphase; Martina Kunze für die Projektleitung; Dr. med. Astrid Waskowiak für die Überlassung von Texten im Kapitel „Medizinische Grundlagen“; Werner Wenk, dessen in der Schulbuchreihe erschienener Titel „Elektrotherapie“ mir als versierte Quelle für ausgewählte Themen im Bereich dieser Therapieform diente; Dr. Hohlfelder vom orthopädischen Geschichts- und Forschungszentrum für die Unterstützung bei der Recherche von Bild- und Textmaterial (<http://www.orthopaedie-museum.de>); der Firma Sanimed für die Anlieferung und Leihgabe der Trainingsgeräte; dem Fotografen Martin Kreutter für die Erstellungen der professionellen Fotos; dem Fotomodell Tobias Mahnken für die perfekte Umsetzung der Bewegungsaufträge und die gute Kooperation bei den Aufnahmen; Dr. Günter Körtner für die Erstellung der Grafiken; Sabine Poppe für die Übernahme des Lektorats in der kritischen Endphase und Katja Kubisch für den Satz.

Hinweis

In diesem Buch wurde lediglich aus Gründen der besseren Lesbarkeit durchweg die männliche Ansprache (der Therapeut, der Patient) verwendet. Daraus ergibt sich, dass selbstverständlich ebenso alle Leserinnen angesprochen werden sollen.

Inhalt





1	Geschichte der Trainingstherapie	1
1.1	Antike bis Mittelalter	2
1.2	19./20. Jahrhundert	3
1.3	21. Jahrhundert	7
2	Medizinische Grundlagen	9
2.1	Die Muskeln	10
2.2	Die Sehnen	17
2.3	Der Knorpel	19
2.4	Der Knochen	20
2.5	Physiologie, Pathophysiologie	21
2.6	Der Schmerz	25
2.7	Immobilisation	28
2.8	Neuroanatomie	29
2.9	Biomechanik	32
3	Pädagogische Aspekte	37
3.1	Lernzielorientierte Planung der Trainingstherapie	38
3.2	Transferleistungen	39
3.3	Motivation	40
4	Psychologische Aspekte	43
4.1	Krankheitsbewältigung	44
4.2	Verhaltensänderung	45
4.3	Kommunikation	47
5	Ziele und Aufgaben der Trainingstherapie	51
5.1	Sportwissenschaftliche Erkenntnisse und Trainingstherapie	52
5.2	Was ist Training?	52
5.3	Trainingsziele	52

6	Indikationen/Kontraindikationen	53
6.1	Indikationen	54
6.2	Kontraindikationen	54
7	Prinzipien der Trainingslehre	57
7.1	Das Prinzip Homöostase	58
7.2	Trainingsprinzipien	58
7.3	Trainingsparameter	61
8	Angewandte Trainings- und Bewegungslehre	63
8.1	Trainingsmittel	64
8.2	Kraft und Krafttraining	64
8.3	Kontraktionsformen und Arbeitsweisen der Muskeln	65
8.4	Aufwärmen – Abwärmen	68
8.5	Grundlagen der Bewegungslehre	68
8.6	Ausdauer	70
9	Trainingstherapie	75
9.1	Befunderhebung	76
9.2	Behandlungsmethoden	92
9.3	Dosierung der Trainingstherapie	102
10	Untersuchung – Therapie – Training – Dokumentation	107
10.1	Das Hüftgelenk	108
10.2	Das Kniegelenk	126
10.3	Das Sprunggelenk und der Fuß	151
10.4	Untere Extremität: Befundbogen, Behandlungsplan und Dokumentation	166
10.5	Das Schultergelenk (Glenohumeralgelenk)	168
10.6	Das Ellenbogengelenk	200
10.7	Das Handgelenk	216
10.8	Obere Extremität: Befundbogen, Behandlungsplan und Dokumentation	229
10.9	Die Halswirbelsäule	231
10.10	Die Brustwirbelsäule	245
10.11	Die Lendenwirbelsäule	259
10.12	Wirbelsäule: Befundbogen, Behandlungsplan und Dokumentation	287
11	Anhang	289

Abkürzungen

A.	Arterie	KGG	Gerätegestützte Krankengymnastik
ABD	Abduktion	Lig.	Ligamentum
ADD	Adduktion	Ligg.	Ligamenti
ADL	Activity of daily life	LWK	Lendenwirbelkörper
AR	Außenrotation	LWS	Lendenwirbelsäule
ASTE	Ausgangsstellung	M.	Musculus
BAM	Bewegungsausmaß	Mm.	Musculi
BWS	Brustwirbelsäule	Med-GV	Medizinische Geräteverordnung
CT	Computertomographie	MRT	Magnet-Resonanz-Tomographie
DE	Dorsalextension	MTT	Medizinische Trainingstherapie
DVZ	Dehnungsverkürzungszyklus	N.	Nervus
EMG	Elektromyographie	Nn.	Nervi
ESTE	Endstellung	OSG	Oberes Sprunggelenk
EV	Eversion	PF	Plantarflexion
EX	Extension	PRO	Pronation
FLEX	Flexion	Proc.	Processus
GABA	Gamma-Aminobuttersäure	Procc.	Processus
HWS	Halswirbelsäule	ROM	Range of Motion
IK	Isokinetik	SUP	Supination
INV	Inversion	TÜV	Technischer Überwachungsverein
IR	Innenrotation	USK-Trainer	Universal-Sequenz-Kombitrainer

Legende

	aktive Bewegung des Patienten
	passive Bewegung durch den Therapeuten
	Widerstand (durch den Therapeuten)
	Fixation (durch den Therapeuten)

Orientierung und Beschreibung von Positionen sowie Richtungen im menschlichen Körper

Ebenen

- Sagittalebene** (lat. *sagitta* = Pfeil)durchschneidet den Körper von vorne nach hinten. Von vorne betrachtet erscheint sie daher als Linie.
- Medianebene** (lat. *medius* = in der Mitte)teilt den Körper in zwei symmetrische Hälften (Sonderfall, theoretisch)
- Frontalebene** (lat. *frons* = Stirn)verläuft parallel zur Stirn und senkrecht zur Sagittalebene
- Transversalebene** (lat. *transversus* = quer)Fläche, die quer zum Körper verläuft. Sie teilt den Körper in eine obere und untere Körperhälfte

Achsen

- Sagittalachse**verläuft senkrecht zur Longitudinalachse und Transversalachse durch die vordere und hintere Körperwand
- Longitudinalachse**verläuft in Längsrichtung des Körpers
- Transversalachse**verläuft quer zum Körper

Richtungsbezeichnungen und Lage der Körperteile

- kranial** (lat. *cranium* = Schädel)„zum Kopf hin“ oder „nach oben hin“ orientiert
- kaudal** (lat. *cauda* = Schwanz)„schwanzwärts“, d. h. „zu den Füßen“ oder „nach unten hin“
- anterior** (lat. *anterior, antarius* = vorderer)nach vorne
- posterior** (lat. *posterior, posterius* = hinterer) ..nach hinten
- ventral** (lat. *venter* = Bauch)bauchwärts, nach vorne
- dorsal** (lat. *dorsum* = Rücken)rückenwärts, nach hinten
- superior** (lat. *superior, superius* = höher)oben
- inferior** (lat. *inferior, inferius* = niedriger)unten
- lateral** (lat. *latus* = Flanke)seitlich, von der Körpermitte abgewandt
- medial**mittlere(r), zur Körpermitte hin, in der Mitte gelegen
- proximal** (lat. *proximus* = der Nächste)zum Rumpf hin
- distal**zum Ende der Gliedmaßen hin
- tibial**auf der der Tibia zugewandten Seite des Unterschenkels liegend
- fibular**auf der der Fibula zugewandten Seite des Unterschenkels liegend

Bewegungsrichtungen

- Extension**Streckung
- Flexion**Beugung
- Abduktion**Wegführen der Gliedmaßen vom Rumpf (in der Frontalebene)
- Adduktion**Heranführen der Gliedmaßen vom Rumpf (in der Frontalebene)
- Elevation**Anhebung, z. B. das Heben des Armes im Schultergelenk über die Horizontale, Wegführen der Gliedmaßen vom Rumpf (in alle Richtungen des Raumes)
- Inversion**Rückfußkipfung um eine von vorn innen nach hinten seitlich verlaufende Fußgelenksachse unter Anhebung der inneren Fersenbeinauftrittsfläche.
- Rotation**Innen- und Außendrehung der Gliedmaßen um die Längsachse der Gliedmaßen, Drehung des Rumpfes
- Supination**Auswärtsdrehung der Hand (durch Drehbewegung der Speiche um die Elle in den Radioulnargelenken) bzw. des Fußes (im unteren Sprunggelenk, Mittel- und Vorfuß); die Handfläche kommt dadurch aus der Nullstellung der Neutral-Null-Methode (Daumen am herabhängenden Arm vorn) nach vorn (bei gebeugtem Unterarm nach oben [Suppenlöffelhaltstellung]); die Auswärtsdrehung des Fußes (Hebung des inneren Fußrandes) erfolgt unter gleichzeitiger Plantarflexion und Adduktion.
- Pronation**Drehbewegungen des Unterarms, so dass der Handrücken nach oben kommt. Hebung des äußeren bzw. Senkung des inneren Fußrandes; siehe auch Inversion.

Geschichte der Trainingstherapie

Dietmar Seidenspinner

- 1.1 Antike bis Mittelalter – 2
- 1.2 19./20. Jahrhundert – 3
- 1.3 21. Jahrhundert – 7





LERNZIELE

Kenntnisse über

- den Begriff der „Gymnastik“
- die historische Entwicklung der apparativen Trainingstherapie
- die Differenzierung der unterschiedlichen Trainingskonzepte seit den 70er Jahren
- die Einordnung der „Gerätegestützten Krankengymnastik“ in die historische Entwicklung von Gymnastik und Training

1.1. Antike bis Mittelalter

Die Bedeutung von gymnastischen Übungen für die menschliche Gesundheit ist im europäischen Kulturkreis seit der Antike bekannt. Damals wurden gymnastische Übungen hauptsächlich zur athletischen und ästhetischen Ausbildung des Körpers eingesetzt.

Der Begriff „**Gymnastik**“ entsprach in der **griechischen Antike** dem heute verwendeten Begriff „**Training**“. Ein wissenschaftlich gebildeter **Gymnast** (Trainer der Athleten in der altgriechischen Gymnastik) war gleichzeitig auch in Teilgebieten der Medizin fachkundig. Daher beinhaltet der Begriff „Gymnastik“ streng genommen auch die Kenntnis über die Wirkungsweise von gymnastischen Übungen auf den menschlichen Körper. Der Ort des Wirkens der Gymnasten war das Gymnasion, die klassische Trainingsstätte des griechischen Sports.

1.1.1 Milon von Kroton

Milon von Kroton war zweifellos der berühmteste Athlet der Antike. Er kann ohne Übertreibung als der erfolgreichste Olympionike aller Zeiten angesehen werden. 30 Jahre lang hielt er unbesiegt die Spitze im olympischen Ringkampf und siegte mehrfach in Olympia.

Hervorgegangen war Milon aus dem antiken „Leistungszentrum“ der Stadt Kroton, der damals bedeutendsten Griechensiedlung in Süditalien. Als Ringkämpfer beherrschte er in der zweiten Hälfte des 6. Jh. v. Chr. seine Disziplin nahezu eine Generation lang.

Es wird erzählt, dass der kleine Milon ein recht schwächliches Kind gewesen sei, das häufig von den Kindern aus der Nachbarschaft verprügelt wurde. Eines Tages aber fasste er den Entschluss, diesem Treiben ein Ende zu

machen. Er wollte unbedingt stärker werden und packte sein Ziel bemerkenswert systematisch an. Er nahm ein gerade zur Welt gebrachtes Kalb auf den Arm und trug es mehrmals um den elterlichen Hof. Obwohl ihm das anfangs sehr viel Mühe bereitete, hielt er durch und wiederholte diese „Rundläufe“ täglich. Im Laufe der Zeit wuchs nicht nur das Kalb, sondern auch die Kraft des Milon und nach einem Jahr natürlicher Belastungssteigerung war er stark genug, ein ausgewachsenes Rind rund um das Anwesen seiner Eltern zu tragen“ (nach Hildenbrand).

Die Geschichte des Milon von Kroton ist trainingstheoretisch deshalb interessant, weil deutlich wird, dass Umfang und Intensität der Vorbereitung für einen Wettkampf den sportlichen Erfolg bestimmen. So lassen sich auch die erstaunlichen Leistungen ägyptischer Könige im Bogenschießen ohne eine gezielte Übungspraxis nicht erklären.

Bereits aus der **vorgriechischen Welt** des alten Orients und des alten Ägyptens sind sportliche Leistungen überliefert, die bis ins 3. Jahrtausend v. Chr. zurückreichen. Der Ursprung des Sports liegt also nicht im frühen Griechenland, sondern sehr viel weiter zurück.

Die erste schriftlich aufgezeichnete systematische Trainingsanleitung der Weltgeschichte stammt aus dem 14. Jh. v. Chr. aus der Zeit des Hethiterreiches (Hethiter: Großmacht vom 17.-13. Jh. v. Chr. in Zentral-, Süd- und Ostanatolien sowie Syrien). Der in hethitischen Diensten stehende Pferdetrainer Kikkuli hat sie in hethitischer Keilschrift aufgezeichnet. Diese Keilschrifttafeln sind bis heute als einmalige Originaldokumente erhalten. Kikkuli beschrieb darin den Aufbau eines Trainings, das der Leistungsverbesserung von Wagenpferden diene. Er überlieferte sehr detaillierte Vorschriften über täglich wechselnde Streckendistanzen, die von den Pferden nach einer Gewöhnungsphase in unterschiedlichen Gangarten zurückzulegen waren. Das zu verschiedenen Tageszeiten angesetzte Training lässt sich hinsichtlich seines Steigerungsprinzips durchaus mit einem modernen Intervalltraining vergleichen.

1.1.2 Trainingswissenschaftliches Schrifttum

Das trainingswissenschaftliche Schrifttum war seit dem 5. Jh. v. Chr. weit verbreitet, wie wir aus der antiken Literatur wissen. Während die Schriften der wissenschaftlich ausgebildeten Gymnasten auf einem hohen theoretischen Niveau angesiedelt waren, existierte aber auch eine stär-

1.1 · Antike bis Mittelalter

ker der Trainingspraxis verpflichtete Gattung, deren Autoren so genannte **Paidotriben**, Trainer im eigentlichen Sinne, waren. Ein berühmter Autor war etwa **Ikkos von Tarent**, der als Olympiasieger im Fünfkampf des Jahres 444 v. Chr. über einschlägige athletische Erfahrung verfügte.

Die einzige trainingswissenschaftliche Schrift aus der griechischen Antike stammt von **Philostratos** und wurde erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts entdeckt. Darin wird dem Trainer (Paidotribe) das Gebiet der reinen Trainingspraxis zugewiesen, dem Gymnasten hingegen spezielle Kenntnisse des Trainings und bis zu einem gewissen Grade auch der Medizin.

Wissenschaftlich ausgebildete Gymnasten besaßen demnach einen für die damalige Zeit sehr hohen Wissensstandard, da sie nicht nur Kenntnisse über das gesamte sportliche Trainingswesen besitzen mussten, sondern auch Grundkenntnisse der Medizin, der psychologischen Motivierung und sogar der Rhetorik (Decker 1995).

Aus beruflichem Interesse behandelten auch Ärzte das Thema Training. Sie stellten es in den größeren Zusammenhang der Lebensführung und Hygiene. Nach dem Urteil eines der größten antiken Vertreter des Faches, des **Galen von Pergamon** (129–199 n. Chr.), ursprünglich Gladiatorenarzt und später Leibarzt der römischen Kaiser **Marc Aurel** und **Verus**, ist der antike Begriff der „Gymnastik“ eindeutig der Medizin untergeordnet (Decker 1995).

1.2. 19./20. Jahrhundert

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde Gymnastik sowohl für pädagogische Erziehung als auch zu medizinischer Heilbehandlung eingesetzt.

1.2.1 Die Turnerbewegung in Deutschland nach Friedrich Ludwig Jahn

In Deutschland entwickelte Friedrich Ludwig **Jahn** (1878–1852) unter dem Eindruck der Napoleonischen Fremdherrschaft das Turnen. Seine Ziele waren die „Wehrhaftmachung der Jugend und die Stählung der körperlichen und geistigen Spannkraft“. Zur Bedeutung der Turnerbewegung in Deutschland schrieb der Orthopäde Friedrich Busch (1844–1919) nach Kreck 1987:

„In allen Ländern..., wo Deutsche in einer größeren Zahl zusammen sind, begründen sie neben einem Gesangsverein sicherlich auch einen Turnverein und die Turnhalle ist der gemeinsame Versammlungsort sowohl zur

kräftigen körperlichen Übung als zu frohen Festen nationalen Gepräges. Bei keinem der anderen neueren Völker hat die Gymnastik eine solche Ausbildung und eine solche Bedeutung erlangt als bei den Deutschen...“.

1.2.2 Die schwedische Heilgymnastik nach Per Hendrik Ling und ihre Bedeutung in Deutschland um 1850

Der Schwede Per Henrik **Ling** (1776–1839) war maßgeblich an der Entwicklung der Krankengymnastik bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts beteiligt.

Aus der Vorstellung, jede Muskelbewegung habe eine spezifische Wirkung auf den Organismus, entwickelte Ling ein höchst kompliziertes System von möglichst kleine Muskeleinheiten betreffenden Bewegungsübungen. Diese wurden in verschiedenen Grundstellungen wie stehend, sitzend, liegend oder hängend ausgeführt. Zwischen den einzelnen Übungen, die in einer strengen Reihenfolge auszuführen waren, wurden Massagen durchgeführt. Somit entstand ein komplexes System genau definierter Übungen, deren Wirksamkeit bei verschiedenen Erkrankungen reproduzierbar war (s. **Abb. 1.1, S. 3**).

Ling leitete in Stockholm von 1813 bis zu seinem Tode 1839 ein „Gymnastisches Institut“, das mit öffentlichen Geldern 1834 zum „Gymnastischen Centralinstitut“ erweitert wurde. Lings fragmentarische Schriften wurden unter dem Titel „Allgemeine Begründung der Gymnastik“ erst nach seinem Tode 1840 veröffentlicht.

Lings schwedische Heilgymnastik sollte – wenn auch in modifizierter Form – für ca. 100 Jahre ein bedeutender Bestandteil der Krankengymnastik werden.

Der Medizinprofessor Hans Ferdinand **Massmann** (1797–1874) hatte 1847 Lings Schriften ins Deutsche übersetzt. Auch im Ausland, in London und Petersburg, wurden erste gymnastische Institute nach Lings Ideen gegründet. Die weiteste Verbreitung fand seine Methode jedoch in Deutschland. Sein Werk bildete die Grundlage für die späteren Arbeiten Gustav Zanders.

1.2.3 Gustav Zanders Medico-mechanische Therapie

Ein halbes Jahrhundert nach Ling schrieb ein weiterer Schwede ein bedeutendes Kapitel der Geschichte der Gymnastik: Der Arzt Gustav Jonas **Zander** (1835–1920), s. **Abb. 1.2, S. 3**, entwickelte ein heilgymnastisches Apparatesystem der „Medico-mechanischen Therapie“ (s. **Abb. 1.3 und 1.4, S. 4**).

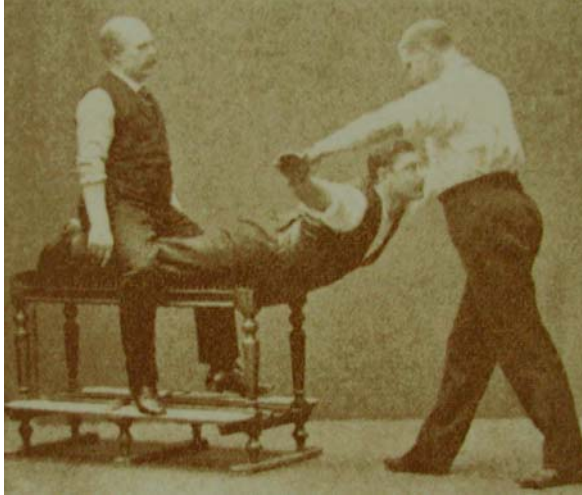


Abb. 1.1. Schwedische Heilgymnastik: Rumpfaufrichten

Zanders Apparate waren bereits mit einem Hebel und einem verstellbaren Gewicht zur Regulierung der Belastung ausgerüstet.

Zum Belastungsprinzip schrieb Zander: „*Der für jede Muskelgruppe zu überwindende Widerstand wird dadurch erreicht, dass der Muskel bei seiner abwechselnden Zusammenziehung und Erschlaffung ein auf einen Hebel aufgebrachtes Gewicht aufhebt oder sinken lässt. Durch die Vermittlung des Hebels wird nun die richtige Forderung erfüllt, dass der Widerstand während der Dauer der Bewegung mit dem natürlichen Wechsel in dem mechanischen Effecte der Muskelarbeit zu- und abnimmt. ... Das Gewicht ist längs des Hebels verschiebbar und kann mittels einer Stellschraube in weiterer und kürzerer Entfernung von dem Drehpunkt des Hebels befestigt werden, so dass jede gewünschte Kraft der Belastung von Null an bis zu einem für jeden Apparat passenden Maximum leicht hergestellt werden kann. Die Größe der Belastung ist durch die Skala des Hebels angegeben.*“

Zander entwickelte fortwährend weitere Apparate: Waren es 1865 zur Institutsgründung 27 verschiedene Apparate, so stieg deren Zahl auf über 76 im Jahr 1905. Nach Abschluss seines Medizinstudiums 1868 eröffnete Zander sein erstes Gymnastikinstitut. Er nannte es „Medico-mechanisches Institut“, eine Bezeichnung, die später von heilgymnastischen Instituten mit verschiedenster apparativer Ausstattung übernommen wurde.

Zander prägte die Gymnastik seiner Zeit wie kaum ein anderer. In Deutschland wurde seine Popularität so groß, dass man statt von medico-mechanischen Übungen nur noch einfach von „Zandern“ sprach. Seinen Erfolg



Abb. 1.2. G. J. W. Zander: Arzt und Physiotherapeut (1835–1920)

verdankte er seinen außergewöhnlichen Fähigkeiten als orthopädischer Therapeut, Physiologe und Konstrukteur.

Die einzelnen Apparate – Systematik

Den Kern der Zanderschen medico-mechanischen Therapie bildeten seine Apparate, die er in vier Gruppen einteilte, von denen die erste mit 41 Apparaten die bedeutendste war:

1. Apparate für aktive Bewegungen
2. Apparate für passive Bewegungen
3. Abteilung für mechanische Einwirkungen
4. orthopädische Apparate

1.2.4 Herman Nebel, der Vorreiter der Mechanotherapie in Deutschland

Der Arzt Herman **Nebel** (1835–1930) war begeisterter Anhänger Zanders. Er profilierte sich als Leiter zweier wichtiger Zander-Institute (in Hamburg und Frankfurt). Außerdem war er ein sehr aktiver wissenschaftlich-publizistischer Vertreter der Methode. Der Leipziger Orthopäde H. A. **Ramdohr** würdigte in einem Lehrbuch über Heilgymnastik bereits 1893 Nebels Bedeutung: „*Ich habe ferner eines Mannes zu gedenken, der, von wahren Feuereifer beseelt und mit scharfen Waffen gerüstet, höchst erfolgreich für die Heilgymnastik, in erster Linie für die Zander'sche gewirkt hat, nämlich Dr. Nebel in Frankfurt a. M. ... Seine Schriften, namentlich das größere Werk „Bewegungskuren etc.“, erregten durch Inhalt und Darstellung in hohem Grade Interesse der deutschen Ärzte und erschloss diesen sozusagen ein unbekanntes Land.*“

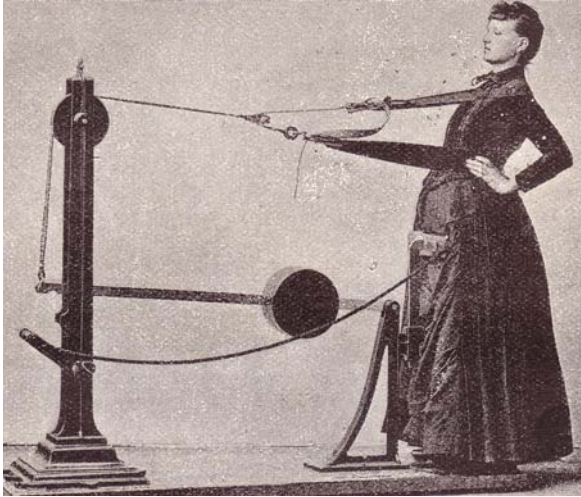


Abb. 1.3. Zander-Apparat für die aktive Bewegung: „Rumpfaufrechten stehend“

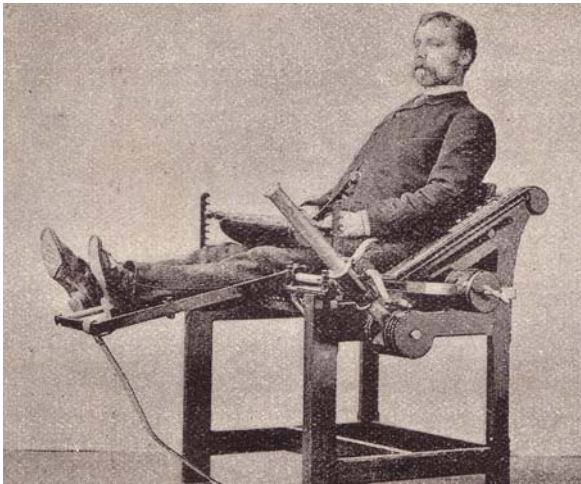


Abb. 1.4. Zander-Apparat für die aktive Bewegung: „Kniebeugen“

Jedenfalls bleibt Nebels Name mit dem Aufschwung der Heilgymnastik in Deutschland auf's Engste verknüpft.“

Hermann Nebel studierte in Marburg, Gießen, Bonn, München und schließlich erneut in Bonn, wo er 1878 das medizinische Staatsexamen ablegte. Im Sommer 1885 fuhr Nebel erstmals – vier weitere Reisen dorthin sollten folgen – nach Stockholm. Seine ersten Erfahrungen mit der manuellen und maschinellen schwedischen Heilgymnastik sollten sein ganzes weiteres Leben prägen.

Nach seiner Rückkehr wurde er Direktor des Hamburger Medico-mechanischen Instituts, das als zweites Zander-Institut in Deutschland im Februar 1886 begrün-

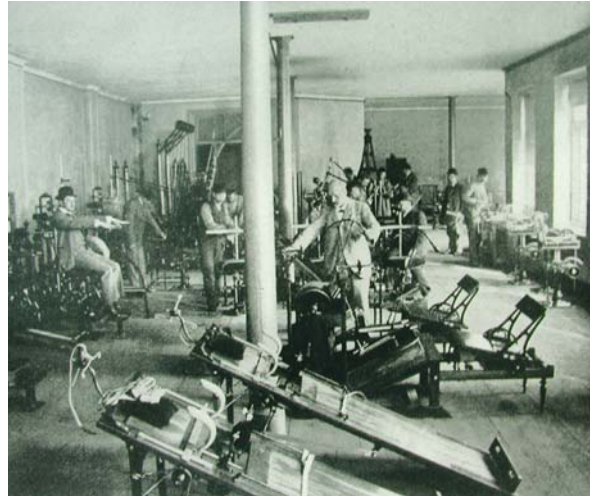


Abb. 1.5. Zander-Institut: Innenaufnahme mit Zander-Apparaten

det wurde. 1889 eröffnete Nebel ein eigenes Zander-Institut in Frankfurt: die „Anstalt für Orthopädie, Bewegungskur (Heilgymnastik) und Massage. Medico-mechanisches (Zander)-Institut, Hochstraße 40“. Mit wahrer Begeisterung übte Nebel hier seinen Beruf aus und verstand es, jene auch auf seine Besucher zu übertragen.

Ebenfalls 1889 erschien Nebels überwiegend positiv aufgenommenes Hauptwerk „Bewegungskuren mittels schwedischer Heilgymnastik und Massage“, das vorwiegend eine „Therapiebibel“ für Zander-Institute darstellte. Auch als „Privatgelehrter“ blieb Nebel ein glühender Verehrer der Zanderschen Mechanothérapie. Er veröffentlichte 1912/13 „Zwanzig Jahre Erfahrungen mit Dr. Gustav Zanders medico-mechanischer Heilgymnastik“.

1893 gab es bereits 18 Zander-Institute in Deutschland, 18 weitere im übrigen Europa und vier in den USA. 1911, auf dem Höhepunkt ihrer Verbreitung, waren es in Deutschland bereits 79, im übrigen Europa 109 und in den außereuropäischen Ländern 14 Zander-Institute (s. Abb. 1.5). Deutschland wurde damals eine Hochburg der Zanderschen Mechanothérapie (s. Abb. 1.6, S. 6).

Wichtigster gesellschaftspolitischer Faktor für die Verbreitung der Zander-Apparate war die ansteigende Zahl an Unfallverletzungen, insbesondere von schweren Unfällen mit mehr als 12 Wochen Arbeitsunfähigkeit, als Folge der raschen Industrialisierung bei gleichzeitig mangelhaften Arbeitsschutzbestimmungen. Die Mechanothérapie stellte ein relativ billiges, standardisiertes und Erfolg versprechendes Verfahren für größere Patientenzahlen dar, wodurch eine objektive Beurteilung für Berentungsverfahren möglich wurde.



Abb. 1.6. Geografische Verbreitung der Zander-Institute Anfang des 20. Jahrhunderts



Abb. 1.7. Titelblatt einer Publikation aus dem Jahre 1894: „Die Grundzüge der Dr. G. Zander'schen Medico-mechanischen Gymnastikmethode“

Während des 1. Weltkrieges verlor die Zandersche Apparatherapie jedoch an Bedeutung. Neue Zander-Institute wurden nicht mehr eingerichtet, die bestehenden in den folgenden Jahrzehnten nach und nach geschlossen. Am längsten existierte das Aachener Institut, das 1942 zuletzt erwähnt wurde.

Die Ursache der Schließungen lag in dem wissenschaftlichen Fortschritt in der orthopädischen Chirurgie. Die Ärzteschaft wendete sich von Heilgymnastik und Massage ab. Die Mechanotherapie verschwand aus den Titeln der orthopädischen bzw. unfallchirurgischen Fachzeitschriften (s. Abb. 1.7). Auch die Gründung der „Ärztlichen Gesellschaft für Mechanotherapie“ (1916) konnte an dieser Entwicklung nichts mehr ändern. Die Krankengymnastik, um deren ärztliche Leitung vor dem 1. Weltkrieg noch gekämpft wurde, delegierte man nun an die zuvor als potenzielle Konkurrentinnen empfundenen Heilgymnastinnen.

1.2.5 Die „deutsche Gymnastik“ nach dem 1. Weltkrieg

Nach dem 1. Weltkrieg entstand unter anderem eine „deutsche Gymnastik“, die sich dadurch auszeichnete,

dass sie die Grundpfeiler der schwedischen Heilgymnastik verließ und sich einer „Entspannenden Gymnastik“ nach Bier zuwendete. Darunter verstand man gymnastische Übungen des ganzen Körpers sowie Gruppenübungen mit sportlicher oder spielerischer Note oder mit einfachen Geräten.

1.2.6 Gründung der ersten Schulen für Krankengymnastik

Die erste Krankengymnastikschule mit staatlicher Anerkennung wurde in Deutschland bereits 1900 in Kiel als „Kieler Lehranstalt für Heilkunst“ eröffnet.

Prof. Rudolph Klapp (1873–1949) entwickelte ab 1905 unter Bier ein Verfahren für „eine funktionelle Behandlung der Wirbelsäulenverkrümmungen“, das nach ihm benannte „Klappsche Kriechen“, ein Kriechverfahren zur Behandlung von Skoliosen und Haltungsschäden. Prof. Rudolf Klapp folgte 1928 dem Ruf auf den Lehrstuhl für Chirurgie nach Marburg/Lahn. Im September 1929 begründete er eine private Lehranstalt, die sich zunächst „Schule für Heilgymnastik und Massage“ nannte. Sie zählt damit zu den ältesten Schulen ihrer Art in Deutschland. 1946 wurde die Schule als „Staatlich anerkannte Lehranstalt für Krankengymnastik und Massage“ vom Land Hessen übernommen. Im Jahr 1953 erhielt sie den zusätzlichen Namen „Rudolf-Klapp-Schule“.

Im Laufe der Zeit wurde die Gymnastik nach und nach verschiedenen medizinischen Fachgebieten zugeordnet, vor allem der Unfallchirurgie und Orthopädie.

Die Weiterentwicklung der Gymnastik, beeinflusst durch den schnellen Fortschritt in der Medizin, führte schließlich 1959 in das Berufsbild „Krankengymnast/Krankengymnastin“. Mit der Verabschiedung des neuen Berufsgesetzes 1994 wurde die Berufsbezeichnung „Krankengymnast/in“ durch „Physiotherapeut/in“ ersetzt, eine international anerkannte Bezeichnung.

1.2.7 Medizinische Trainingstherapie im Rahmen der „Manuellen Medizin“

Seit den 80er Jahren wird in Deutschland die „Trainingstherapie im Rahmen der Manuellen Medizin“ in der Krankengymnastik vor allem an der Wirbelsäule zur Stabilisation von hypermobilen Segmenten eingesetzt. Diese Methode wurde bereits 1967 aufgrund der intensiven Arbeit des norwegischen Krankengymnasten und Lehrers für Manuelle Therapie Oddvar Holden vom norwegischen Gesundheitsministerium anerkannt.

1.2.8 Ambulante Rehabilitation

Von der „Besonders indizierte Physiotherapie“ (BiTh) über die „Erweiterte ambulante Physiotherapie“ (EaP) zur „Ambulanten orthopädisch-traumatologischen Rehabilitation“ (AotR)

Die **ambulante Rehabilitation** wurde bereits in den 70er Jahren durchgeführt. Ursprünglich ließen sich nur Profisportler sowohl personell als auch apparativ intensiv rehabilitieren. Aus dieser Betreuung von Hochleistungssportlern entwickelte sich ein neues Tätigkeitsfeld für Physiotherapeuten: Prophylaxe von Sportschäden und Sportverletzungen sowie Therapie und Rehabilitation verletzter Sportler. Die systematische Weiterentwicklung dieses Berufsfeldes führte zu einer interdisziplinären Zusammenarbeit von Sportmedizin, Trainingswissenschaft und Physiotherapie und wurde von den Verwaltungsberufsgenossenschaften zunächst als „**Besonders indizierte Therapie (BiTh)**“ bezeichnet und später in „**Erweiterte ambulante Physiotherapie**“ (EaP) umbenannt.

1989 wurde im Gesundheitsreformgesetz erstmals der Grundsatz „ambulant vor stationär“ erwähnt und im Gesundheitsstrukturgesetz von 1993 verankert. Die Ersatzkassen unterstützten das Prinzip und legten 1994 Standards für die „**Ambulante orthopädisch-traumatologische Rehabilitation (AotR)**“ fest (Felder und Deubel 1998). Die AotR wird am Wohnort von einem interdisziplinär arbeitenden, qualifizierten Arzt- und Therapeutenteam durchgeführt, das sich aus Physiotherapeuten, Masseuren und Diplomsportlehrern zusammensetzt. Die Integration eines Diplomsportlehrers in das Team ist Pflicht. Die Leitung dieser Zentren untersteht einem Arzt. Die dabei angewandten Therapieverfahren umfassen die Bereiche Physiotherapie, Physikalische Therapie und Medizinische Trainingstherapie (= Medizinisches Aufbau- und Training). Neben den personellen und räumlichen Gegebenheiten ist auch eine umfassende apparative Ausstattung Voraussetzung für eine erfolgreiche Behandlung.

1.3. 21. Jahrhundert

1.3.1 Gerätegestützte Krankengymnastik

Mit den neuen Heilmittelrichtlinien zum 1.7.2001 ist für Physiotherapeuten eine neue abrechenbare Leistungsposition, die „**Gerätegestützte Krankengymnastik (KGG)**“, eingeführt worden. Mitte Mai 2002 haben sich die Spitzenverbände der Krankenkassen und die Bundesarbeitsgemeinschaft der Heilmittelverbände (BHV) über die Zulassungsvoraussetzungen geeinigt. In diesem Zusammenhang wurden die personellen, räumlichen und gerätetechnischen Voraussetzungen sowie die Ausbildungsinhalte für diese Fortbildung näher spezifiziert (s. **Anhang**).

Die Gerätegestützte Krankengymnastik dient in erster Linie der Behandlung krankhafter Muskelinsuffizienzen, -dysbalancen und -verkürzungen sowie motorischer Paresen mittels spezieller medizinischer Trainingsgeräte (s. **Kap. 9.2.7**) – vor allem auch bei chronischen Erkrankungen der Wirbelsäule sowie bei posttraumatischen oder postoperativen Eingriffen.

Sie wird grundsätzlich als parallele Einzelbehandlung mit maximal drei Patienten verordnet. Unabdingbar sind die Anleitung, Aufsicht und Kontrolle unmittelbar durch den behandelnden Therapeuten.

Somit sind die medico-mechanischen Verfahren, die zwischenzeitlich aus der Krankengymnastik weitgehend verdrängt wurden, heute erneut, wenngleich auf das Wesentliche und Notwendige konzentriert, im Rahmen der vertragsärztlichen Versorgung im Heilmittelkatalog fest verankert. Zanders Arbeiten über den Einsatz und die Wirkung der Mechanotherapie bilden dafür die historische Grundlage.



ZUSAMMENFASSUNG

- Die Gymnasten der griechischen Antike waren nicht nur Trainer, sondern auch wissenschaftlich-medizinisch gebildet.
- Ling entwickelte maßgeblich die schwedische Heilgymnastik, die um 1850 in Deutschland an Bedeutung gewann.
- Ende des 19. Jahrhunderts entwickelte Gustav Zander die ersten heilgymnastischen Apparate. 1868 eröffnete er sein erstes Gymnastikinstitut. Seine so genannte Medico-mechanische Therapie wurde vor allem durch Herman Nebel auch in Deutschland bekannt und bis Anfang des 20. Jahrhunderts eingesetzt.
- Seit den 80er Jahren wird in Deutschland die „Trainingstherapie im Rahmen der Manuellen Medizin“ in der Krankengymnastik vor allem an der Wirbelsäule zur Stabilisation von hypermobilen Segmenten eingesetzt.
- Seit den 70er Jahren entwickelte sich die ambulante Rehabilitation von der „Besonders indizierten Physiotherapie“ (BiTh) über die „Erweiterte ambulante Physiotherapie“ (EaP) zur „Ambulanten orthopädisch-traumatologischen Rehabilitation“ (AotR).
- Seit Juli 2001 ist die „Gerätegestützte Krankengymnastik (KGG)“, eine für Physiotherapeuten neue abrechenbare Leistungsposition.



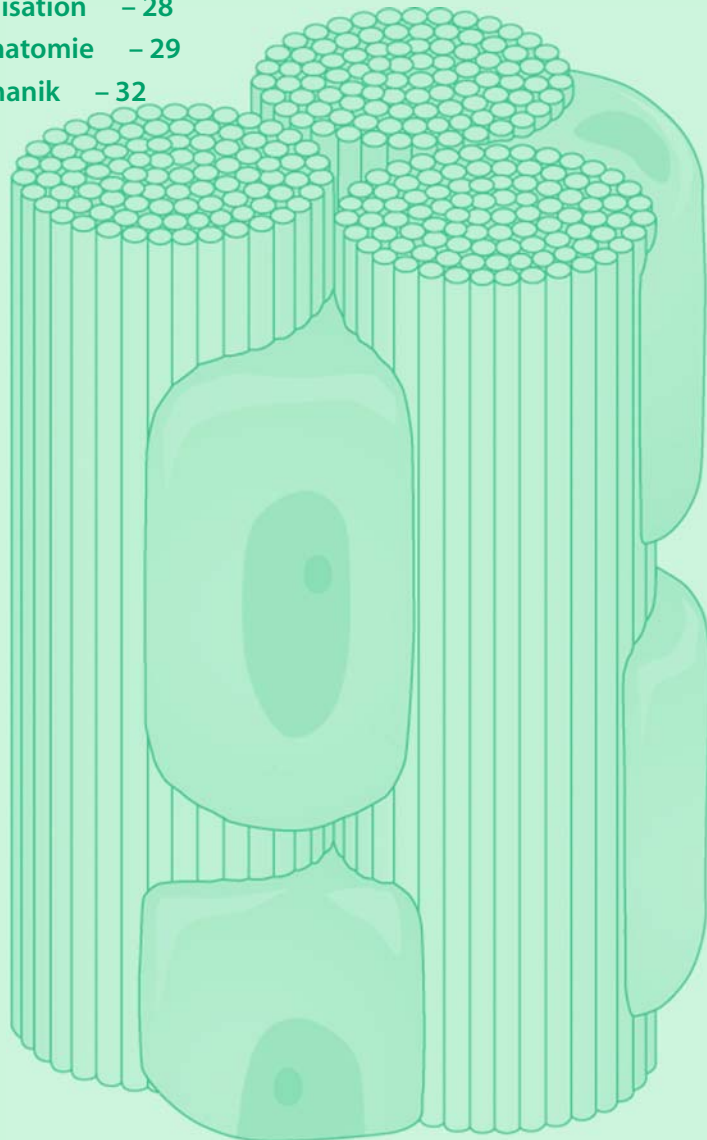
ÜBERPRÜFEN SIE IHR WISSEN

- Erklären Sie anhand der Geschichte des Milon von Kroton einige Prinzipien der modernen Trainingslehre.
- In welchem der Konzepte ist eine ärztliche Leitung erforderlich?
- In welchem der Konzepte ist ein Diplomsporthelehrer vorgeschrieben?
- Wo liegen die historischen Wurzeln der „Gerätegestützten Krankengymnastik“?

Medizinische Grundlagen

Dietmar Seidenspinner

- 2.1 Die Muskeln – 10
- 2.2 Die Sehnen – 17
- 2.3 Der Knorpel – 19
- 2.4 Der Knochen – 20
- 2.5 Physiologie, Pathologie – 21
- 2.6 Der Schmerz – 25
- 2.7 Immobilisation – 28
- 2.8 Neuroanatomie – 29
- 2.9 Biomechanik – 32



2.1 Die Muskeln



LERNZIELE

Kenntnisse über

- Grundlagen des Muskelaufbaus
- Arten des Muskelgewebes
- Funktionsweise der Muskelkontraktion

Skelettmuskeln entwickeln Kraft über Kontraktion. Dadurch bekommen wir die Möglichkeit, uns zu bewegen und mit unserer Umwelt zu interagieren. Die Muskulatur ist neben der Leber das größte Stoffwechselorgan des Körpers.

Je nach Funktion im menschlichen Körper unterscheidet man drei unterschiedliche Arten von Muskelgewebe:

- ▶ **Skelettmuskulatur:** willkürlich kontrolliert, quergestreift
- ▶ **Herzmuskulatur:** unwillkürlich (nicht steuerbar, vegetativ innerviert), quergestreift
- ▶ **Glatte (viszerale) Muskulatur:** unwillkürlich (nicht steuerbar, vegetativ innerviert), glatt

Kennzeichen der Skelettmuskulatur ist die willkürliche Kontraktionsfähigkeit. Die Herzmuskulatur arbeitet unwillkürlich. Sie ist vegetativ über Sympathikus und Parasympathikus innerviert. Weiterhin unterscheidet man die so genannte glatte Muskulatur, die ebenfalls nicht der Willkürmotorik unterliegt. Glattes Muskelgewebe befindet sich zum Beispiel im Darm und in den Gefäßen.

Da im Bereich der Trainingstherapie die quergestreifte Muskulatur im Vordergrund steht, wird sie im Folgenden eingehend beschrieben.

Die **Skelettmuskulatur** ist sowohl für **dynamische** als auch **statische Muskelarbeit** (s. Kap. 8.3.2) verantwortlich. Dynamische Muskelarbeit beinhaltet die Bewegung, statische stabilisiert die Körperhaltung. Die Muskeln entwickeln Kraft, indem sie kontrahieren. Um die Funktion der Muskeln, insbesondere den Kontraktionsvorgang, zu verstehen, muss man sich zunächst mit der Struktur des gesamten Muskels und der Muskelzelle im Einzelnen befassen. Dieses Verständnis ist die Basis für eine effektive Trainingstherapie.

2.1.1 Aufbau des quergestreiften Skelettmuskels

Der Skelettmuskel besteht aus vielen parallel angeordneten Muskelfaserbündeln (s. Abb. 2.1) und Bindegewebe, dem **Epimysium**. Jedes Bündel oder auch **Faszikel** genannt besteht aus 10–20 Muskelfasern und ist von einer bindegewebigen Hülle, dem **Perimysium** umgeben. Das Perimysium grenzt die einzelnen Bündel voneinander ab. Innerhalb eines Muskelfaserbündels werden wiederum die einzelnen Muskelfasern von dünnen bindegewebigen Septen umhüllt (**Endomysium**).

Durch die Überlappung der Muskelfasern kommt es zur Ausbildung des Muskelbauches. Bei sehr großen Muskeln, z. B. M. latissimus dorsi, können die einzelnen Abschnitte bis zu 30 cm betragen.

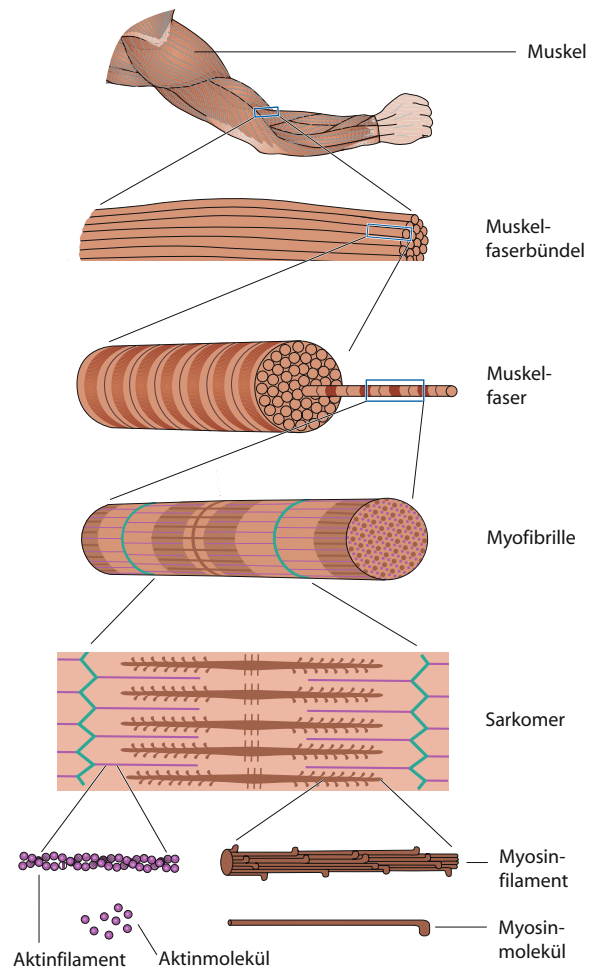


Abb. 2.1. Aufbau des quergestreiften Skelettmuskels

2.1 · Die Muskeln

Bindegewebe

Dem **Bindegewebe** des Muskels kommen wichtige Funktionen zu: zum einen führt es Nerven und Gefäße, zum anderen bewirkt es den Zusammenhalt der einzelnen Komponenten und ermöglicht gleichzeitig die Verschieblichkeit der Muskelfasern untereinander und des ganzen Muskels gegenüber seiner Umgebung. Nicht zuletzt überträgt das Bindegewebe die Muskelkraft sowohl von einer Muskelfaser auf die andere als auch vom Muskel auf die Umgebung.

Gefäße und Nerven

Die **Gefäße**, die im Bindegewebe verlaufen, verzweigen sich im Muskel zu feinsten Kapillarnetzen. Sie liegen parallel zur Faseroberfläche einer jeden einzelnen Muskelfaser. Auch die Nerven verzweigen sich stark. Ein **Motoneuron** sendet seine zahlreichen motorischen Endplatten zu den einzelnen Muskelfasern. Letztendlich sitzt auf der Oberfläche jeder einzelnen Muskelfaser eine **motorische Endplatte**. Dabei bildet das Motoneuron zusammen mit seinen zugehörigen Muskelzellen die so genannte **motorische Einheit** (motor unit, MU). Die verschiedenen Muskelzellen einer motorischen Einheit liegen allerdings verstreut in verschiedenen Faszikeln (= Muskelfaserbündeln). Dadurch ist gewährleistet, dass die Erregung eines Motoneurons eine Kontraktion im gesamten Muskel und nicht nur in einem Faszikel hervorruft (s. auch Kap. 2.1.4).

2.1.2 Struktur der Muskelzelle

Die vielkernige Muskelzelle (=Muskelfaser) entstand aus der Verschmelzung vormals einkerniger **Myoblasten** (Muskelstammzellen). Sie kann bis zu 20 cm lang sein und hat eine zylindrische Form. Ihr Durchmesser reicht von 10 bis 100 μm . Das Zytoplasma der Muskelzelle wird als **Sarkoplasma** bezeichnet, das endoplasmatische Retikulum heißt entsprechend **sarkoplasmatisches Retikulum**. Die Kerne der Muskelzelle liegen direkt unterhalb der Zellmembran (**Sarkolemm**). Das Sarkolemm ist eine Membran, die in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ihrer Kanäle auf Reize zu reagieren. Sie wird durch eine Basalmembran vom Endomysium getrennt.

Die Muskelzelle besteht aus vielen faserartigen Myofibrillen, die dünn oder dick sein können und miteinander verzahnt sind. Myofibrillen enthalten zwei verschiedene **proteinhaltige Filamente**: dicke vorwiegend myosinhaltige Filamente und dünne Filamente, die aus Aktin, Troponin und Tropomyosin bestehen. Die **Querstreifung** der einzelnen Myofibrillen beruht auf der speziellen

Anordnung ihrer Myofilamente (s. Abb. 2.2). Man bezeichnet die dunklen Banden als **A-Streifen**, da sie anisotrop, d. h. stark lichtbrechend sind. Entsprechend werden die hellen Banden als **I-Streifen** bezeichnet. Sie sind isotrop, d. h. weniger stark lichtbrechend. Mitten im I-Streifen findet man eine dunkle Linie, an der die Aktinfilamente angeheftet sind. Dieses ist die **Z-Linie**, sie beschreibt Anfang und Ende eines **Sarkomers**. Jede Myofibrille besteht also aus mehreren aneinandergereihten Sarkomeren. Da die verschiedenen Myofibrillen in einer Muskelfaser parallel zueinander verlaufen, liegen in der Regel die jeweiligen A- und I-Streifen genau übereinander. Dadurch wird die Querstreifung auch bei großer Vergrößerung im Lichtmikroskop erkennbar.

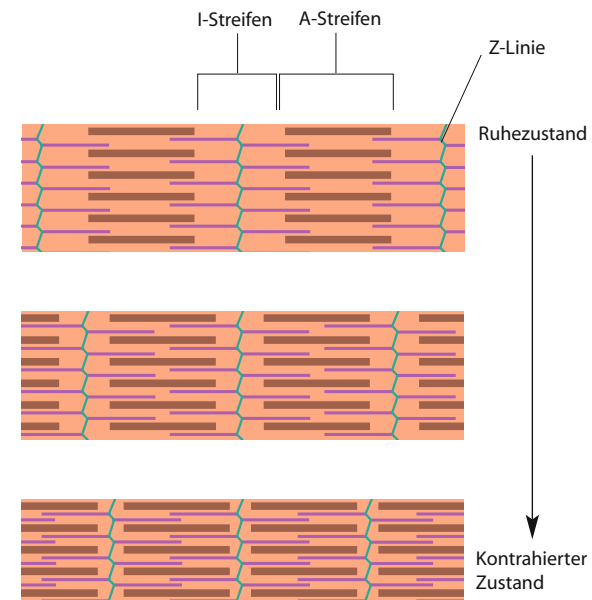
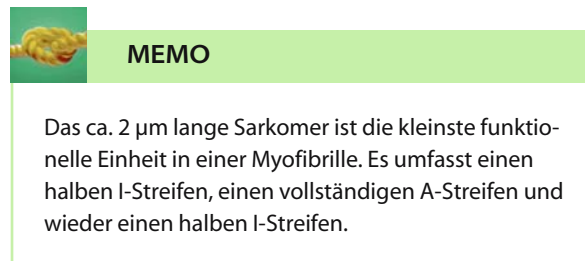


Abb. 2.2. Aufbau eines Sarkomers mit Aktin- und Myosinfilamenten



MEMO

- Muskelfaser = bis zu 20 cm lange, zylindrische, vielkernige (mehrere 1000 Kerne) Muskelzelle, Durchmesser von 10 bis 100 µm. Besteht aus vielen Myofibrillen. Jede Faser wird von Sarkolemm, Basalmembran und Endomysium umschlossen.
- Faszikel = Muskelfaserbündel, von Perimysium umhüllt
- Myofibrille = ist quergestreift; besteht aus Myosin- und Aktinfilamenten. Die Myofibrille ist zylindrisch, hat einen Durchmesser von 0,5–2 µm und liegt in Längsrichtung in der Muskelfaser.
- Sarkomer = kleinste funktionelle Einheit des kontraktiven Elements, läuft von einer Z-Linie bis zur nächsten Z-Linie. Es umfasst einen halben I-Streifen, einen vollständigen A-Streifen und wiederum einen halben I-Streifen.
- Sarkolemm = Zellmembran der Muskelzelle
- Sarkoplasma = Zytoplasma der Muskelzelle. Enthält Zellorganellen, Myofibrillen, Glykogen als Energiedepot und Myoglobin als Sauerstoffträger
- Aktin, Myosin, Troponin, Tropomyosin = kontraktile Proteine
- Sarkoplasmatisches Retikulum = glattes endoplasmatisches Retikulum der Muskelzelle



ZUSAMMENFASSUNG

Aufbau des Muskels

- Ein Muskel besteht aus vielen Muskelfaserbündeln und Bindegewebe.
- Als Epimysium, Perimysium und Endomysium umhüllen Bindegewebsstränge die einzelnen Elemente.
- Ein Muskelfaserbündel umfasst zahlreiche Muskelfasern, die auch als Muskelzellen bezeichnet werden. Jede einzelne Muskelfaser ist über eine motorische Endplatte mit einer Nervenfaser (Motoneuron) verbunden.

2.1.3 Muskelfasertypen

Der menschliche Muskel ist je nach Funktion mosaikartig aus verschiedenen Muskelfasern zusammengesetzt, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Kontraktionsgeschwindigkeit und Ermüdungsresistenz typisiert werden können. Die Fasern der Skelettmuskulatur werden in **Fasern der Arbeitsmuskulatur** (extrafusale Fasern, außerhalb der Muskelspindel gelegen) und **Fasern der Muskelspindeln** (intrafusale Fasern) unterteilt.

Die **extrafusalen Muskelfasern** kontrahieren sich und erschlaffen wieder innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde (Muskelzuckung). Deshalb werden sie auch als **Zuckungsfasern** (engl.: twitch-fibers) bezeichnet. Man unterscheidet zwei verschiedene Faserarten:

- ▶ rote, dünne und langsame Fasern. Sie werden auch als **ST-Fasern** (slow-twitch = langsam zuckende Fasern) oder **Typ-I-Fasern** bezeichnet. Dieser Fasertyp wird bei Muskularbeit geringer Intensität beansprucht.
- ▶ weiße, dicke und schnelle Muskelfasern. Sie werden auch als **FT-Fasern** (fast-twitch = schnellzuckende Fasern) oder **Typ-II-Fasern** bezeichnet. Sie sind vor allem bei schnellkräftigen und intensiven Muskelbeanspruchungen aktiv. Die FT-Fasern werden weiterhin unterteilt in:
 - **Typ-IIA-Fasern:** FT-Fasern mit hoher Tendenz zur Ermüdung; sind reich an Enzymen, die bei länger anhaltenden Kontraktionen mit relativ hoher Kraftentwicklung benötigt werden.
 - **Typ-IIIB-Fasern:** schnelle, ebenfalls leicht ermüdbare FT-Fasern. Rasche Energiebereitstellung durch Glykolyse (hoher Glykogengehalt, nur wenige Mitochondrien). Wichtig für kurze Belastungen mit hoher Kraftentwicklung.
 - **Typ-IIIC-Fasern** (= Intermediärfasern): sind zwischen Typ I und II eingeordnet und entwickeln je nach Training eher Typ-I- oder Typ-II-Eigenschaften.

Auch die **intrafusalen Muskelfasern** lassen sich selbst noch einmal in zwei Gruppen unterteilen: die **Kernsackfasern** und die **Kernkettenfasern** (s. auch Kap. 2.1.4).

Die intrafusalen Muskelfasern besitzen nur in ihren Endbereichen quergestreifte Myofibrillen, in der Mitte fehlen diese kontraktiven Elemente. Deshalb sind die intrafusalen Muskelfasern auch nicht fähig zur Kontraktion.

Die intrafusalen Fasern erfüllen zwei Aufgaben:

1. Sie stellen die Empfindlichkeit der Muskelspindeln durch Spannungs- und Längenänderungen ein.

2.1 · Die Muskeln

2. Sie nehmen die Längenänderung des Muskels wahr (Dehnungsrezeptoren).

Bereits ab dem 20. Lebensjahr nimmt die Zahl der Muskelfasern kontinuierlich ab. Mit 50 Jahren sind bereits 10 % der Fasern verschwunden.



MEMO

Das Verhältnis der verschiedenen Muskelfasern zueinander ist genetisch festgelegt und im überwiegenden Teil der Bevölkerung ungefähr gleich groß. In Ausnahmefällen kann die genetische Verteilung aber auch 90:10 oder 10:90 betragen, wodurch diese Personen hinsichtlich ihrer sportlichen Leistungen einseitig begünstigt sind. Beim „geborenen Sprinter“ überwiegen die FT-Fasern, beim „geborenen Ausdauerleister“ (Marathonläufer) die ST-Fasern.

Carl Lewis soll als bester Sprinter und Springer aller Zeiten einen Anteil von über 90 % an schnellzuckenden FT-Fasern in seiner Muskulatur aufweisen. Durch Training kann die Verteilung an FT- und ST-Fasern nicht oder nur unter extremen Bedingungen (Spitzen-Ausdauersportler) verändert werden. Bei diesen Sportlern findet eine Umwandlung von FT- in ST-Fasern statt. Die Umwandlung von ST-Fasern in FT-Fasern ist hingegen unmöglich, da die Schnelligkeit nicht über vergleichbar lange Trainingszeiten trainiert werden kann.

2.1.4 Innervation und Muskelkontraktion

Am Anfang jeder Art von Muskelkontraktion steht die entsprechende Erregung des Muskels und seiner kontraktilen Elemente durch motorische Nerven (= Motoneurone). Ein Neuron verzweigt sich in viele kleine Äste mit motorischen Endplatten; jeweils eine motorische Endplatte sitzt auf der Oberfläche einer Muskelfaser. Mehrere Muskelzellen werden von einem motorischen Neuron innerviert.

Vorgang der Innervation zur Muskelkontraktion

Für die Erregungsleitung in der Muskelfaser haben das Sarkolemm und das sarkoplasmatische Retikulum eine bedeutende Funktion. Das Sarkolemm umgibt die Muskelfaser ähnlich einer Zellmembran. Es ist eine reizbare Membran: Erregungsreize werden aufgenommen und weitergeleitet. Dies wird ermöglicht über das **transversa-**

le Tubulussystem oder **T-System**. Darunter versteht man senkrechte Einstülpungen an vielen Stellen des Sarkolemm, die als Kanäle fungieren und sich in Abhängigkeit von Aktionspotenzialen öffnen und schließen (s. Abb. 2.3).

Das sarkoplasmatische Retikulum bildet einen weiteren Teil des Erregungsleitungssystems in der Muskelfaser. Es formiert sich als **longitudinales Tubulussystem** zu einem Netzwerk von Kammern (Bläschen), die parallel zu den Myofibrillen liegen und in der Nähe der Z-Linie, d. h. an jedem Ende eines Sarkomers, in einer sackartigen Erweiterung münden. Diese nennt man **terminale Zisterne**. Sie bildet einen Ring um die gesamte Fibrille.

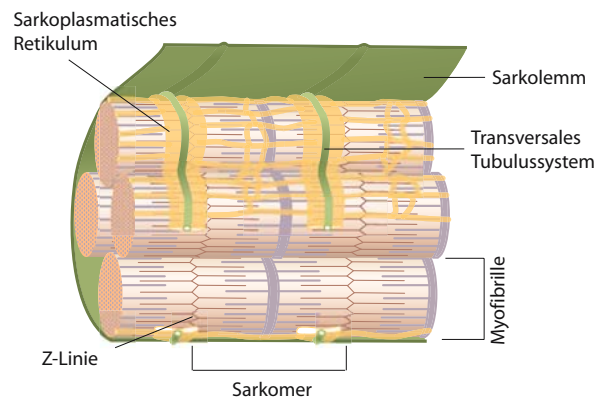


Abb. 2.3. Das Erregungsleitungssystem einer Myofibrille

Die motorischen Einheiten

Nach Sherrington besteht die motorische Einheit aus

- ▶ einer Nervenzelle,
- ▶ ihrem motorischen Axon und
- ▶ allen Muskelfasern, die von diesem Motoneuron versorgt werden (s. Abb. 2.4, S. 14)

Die Zahl der Muskelfasern kann zwischen 5-10 und 1000 variieren. Sie ist umso kleiner, je kleiner die Muskeln und je genauer die auszuführenden Bewegungen sind. Sehr kleine motorische Einheiten versorgen z. B. die Finger-muskulatur. Die Erregung einer motorischen Einheit erfasst jeweils alle zugehörigen Muskelfasern gleichzeitig. Der **Erregungsvorgang** läuft in mehreren Schritten ab. Zunächst breitet sich die Erregung nach dem **Alles-oder-Nichts-Gesetz** über den markhaltigen Axonfortsatz zur Muskulatur aus. Im Bereich der motorischen Endplatte, also der Synapse zwischen der Nervenfaseringung und der Muskulatur, wird durch das Aktionspotenzial **Acetylcholin** aus den präsynaptischen Bläschen freige-

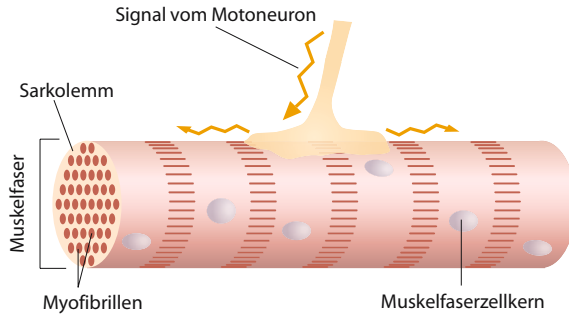


Abb. 2.4. Schematische Darstellung der Innervation einer Muskelfaser

setzt. Das Acetylcholin wird nach Diffusion durch den präsynaptischen Spalt an den Rezeptoren der beteiligten Muskelfasermembran gebunden. Hierdurch kommt es zu einer Depolarisation der Muskelfaser. Jetzt breitet sich die Erregung auf die Enden der Muskelfaser nach beiden Seiten hin aus. Die Verknüpfung zwischen der elektrischen Erregung der Nervenfasern und der hieraus resultierenden mechanischen Kontraktion der Muskelfaser wird als **elektromechanische Koppelung** bezeichnet.

Vorgang der Muskelkontraktion (elektromechanische Koppelung)

Das Prinzip der Muskelkontraktion und -entspannung erkannten Wissenschaftler schon in den fünfziger Jahren. Seither haben sie das Wissen über den Mechanismus immer weiter verfeinert. Einen Meilenstein setzten amerikanische und deutsche Forscher 1993: sie klärten die räumliche Struktur der Myosinköpfe bis ins Detail auf und bestätigten dabei erneut das so genannte **Gleitfilamentmodell** der Muskelkontraktion.

Die Gleitfilamenttheorie

Das longitudinale Tubulussystem hat die Funktion eines Kalziumspeichers. Im Ruhezustand werden die Kalziumionen im sarkoplasmatischen Retikulum gelagert. Jede Muskelfaser hat an ihrer Oberfläche eine motorische Endplatte. Löst nun ein ankommender Nervenimpuls hier ein Aktionspotenzial aus, so wird dieses mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von 1–2 m/s entlang der Zellmembran (des Sarkolemm) weitergeleitet. Es dringt über das T-System in die Tiefe und erreicht dann das longitudinale Tubulussystem. Durch die damit verbundene Aktivierung der Membran des sarkoplasmatischen Retikulums werden Kalziumionen freigesetzt, zuerst in den Zisternen, danach im übrigen sarkoplasmatischen Retikulum. Dies bewirkt eine schlagartig erhöhte intrazel-

luläre Kalziumkonzentration, die wiederum eine Kettenreaktion startet, wodurch letztendlich die Muskelkontraktion ausgelöst wird. Sobald das freigesetzte Kalzium durch die **Kalziumpumpe** (= Retikulummembran) wieder in das sarkoplasmatische Retikulum zurückgepumpt wird, setzt die Muskelrelaxation ein. Geschieht dies nicht, kommt es zu einer Dauerkontraktion des Muskels.

Demnach gibt es drei Stadien im Vorgang der Muskelkontraktion:

1. Erregung
2. Kontraktion
3. Relaxation

► **Erregung:** Die Erregung beginnt mit der Depolarisierung des Sarkolemm. Das Aktionspotenzial breitet sich entlang des T-Systems aus und wird weiter übertragen auf die terminale Zisterne des sarkoplasmatischen Retikulums. Dieser Vorgang löst die Freisetzung von Kalzium aus dem sarkoplasmatischen Retikulum in das Sarkoplasma aus.

► **Kontraktion:** Der eigentliche Kontraktionsmechanismus geschieht im A-Streifen (s. **Abb. 2.2, S. 11**). Normalerweise liegt der Troponin-Tropomyosin-Komplex auf dem Aktin und hält ihn sozusagen besetzt, so dass Myosin nicht direkt mit Aktin reagieren kann. Sobald vermehrt Kalzium freigesetzt wird, binden die Kalziumionen an die entsprechende Stelle des Troponins. Dadurch verändert Troponin seine räumliche Anordnung und rutscht tiefer in die Aktinhelix hinein, Aktin wird an der Oberfläche frei und kann mit Myosin reagieren. Es kommt zur Brückenbildung zwischen dem Myosinkopf im dicken und dem Aktinmolekül im dünnen Filament. Durch **ATP-Spaltung** wird Energie freigesetzt und der Myosinkopf ein kleines Stück umgebogen. Das anhängende Aktinfilament wird bei dieser Verformung über das Myosinfilament gezogen. Der Muskel verkürzt sich (s. **Abb. 2.5–2.8**).

Es sind nicht immer gleichzeitig alle Myosinköpfe mit Aktin in Verbindung. Während Aktin entlang des Myosins gezogen wird, treten andere Myosinköpfe mit Aktin in Kontakt und verbinden sich. Das geht aber erst dann, wenn noch ein ATP-Molekül zur Verfügung steht. Es werden also ständig Brücken gebildet und wieder gelöst (= Ankuppeln-Entkuppeln-Prozess). Sobald kein ATP mehr zur Verfügung steht oder alle Kalziumionen verschwunden sind, werden keine Brücken mehr gebil-

2.1 · Die Muskeln

det, der Myosin-Tropomyosin-Komplex liegt wieder auf dem Aktinfilament. Dies bedeutet das Ende der Kontraktion.

- **Relaxation:** Nachdem das Kalzium wieder in das sarkoplasmatische Retikulum zurückgepumpt worden ist, lösen sich die Bindungsbrücken wieder auf. Die Hemmung der Myosin- und Aktinbindung ist wieder hergestellt, die aktive Spannung verschwindet und der Muskel erreicht wieder seine Ausgangslänge.

Das bisher Gesagte betrifft den Vorgang der **isotonischen Kontraktion**. Betrachtet man noch einmal das Modell (s. Abb. 2.2, S. 11), wird deutlich, dass während einer Kontraktion der A-Streifen immer die gleiche Länge behält. Der I-Streifen verkürzt sich bei der konzentrischen Kontraktion und kann sogar ganz verschwinden, während er sich bei der **exzentrischen Kontraktion** verlängert.

Bei der **isometrischen Kontraktion** reagieren jedoch immer wieder die gleichen Stellen zwischen Myosinköpfchen und Aktinmolekül. Es kommt auch zu einer Drehbewegung des Myosinkopfes, allerdings wird die Kraft, die dabei entsteht, nach außen abgegeben. Es findet kein Verschieben statt und die Sarkomerlänge bleibt gleich. Die Stärke der Kraftentwicklung hängt ab von der Zahl der beteiligten Aktin-Myosin-Verbindungen pro Sarkomer.

Der Vorgang ähnelt dem Tauziehen, bei dem die Seilmannschaften ziehen, nachfassen, ziehen. 5–50mal pro Sekunde läuft ein solcher Zyklus in jedem Sarkomer ab. Etwa 20 Milliarden Querbrücken müssen mitwirken, damit der Muskel ein einziges Gramm anheben kann.

Blutversorgung des Muskels

Die Eintrittsstelle der versorgenden Blutgefäße (Arterien und Venen) liegt meist im mittleren Abschnitt des Muskels (Hilum). Oft treten hier auch die Nerven ein. Diese versorgen den Muskel mit motorischen und sensorischen Fasern. Die Blutgefäße verzweigen sich innerhalb des Perimysiums und dringen mit ihren Endverzweigungen (Arteriolen und Venolen) in die Sekundär- und Primärbündel ein. Die Kapillaren sind überwiegend in Längsrichtung der Muskelfasern orientiert. Die durchschnittliche Kapillardichte eines Muskels beträgt ungefähr 1,5 Kapillaren pro Muskelfaser. Muskelfasern, die auf Dauerleistung ausgelegt sind (Typ-I-Fasern), besitzen eine rund 1,5fach höhere Kapillardichte. Bei sportlichem Training nimmt die Kapillardichte bis auf das 1,7-fache zu (Drenckhahn 1994).

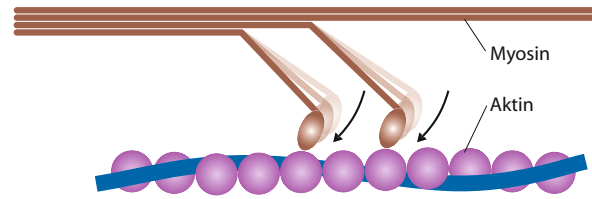


Abb. 2.5. Phase 1: Bindung von Myosin an Aktin (Ankuppeln)

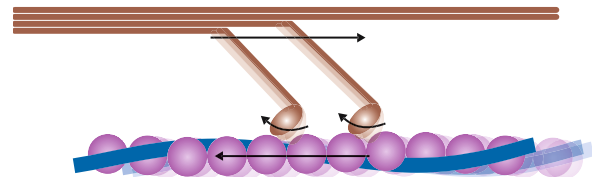


Abb. 2.6. Phase 2: Umbiegen des Myosinkopfes. Demzufolge gleiten die Enden des Sarkomers aufeinander zu.

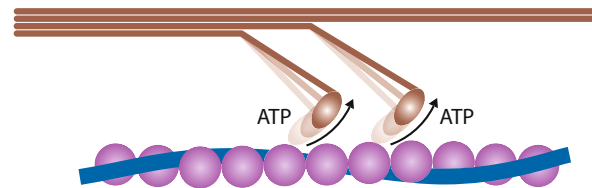


Abb. 2.7. Phase 3: ATP löst die Bindung (Entkuppeln)

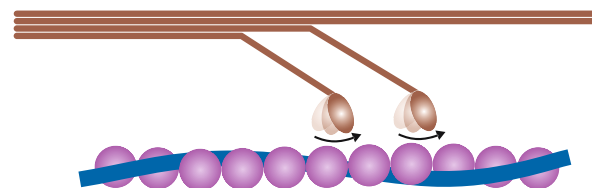


Abb. 2.8. Phase 4: Das Sarkomer erreicht wieder seine Ausgangslänge (Relaxation)

Rezeptoren

Alle Bewegungen der Skelettmuskulatur können nur ausgeführt werden, wenn die entsprechenden Informationen, die aus dem ZNS zum Muskel geleitet werden, dort auch erkannt werden können. Dafür besitzt der Skelettmuskel verschiedene Arten von Rezeptoren:

- Muskelspindeln
- Golgi-Sehnenorgane

Muskelspindeln

Muskelspindeln bestehen aus einer bindegewebigen Kapsel, die eine spindelartige Form aufweist (s. Abb. 2.9). Sie sind ca. 5–10 mm lang und 0,2 mm dick. In dieser Spindel befinden sich 10–20 sehr dünne intrafusale Muskelfasern.

Pro Muskelspindel gibt es ca. ein bis zwei **Kernsackfasern**. Sie besitzen in der Mitte eine sackartige Erweiterung, in der bis zu 50 Zellkerne liegen. Alle anderen intrafusalen Fasern einer Spindel sind die **Kernkettenfasern**, deren Zellkerne längs hintereinander angeordnet sind.

Die intrafusalen Muskelfasern haben sowohl zu afferenten als auch zu efferenten Nervenfasern Kontakt. **Afferente Neurone** sind hier z. B. die A-Alpha- und A-Beta-Fasern, die kurz nach dem Eintritt in die Muskelspindel ihre Schwannsche Scheide verlieren. Sie treten mit ihren verzweigten Endigungen an die Fasern heran. **Efferente Neurone** sind die motorischen A-Gamma-Fasern. Sie bilden über motorische Endplatten oder auch Endnetze den Kontakt zu den intrafusalen Fasern.

Die **Aufgabe der Muskelspindeln** ist hauptsächlich die eines Dehnungsrezeptors. Muskelspindeln registrieren die Länge eines Muskels und damit dessen Dehnung und geben diese Informationen an das ZNS weiter: Wird ein Muskel gedehnt, so dehnen sich die darin liegenden Muskelspindeln mit. Dadurch werden in den zugehörigen afferenten Fasern Aktionspotenziale ausgelöst.

Die ankommenden Aktionspotenziale der efferenten Gamma-Fasern bewirken an den Enden der intrafusalen Fasern eine Kontraktion. Dadurch wird der zentrale

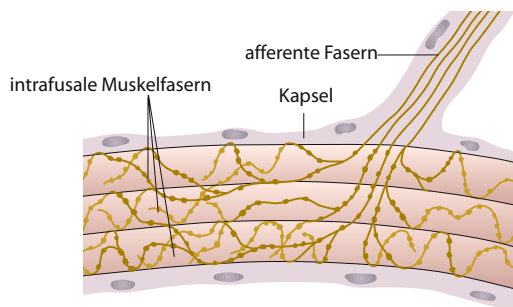


Abb. 2.9. Aufbau einer Muskelspindel

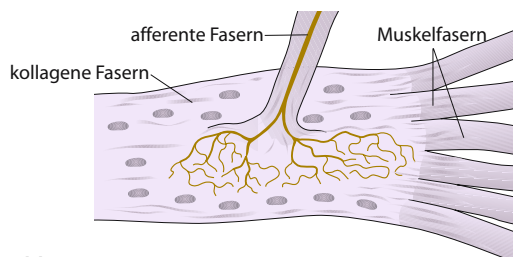


Abb. 2.10. Aufbau eines Golgi-Sehnenorgans

Bereich dieser Fasern gedehnt und führt zu einer Erregung der in diesem Bereich liegenden Dehnungsrezeptoren. Es ist leicht verständlich, dass die Skelettmuskulatur der Augen oder der Hände, die sehr differenzierte Bewegungen ausführen müssen, eine höhere Dichte an Muskelspindeln besitzt als z. B. die Muskulatur des Rumpfes.

Golgi-Sehnenorgane

Die als Golgi-Sehnenorgane bezeichneten Rezeptoren liegen in Serie zu den Muskelfasern zwischen den kollagenen Fasern der Sehnen. Sensorische Nerven und kollagene Faserbündel sind umgeben von einer bindegewebigen Hülle (s. Abb. 2.10). Die dazugehörigen Nervenfasern sind ebenfalls myelinlos, d. h., sie verlieren bei Eintritt in das Sehnenorgan ihre Schwann'sche Scheide. Mit ihren kolbenförmigen Endungen bilden sie zwischen den kollagenen Fasern ein Netzwerk.

Die Golgi-Sehnenorgane registrieren die Spannung des Muskels. Wird er kontrahiert, so werden die entsprechenden Sehnen gespannt. Sie nähern sich aneinander an, damit kommt es zu einer räumlichen Verengung im Bereich der Sehnen. Die Sehnenorgane werden komprimiert und stimuliert. Auf Neurone, die die Skelettmuskulatur versorgen (Alpha-Motoneurone), haben Golgi-Sehnenorgane eine hemmende Wirkung.



ZUSAMMENFASSUNG

Rezeptoren des Muskels

- Muskelspindeln sind hauptsächlich Dehnungsrezeptoren: sie registrieren die Länge und damit die Dehnung eines Skelettmuskels. Muskelspindeln findet man am zahlreichsten in Körperregionen, die differenzierte Bewegungen ausüben müssen.
- Golgi-Sehnenorgane registrieren die Muskelspannung. Sie liegen zwischen den kollagenen Fasern der Sehnen und bilden hier ein Netzwerk.



ÜBERPRÜFEN SIE IHR WISSEN

- Welches sind die kontraktile Elemente einer Muskelfaser?
- Was versteht man unter konzentrischer, exzentrischer und isometrischer Muskelarbeit?
- Was besagt die Sliding-Filament-Theorie?
- Welche Rezeptoren im Muskel registrieren die Dehnung?

2.2 Die Sehnen



LERNZIELE

Kenntnisse über

- die Anatomie der Sehne
- die Differenzierung des Muskel-Sehnen-Übergangs und der Insertion
- die Insertionstendopathien

Hilfseinrichtungen der Muskulatur sind Sehnen oder Aponeurosen (platte und flächenhafte Endsehnen von Muskeln). Die Muskelfasern sind über eine oder mehrere Sehnen am Knochen bzw. Knorpel befestigt. An der Muskelsehnenverbindung findet die Übertragung der Muskelkraft auf die Kollagenfibrillen der Sehnen statt.

Die Befestigung der Muskeln am Knochen geschieht durch die aus dichtem (straffem) parallelfaserigem Bindegewebe bestehenden Sehnen. In ihnen setzen sich die Bindegewebsfasern des Muskels fort. Ebenso erlauben die Sehnen die Verbindung von Muskelbäuchen untereinander. Die Aufgabe der Sehnen als Verbindungselement zwischen Muskeln und Knochen besteht darin, mit Hilfe der Muskelkraft die Knochen zu bewegen.



MEMO

- Den Ansatz der Sehne am Knochen nennt man auch Insertionszone oder kurz Insertion.
- Die Befestigung der Sehne am Muskel wird als muskulotendinöser Übergang oder Muskel-Sehnen-Übergang bezeichnet.

2.2.1 Aufbau der Sehnen

Sehnen bestehen aus dichten, straffen kollagenen Bindegewebsfasern, die durch das Peritendineum internum (= das die Sehne umhüllende Bindegewebe) zu Bündeln zusammengefasst sind. Sie liegen parallel nebeneinander und laufen in eine definierte Richtung. Die Faserbündel werden gemeinsam umhüllt vom Peritendineum externum. Peritendineum internum und externum bestehen aus lockerem Bindegewebe. In ihnen werden Nerven und Blutgefäße in die Sehnen geführt.

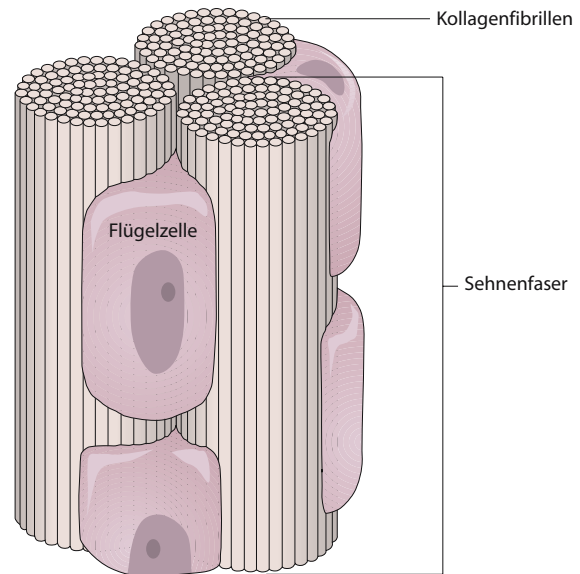


Abb. 2.11. Aufbau einer Sehne

Zwischen den einzelnen Fasern liegen die so genannten Flügelsellen (auch Sehnenzellen genannt) in langen Reihen angeordnet (s. Abb. 2.11). Ihre äußere Form weist schmal ausgezogene, zipfelige Enden auf, die Flügel. Diese ermöglichen es den Sehnenzellen, sich der Form der sie umgebenden Kollagenfaserbündel anzupassen und sich entsprechend anzulagern.

Je nach ihrer Lokalisation besitzen die Sehnen unterschiedliche Formen von rundlich (z. B. die Sehnen der Extremitätenmuskeln) über flachoval bis flächenförmig (z. B. die Sehnen der Abdominalmuskeln).

Muskel-Sehnen-Übergang

Die Skelettmuskelfaser bildet mitsamt der Basalmembran an den Enden tiefe Einstülpungen, die wie die Finger eines Handschuhs in das Muskelinnere ragen (s. Abb. 2.12, S. 18). In diese Einstülpungen wiederum ragen gebündelte kollagene Fasern der Sehnen und befestigen sich an der Basalmembran. Reticuläre Fasern der Muskelfaseroberfläche verlaufen auf der Oberfläche der Sehne weiter.

Insertion

Die Insertionszone beschreibt die Verbindungsstelle der Sehne zum Knochen. Da Sehne und Knochen eine sehr unterschiedliche Elastizität aufweisen, besteht die Funktion der Insertionszone darin, über die Befestigung hinaus den Ausgleich zwischen diesen beiden Systemen herzustellen. Hieraus wird leicht verständlich, dass diese

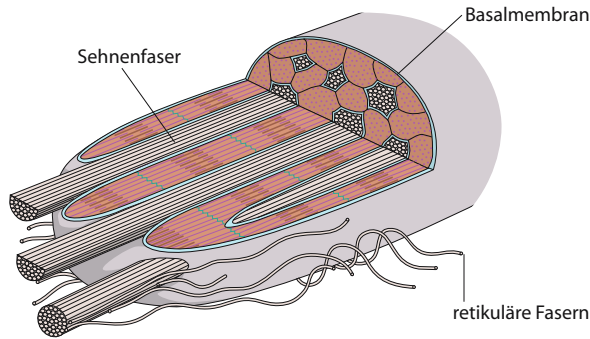


Abb. 2.12. Muskel-Sehnen-Übergang

Zone einer hohen Beanspruchung unterliegt und damit leicht verletzbar ist. Störungen in diesem Bereich bezeichnet man als Insertionstendopathien. Sie entwickeln sich vor allem durch hohe und sich schnell wiederholende Zugwirkungen. Auf solche Reize reagiert das Sehnen Gewebe mit Entzündungen und Verschleißerscheinungen (s. Memo). Im Besonderen gilt dies für die Achillessehne, Supraspinatussehne, Adduktorensehnen, die Sehne des M. extensor carpi radialis, die Quadrizeps- und Patellarsehne (s. Abb. 2.13).

Im akuten Stadium behandelt man Insertionstendopathien mit Schonung und partieller Ruhigstellung. Sobald möglich, beginnt man mit lockernden dynamischen Übungen im beschwerdefreien Bewegungsbereich. Im chronischen Stadium kommen Friktionen und die Behandlung mit Ultraschall zur Anwendung. Damit verfolgt man das Ziel, die Durchblutung anzuregen und die Wundheilung zu optimieren.

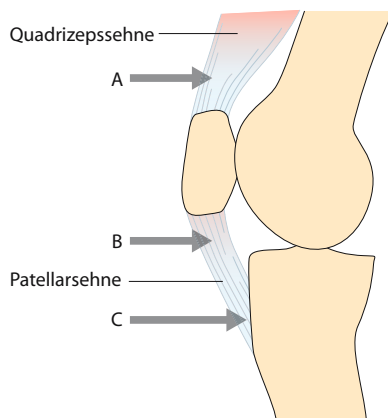


Abb. 2.13. Schmerzpunkte beim „Springerknie“ (modifiziert nach Ferreti et al., 1990). Auftretende Häufigkeit: zu 25 % im Bereich der Quadrizepssehne (A), zu 65 % im oberen Bereich der Patellarsehne (B) und zu 10 % im unteren Bereich (C) der Patellarsehne.



MEMO

- Reißen aufgrund plötzlicher Überbelastung einzelne Sehnenfaserbündel ein, so kann dies sehr schmerzhaft sein und wird als **Zerrung** bezeichnet. Von einer **Sehnenruptur** hingegen spricht man, wenn die komplette Sehne gerissen ist.
- Bei langjähriger chronischer Überbeanspruchung (beispielsweise bei Leistungssportlern) unterliegen die Sehnen frühzeitigen degenerativen Veränderungen (= Verschleißerscheinungen). Die Kollagenfibrillen spleißen an einigen Stellen des Sehnen Gewebes auf. Dies vermindert die Stabilität und Funktionalität der Sehne, so dass sie in der Folge schon bei geringen Belastungen reißen kann.



ZUSAMMENFASSUNG

- Sehnen befestigen die Muskeln am Knochen sowie die Muskeln untereinander.
- Sie bestehen aus dichtem kollagenen Bindegewebe und zeigen je nach Lokalisation eine unterschiedliche äußere Form.
- Die Verbindung der Sehne zum Muskel nennt man Muskel-Sehnen-Übergang, die Befestigung der Sehne am Knochen wird als Insertion bezeichnet. Verletzungen in diesem Bereich werden unter dem Begriff Insertionstendopathien zusammengefasst.



ÜBERPRÜFEN SIE IHR WISSEN

- Aus welchem Gewebe bestehen Sehnenfasern?
- Was versteht man unter einer Insertion?
- Wie verändern sich die Sehnen bei chronischer Überbeanspruchung?