

Zeitschrift: Physiotherapie = Fisioterapia
Herausgeber: Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband
Band: 30 (1994)
Heft: 11

Artikel: Normale Funktion des Bindegewebes und seine Reaktion auf physische Belastung und auf Ruhigstellung nach Trauma
Autor: Morree, J.J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-929355>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Normale Funktion des Bindegewebes und seine Reaktion auf physische Belastung und auf Ruhigstellung nach Trauma

Für das leichtere Verständnis des folgenden Artikels möchten wir darauf hinweisen, dass in der männlichen Form der Personen auch die weibliche enthalten ist.

Zusammenfassung

In diesem Artikel werden einige Aspekte der Grundstruktur des Bindegewebes, seine Reaktionen auf physische Belastung, seine Adaptation während der Ruhigstellung nach einer Verletzung sowie seine Reaktion auf die Genesung vorgestellt. Dieses Thema ist für den Physiotherapeuten von besonderem Interesse, da er bei der somatischen Behandlung meistens mit den Bindegewebsbestandteilen des Körpers des Patienten in Berührung kommt. Bei Bindegewebsverletzungen kommt der Beweglichkeit zur Aufrechterhaltung der Kraft im Alltag und während der Heilungsperiode eine besondere Bedeutung zu. Bindegewebsveränderungen, die während der Ruhigstellung auftreten, können grösstenteils verhindert werden, wenn während des Heilungsprozesses die Beweglichkeit ermöglicht wird.

Die Physiotherapeuten kommen bei der Behandlung ihrer Patienten mit einer grossen Zahl von Bindegewebe in Kontakt: Haut, Bindegewebsanteile in Muskeln und ihren Sehnen, Ge-

lenke, einschliesslich Knochen, Knorpeln, Kapseln, Bändern und Synovialflüssigkeit.

Alle diese Bindegewebe bieten dem menschlichen Körper Schutz und führen mechanische Kräfte. Das Bindegewebe setzt sich im wesentlichen aus vier Bestandteilen zusammen:

- **Zellen**
- **Fasern**
- **Grundsubstanz**
- **Wasser**

Wie alle Körpergewebe enthält Bindegewebe Zellen, die sogenannten Fibroblasten, die für die Produktion der Fasern und der Interzellularsubstanz oder Grundsubstanz verantwortlich sind. Diese Substanzen werden dann hauptsächlich im Körperwasser eingelagert.

Zwei Hauptarten von Fasern geben dem Gewebe seine Form und Stärke: die Kollagenfasern und die elastischen Fasern.

Die Kollagenfasern kommen in demjenigen Bindegewebe vor, das beim Strecken die Dehnungsfähigkeit und Widerstandskraft gewährleistet. Als Beispiele hierfür sind Sehnen und Bänder zu erwähnen. Die Fibroblasten sind sehr schwach und übertragen selbst keine mechanischen Kräfte. Die Stärke eines Bindegewebes hängt grösstenteils von der

Menge der Kollagenfasern und der Grundsubstanz ab. Die Achillessehne kann beispielsweise 10 000 N/cm² tragen.

Sehnen und Bänder tragen die Muskelkraft über ein oder mehrere Gelenke ohne wesentliche elastische Verformung. Bei normalen Sehnen und Bändern können die Kollagenfasern bis zu 5% gedehnt werden, bevor sie reissen. Sehnen, die verlängert werden können wie ein Seil für das Bungee-Jumping, könnten eine willentliche Bewegung enorm beeinträchtigen.

Elastische Fasern werden in Geweben eingelagert, die einfacher gedehnt werden können und schnell in ihre ursprüngliche Form zurückkehren müssen. Elastin ist ein komplexes Molekül, das um 150% gedehnt werden kann. Die Haut, das Ligamentum flavum der Wirbelsäule und die elastischen Knorpel in der Nase und in den Ohren sind gute Beispiele für Einlagerungen von elastischen Fasern. Betrachten wir zuerst die Kollagenfasern. In Abbildung 1a sieht man eine dreidimensionale Rastermikroskopaufnahme eines kleinen Teils der Haut.

Kollagenbündel verlaufen in alle Richtungen. Diese Bündel setzen sich aus kleinen Kollagenfasern zusammen. Zwischen ihnen sieht man einige Fibroblasten; sie sind aber nur ein kleiner

Teil des Gewebes. Die Haut kann in allen Richtungen gezogen, gedehnt und zusammengedrückt werden. Die Kollagenfasern müssen diese Kräfte richtig leiten und absorbieren.

In Sehnen und Bändern verlaufen diese Kräfte eher in eine Richtung. Die Kollagenfasern sind in parallelen Bündeln angeordnet, um diese Kräfte wie in Abbildung 1b zu leiten. Besonders typisch ist das wellenförmige Erscheinungsbild der Kollagenfasern, das nicht auf einen Artefakt in der Zubereitungstechnik zurückzuführen ist, sondern einer normalen biomechanischen Anpassung entspricht.

Kollagenbündel setzen sich aus vielen Kollagenfasern zusammen, die ein typisches Streifenmuster aufweisen. Dieses wird durch die regelmässige Anordnung der Moleküle verursacht, die von den Fibroblasten produziert werden. Fibroblasten können keine langen Kollagenstränge bilden wie Spinnen, die ein Netz weben. Sie produzieren aber kleine Proteine, die sogenannten Prokollagene, die sie im interzellulären Raum einlagern. In diesem Raum verbinden sich die Prokollagene und bilden mittels elektrischer Ladungen auf ihrer molekularen Oberfläche und mittels Enzymen Fasern.

Frisch gebildetes Kollagen ist nicht dehnungsresistent, da zwischen den Kollagenmolekülen in den Fasern nur wenige chemische Verbindungen bestehen. In funktionell gebildetem Gewebe werden die Kollagenfasern mit der Zeit immer stärker. Innerhalb von Wochen oder Monaten erhalten die Moleküle, die Fasern und damit auch das Gewebe aufgrund von vernetzenden Reaktionen im Kollagen eine grössere Dehnungskraft.

Die Stärke des Bindegewebes hängt nicht allein vom Kollagen ab. Ein zweiter wichtiger Faktor ist die Grundsubstanz mit ihren komplexen Molekülen, den sogenannten Proteoglykanen. Der interzelluläre Raum, der mit Grundsubstanz angefüllt ist, ist ein gut organisiertes System. Es gibt verschiedene Arten von Proteoglykanen, die alle eine spezifische Wirkung auf die Einlagerung und den Durchmesser des Kollagens in einem Gewebe haben. Diese Moleküle werden auch von den Fibroblasten produziert. Die Proteoglykane bestehen aus langen Proteinketten, die Stränge mit besonderen Zuckern enthalten. Diese besonderen Zucker (Chondroitinsulfat und Dermatan-sulfat) besitzen eine negative elektrische Ladung, die sich aus den Hydroxyl- und Sulfatgruppen ergibt. Grosse Wolken mit negativer Ladung auf der molekularen Oberfläche öffnen im Wasser die Proteoglykane. Negative Ladungen ziehen die Kollagenfasern zu dem elektrostatisch an, da das Kollagen viele positive elektrische Ladungen aufweist. Die negativen Proteoglykane binden Wasser und bilden eine geleeartige Grundsubstanz. Damit wird verhindert, dass das Wasser in die äussersten Körperteile fliesst, z.B. in Hände und Füsse.

Abbildung 2 zeigt die Kontakte zwischen Kollagenfasern und Proteoglykanen. Die Interaktion der elektrischen Ladungen zwischen Kollagen, Grundsubstanz und Wasser macht aus dem Bin-

degewebe ein Material, das gegenüber mechanischen Belastungen Widerstand leistet. Zusätzliche Grundsubstanz macht ein Gewebe stärker, indem die Verbindung der Grundsubstanz mit den Kollagenfasern intensiviert wird. Dieser Vorgang ist mit dicker Tomatensauce vergleichbar, die alle Spaghetti zusammenkleben lässt. Die metabolische Zerstörung der Grundsubstanz oder des Kollagens schwächt jedoch diese Struktur.

Auf welche Reise hin produzieren Fibroblasten Kollagen? Diese Zellen reagieren auf Gewebezerrungen. Wird Kollagen bei mechanischer Belastung des Gewebes in die Grundsubstanz eingeschoben, so werden die elektrischen Ladungen der Moleküle verschoben. Je grösser die Verschiebung des Gewebes, desto mehr elektrische Änderungen treten auf. Die Fibroblasten können diese Vorgänge erkennen. Diese Adaptation ist eine mehrheitlich lokale Reaktion. Es haben aber auch einige Hormone einen Einfluss auf das Bindegewebe. Wachstumshormone und Testosteron stimulieren die Fibroblasten, während Hydrocortison (einschliesslich die synthetischen Kortikosteroide) die Kollagen- und Grundsubstanzbildung hemmt.

Wenn ein Bindegewebe stärker belastet wird als gewöhnlich, beispielsweise bei einem Sportler, der sein Training intensiviert, produzieren die Fibroblasten mehr Kollagen und Grundsubstanz, um das Gewebe vor dieser zunehmenden Belastung zu schützen. Die Fibroblasten sind erstaunlicherweise in der Lage, die Kollagenfasern parallel zur Krafrichtung einzulagern.

Bei einem wachsenden Organismus und bei der Narbenbildung sind die langsame Kraftentwicklung des Kollagens und die zunehmende Schwierigkeit, diese enzymatisch wieder zu brechen, funktionale Anpassungen. Während der frühen Entwicklung eines Fötus werden hohe Anforder-

ungen an das Gewebewachstum gestellt, und die Körpermasse ändert schnell. Kollagen, das eingelagert wird, kann eine Woche später schon überflüssig werden. Es wird abgestossen und durch Kollagen in einer funktionaleren Richtung ersetzt. Das Kollagen beim Erwachsenen hat hingegen eine Lebensdauer von mehreren Jahren.

Biomechanische Aspekte des Bindegewebes

Sehnen, Bänder und Knochen müssen Dehnungen und Biegungen ertragen. Sehnen oder Bänder werden bei physiologischen Belastungen wie beim Gehen, Laufen und Springen jedoch leicht gedehnt. Abbildung 3 zeigt eine Sehne, die sich aus Kollagenbündeln zusammensetzt. Ein Bündel enthält vor allem Kollagenfasern und einige Fibroblasten (bei Sehnen Tenoblasten), die zwischen den Fasern liegen. Das wellenförmige Erscheinungsbild der parallelen Kollagenfasern sieht man links. Unter physiologischer Belastung werden die Wellen gedehnt. Die Energie wird von der Grundsubstanz absorbiert. Nur bei sehr schweren Belastungen werden die Kollagenfasern selber gedehnt.

Experimente in bezug auf die Kraft der Bänder können durchgeführt werden, indem ein Band mit Knochen in einer Vorrichtung montiert wird, die mit zunehmender Kraft an beiden Enden zieht. Abbildung 4 zeigt die Resultate einer Untersuchung, die mit Kreuzbändern von Hunden angestellt wurde. Die erhobenen Daten können graphisch dargestellt werden: Eine Kurve kann die Dehnungskraft oder die Spannkraft ausdrücken. Vertikal wird die Kraft in Newton und horizontal die Dehnung in mm dargestellt. Der Ausgangspunkt der Kurve zeigt die Dehnung der Zehenregion unter physiologischen Bedingungen. Hier tritt das

PRAXIS

Strecken der Wellen ein. Im oberen Abschnitt der steilen Kurve werden die Kollagenfasern überdehnt und damit beschädigt. Eine anspruchsvollere Untersuchung wurde von Prof. Lamontagne durchgeführt, der in der menschlichen Kniesehne in vivo eine Messvorrichtung implantiert hat. Mit diesem Gerät konnte die Dehnung der Kniesehne durch den Musculus quadriceps bis zu einer maximalen willentlichen Kontraktion gemessen werden. Die Kurve in Abbildung 6 zeigt die Zehenregion und den ersten Abschnitt der steilen Kurve der Belastungs-/Dehnungskurve. Die Sehne ist offensichtlich nicht maximal belastet. Nur während sehr schnellen Bewegungen und bei einer Belastung durch grosse äussere Kräfte wie beispielsweise bei Unfällen wird das Bindegewebe überbelastet. Dann kann eine Ruptur der Kollagenfasern auftreten.

Die physiologische Dehnung einer Sehne kann bei ballistischen Bewegungen und beim Laufen verwendet werden. Bei schnellem Laufen oder beim Springen wird die Achillessehne während der exzentrischen Kontraktion der Ferse gedehnt. Die Energie der Bewegung wird in der Sehne als elastische Energie gespeichert und kann beim nächsten Schritt sofort wieder als Antrieb verwendet werden. Diese Wirkung kann mit einem springenden Ball oder einem Pogo-Stick verglichen werden. Bei Känguruhs wird die elastische Energiereserve beim schnellen Hüpfen auf 60% geschätzt. Beim Menschen liegt sie bei schätzungsweise 10 bis 20%.

PRAXIS

Sensorisch-motorische Funktion der Kapseln und Bänder

Im Muskel-Skelett-System muss noch ein anderer Aspekt der Bänder und Kapseln berücksichtigt werden. Nebst dem rein mechanischen Verhalten haben die Bänder auch eine wichtige Funktion bei der sensorisch-motorischen Kontrolle von Bewegungen. Eine Reihe von spezialisierten Sensoren wie Pacini-Körperchen, Golgi-Rezeptoren und freie Nervenenden informieren das Gehirn über den Ablauf einer Bewegung. Strukturen wie Kreuzbänder oder Meniskus in den Knien, Zwischenwirbelscheiben in der Wirbelsäule und die Scheibe im radioulnaren Gelenk sind gut innerviert. Durch komplexe Bewegungsreflexe der Gelenke kann eine Bewegung früh korrigiert werden. Bänder sind nicht für maximale Belastungen geschaffen. Tierstudien haben geringe Belastungen der Bänder beim Gehen und Traben gezeigt. Die Bänder helfen, das Nervensystem zu informieren, damit die Muskeln richtig aktiviert werden und ein reibungsloser und komplexer Bewegungsablauf erreicht wird.

Die Belastungs-/Dehnungskurve in Abbildung 4 zeigt lediglich die Belastung, die ein Band ertragen kann, und nicht die Belastung, die es bei willentlichen Bewegungen in der Regel ertragen muss. Die Muskeln schützen die Bänder vor einer übermässigen Dehnung. Nur wenn ein geplanter Bewegungsablauf verhindert wird, z.B. wenn ein Fussballspieler von einem anderen gestossen oder getreten wird oder wenn beim Treppensteigen ein Fehltritt gemacht wird, kön-

nen Verstauchungen und vollständige Bänderrisse auftreten.

Bindegewebe und Gelenkbewegungen

Die Bewegung in einem Gelenk hängt nicht nur von Muskelkontraktionen und der Führung der Bänder ab. Die Form der Gelenkoberflächen, die Zusammensetzung des Knorpels und der lubrifizierenden Gelenkschmiere sind für eine gute Leistung auch notwendig. Gelenkknorpel ist eine besondere Art von Bindegewebe, da er Druck ertragen muss, im Gegensatz zu Sehnen und Bändern, die Dehnungen ausgesetzt sind. Knorpel wird während des Wachstums von Chondrozyten (spezielle Knorpelfibroblasten) gebildet und enthält grosse Mengen an Proteoglykanen und Wasser, in die die Kollagenfasern eingebettet sind. Die grosse Wassermenge trägt dazu bei, dass Knorpel Stösse so gut absorbieren kann. Beim Zusammendrücken erfolgt eine Verformung des Knorpels, und die Berührungsflächen der Oberflächen vermehren sich, was zur Verringerung der zusammendrückenden Kraft im darunterliegenden Knochen führt. Knorpel schützt den Knochen vor starken, komprimierend wirkenden lokalen Kräften, die den Knochen beschädigen und das Knochenwachstum im Gelenkraum stimulieren können. Bei Arthritispatienten mit beschädigten Gelenkoberflächen existiert die absorbierende Funktion nicht mehr, und es kann zu einer schweren Deformierung des Gelenks oder sogar zu einer knöchernen Verbindung der gegenüberliegenden Flächen kommen.

Während des Wachstums werden die Gelenkoberflächen für den Rest unseres Lebens ausgebildet. Junge Knorpelzellen werden durch die Kapillaren des darunterliegenden Knochenmarks ernährt. Beim Erwachsenen tritt jedoch

eine Verkalkung des Randes zwischen dem Knochen und dem Knorpel auf. Erwachsenenknorpel ist nicht innerviert und nicht durchblutet. Die Nährstoffe für die Chondrozyten werden via Diffusion von der Synovialmembran der Kapsel an die Zellen verteilt. Die Ernährung funktioniert am besten, wenn die Gelenke oft bewegt werden. Durch die Bewegungen in der Synovialflüssigkeit werden die Nährstoffe von der Kapsel in den Gelenkraum transportiert.

Die Chondrozyten im Knorpel des Erwachsenen können kein Kollagen mehr produzieren, was eine Wiederherstellung nach einer Verletzung praktisch verunmöglicht. Die Zellen produzieren als Reaktion auf die Deformierung während alltäglichen Bewegungen nur Proteoglykane. Die pumpende Wirkung der Bewegung unterstützt den Transport von Nährstoffen in den Knorpel der Gelenkoberflächen. Die Proteoglykane ziehen Wasser an, das die Knorpel anschwellen lässt. Diese Schwellung wird zu einem gewissen Zeitpunkt durch die Gegenkraft der gestreckten Kollagenfasern limitiert.

Abbildung 6 zeigt einen Querschnitt der obersten Schicht des Gelenkknorpels. Die Knorpelzellen, die direkt unter der Gelenkoberfläche liegen, sind flach und enthalten sehr wenig Plasma und wenig Ribosomen. Diese histologischen Erkenntnisse zeigen, dass diese Zellen nicht aktiv sind. Das entspricht der Meinung, dass der normale Knorpel beim Erwachsenen intakt bleibt, gut lubrifiziert ist und die abgetragene Oberfläche nicht ersetzt werden muss. Viele Leute geben an, dass sich ihre Gelenke mit zunehmendem Alter abnutzen und brüchig werden. Beim gesunden Menschen ist dies jedoch nicht der Fall. Der zunehmende Verlust der Muskelkraft ist die Hauptursache für Bewegungsprobleme bei gesunden alten Menschen.

Abbildung 7 zeigt die Gelenkoberfläche eines 16jährigen Mäd-

chens (Vergrösserung: 7500x). An der Oberfläche befindet sich zufällig ein Erythrozyt. Obwohl man eine spiegelartige Oberfläche erwartet, ist diese eher rauh. Wie können die Gelenke ohne Reibung funktionieren? Während der Bewegung wird das Gelenk bzw. der Gelenkraum durch eine «Wunderflüssigkeit», die Synovialflüssigkeit, geschmiert. Die Synovia enthält Hyaluronsäure, ein komplexes Kohlenhydrat, aufgelöst in Gewebeflüssigkeit. Wird das Gelenk nicht bewegt, muss die Synovialflüssigkeit zähflüssig oder klebrig sein. Die Makromoleküle der Hyaluronsäure binden eine grosse Menge Wasser und bilden wie die Proteoglykane ein Gel. So kann die Synovia vom Kontaktbereich nicht einfach in das Gelenk gepresst werden. Die Grübchen an der Oberfläche können kleine Mengen der zähflüssigen Synovia auffangen.

Während der Bewegung muss das Schmiermittel sehr flüssig sein, um die Entwicklung von Hitze mittels Reibung zu reduzieren. Bei einer Maschine können diese beiden Funktionen nicht mit einer einzigen Flüssigkeit erfüllt werden, beim Menschen ist dies hingegen möglich.

Abbildung 8 zeigt zwei Gelenkoberflächen mit dazwischenliegender Synovia. Bei den meisten Bewegungen bewirkt die Drehung der beiden Gelenkteile, die durch die Bänder fixiert werden, dass diese rutschen statt rollen. Die Kräfte, die in der Synovia durch das Rutschen freigesetzt werden, verdrängen die Wassermoleküle aus der Hyaluronsäure. Dabei wird die Synovia im Kontaktbereich während kurzer Zeit flüssiger. In den Grübchen der Oberfläche bleibt die Synovia zähflüssig. Die Synovialflüssigkeit wird im relativ stabilen Teil des Gelenks, in Entfernung des Kontaktbereichs, wieder zu einem zähflüssigen Gel.

Es ist leicht verständlich, dass die vermehrte Flüssigkeitsansammlung (Hydrops) in einem

Le concept d'assurance FSP – une solution pratique pour les physiothérapeutes.

Grâce au concept d'assurances élaboré par la FSP en collaboration étroite avec la Mobilière Suisse, Société d'assurances, la Rentenanstalt/Swiss Life et la caisse-maladie Sanitas, nous proposons désormais aux membres de la Fédération et à leurs familles des prestations de services couvrant la totalité du thème «assurances». De A à Z.

Nous allons continuer, d'entente avec nos partenaires, à améliorer ce concept et à le compléter au besoin.

Les partenaires de la Fédération suisse des physiothérapeutes


Mobilière Suisse
Société d'assurances

Rentenanstalt 

Swiss Life 


sanitas

® **Voltaren**
® **Emulgel**

schmerzfrei beweglich

**bei Rheumaschmerzen,
Verstauchungen, Prellungen**

Zusammensetzung: 100 g Voltaren Emulgel enthalten 1,16 g Diclofenac-Diäthylammonium. Ausführliche Angaben, insbesondere Anwendungseinschränkungen siehe Arzneimittel-Kompendium der Schweiz. Tuben zu 50* und 100g. *50 g kassenzulässig.

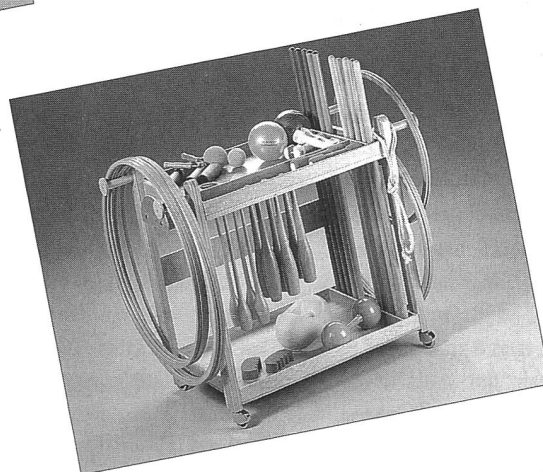
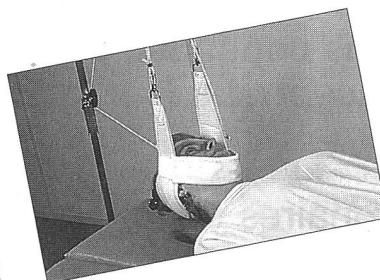
**Kühlend wie ein Gel,
geschmeidig wie eine Crème**

Zyma Healthcare Zyma SA, 1196 Gland, Tel. 022 364 64 00
A member of the Ciba group

keller

Simon Keller AG

Planung - Qualität - Service ist NIE Zufall
UNSERE ERFAHRUNG = IHR VORTEIL



Unser aktuelles Lieferangebot:
 Kofferliegen, Massageliegen, Gymnastikliegen, Therapieliegen, Vojta/Bobath-Liegen,
 Decken-Schlingen-Geräte, **THERAPI MASTER**, Rollen, Keile, Kissen, Überzüge, Papierauf-
 lagen, Massagegeräte, Elektrotherapiegeräte, Hydrotherapie-, Unterwasser- und
 Fangoanlagen, UV/IR-Bestrahlungsgeräte, Fitness-, Gymnastik- und Rehabilitations-
 geräte, Saunas, Solarien, Hyperniefango, Wärme- und Kältepackungen, Massage-
 und Einreibungsmittel, Ölbäder, Bade-Extrakte, Sauna-Konzentrate, Reinigungs- und
 Desinfektionsmittel, Kabinenwäsche, und NEU: individuelle und praxisgerechte
 Einrichtungen für Empfang, Warteraum, Behandlungs- und Besprechungszimmer.

- ☐ Ich bitte um Beratung durch Aussendienst-Mitarbeiter.
☐ Ich bitte um Zustellung des Physio-Kataloges.

Meine Adresse und Telefonnummer:

keller

Simon Keller AG

CH-3400 BURGDORF/SCHWEIZ
 Lyssachstrasse 83 (beim Bahnhof)
 Telefon 034 - 22 74 74 +75
 Telefax 034 - 23 19 93

Gelenk nach einem Unfall die empfindliche Synovia zu stark verdünnt. Nach einem operativen Eingriff wie z.B. nach Meniskusentfernung sollte das Knie während einigen Tagen nur mit grosser Vorsicht bewegt werden, wenn möglich unbelastet. Eine Bewegung aufgrund willentlicher Muskelkontraktion oder Schwerkraft verursacht einen Kontakt der Knorpeloberflächen, was zu einer irreparablen Abnützung führt.

Die Zerstörung des Knorpels wird in der Regel erst sehr spät diagnostiziert, weil Knorpel bekanntlich nicht innerviert sind und deshalb keine Signalfunktion besitzen. Die Wiederherstellung von verletztem Knorpel beim Erwachsenen ist unter natürlichen Bedingungen fast unmöglich, und sogar die hochentwickelte Chirurgie war bis heute in diesem Bereich nicht sehr erfolgreich. Nach Verletzungen auftretende Blutklümpchen (Hämarthroi) im Gelenkraum fördern den Abnützungsprozess. Das Blut muss entfernt werden. Der Hydrops muss sich weitgehend zurückgebildet haben, bevor die vollständige und aktive Mobilität erlaubt werden darf.

Ruhigstellung

Jetzt, da wir die verschiedenen Bindegewebe kennen, wenden wir uns den Auswirkungen der Ruhigstellung zu. Wir haben gesehen, dass Fibroblasten als Reaktion auf die mechanische Gewebedeformierung Grundsubstanz und Kollagen produzieren. Während der Ruhigstellung werden die Fibroblasten nicht entsprechend stimuliert. Beim lebenden Gewebe findet eine natürliche Erneuerung der Moleküle statt. Während der Ruhigstellung hört die Molekülproduktion auf, und der Zerfall geht weiter, was zu einem schwächeren Gewebe führt. Nach einigen Wochen ist ein bedeutender Verlust der Gewebestärke feststellbar.

Anhand einer gewöhnlichen Verletzung wie der schmerzhaften Handgelenks- oder Knöchelverstauchung können wir die Auswirkungen der Ruhigstellung illustrieren. Hier sind nur weiche Gewebe betroffen, keine Knochen- oder Knorpelfraktur kompliziert die Verletzung. Die sofortigen Reaktionen auf Verstauchungen sind:

- Blutung und Blutkoagulation
- entzündliche Reaktion;
- Hydrops (Hämarthros) und Ödem;
- Reflexhemmung der Muskelkontraktion durch Überdehnung der Kapsel wegen Hydrops;
- mangelnde Gelenkstabilität (koordinierende und mechanische) wegen Bänderriss.

Die Überdehnung und Zerrung der Kapillaren in Bändern und Kapseln führt zum Austritt von Plasmaflüssigkeit und – schlimmer noch – zu Blutungen. Sofortiges Kühlen kann eine Entzündung, eine starke Schwellung und Schmerzen verhindern. Nach der Vasokonstriktion der Gefässe kann ein elastischer Verband angelegt werden, um gegenüber der Flüssigkeitsfiltration, die für Ödeme und Hydrops verantwortlich ist, einen Gegendruck auszuüben.

Die Kühlung sollte nur während kurzer Zeit erfolgen, um der entzündlichen Reaktion eine Chance einzuräumen. Lokale Gewebevermittler wie Prostaglandine und Bradykinine können nur bei Körpertemperatur gebildet werden. Sie stimulieren das Eindringen von Makrophagen und Fibroblasten in das verletzte Gewebe. Dies ist ein wichtiger Schritt für die Wiederherstellung. Die Schwellung löst die Grundsubstanz auf, und die Fibroblasten können sich im geschwollenen interzellulären Raum einfacher bewegen.

Nebst der Entzündung entsteht wegen der Dehnung der Kapsel durch den Hydrops eine lokale Muskelreflexhemmung, was zu verminderter Muskelkraft

und Gelenkinstabilität führt.

Die Therapie der Wahl bei Bindegewebsverletzungen bestand früher in strikter Ruhigstellung, um durch Ruhe eine Genesung herbeizuführen. Das erfolgte beispielsweise über einen Gips oder eine Schlinge. Angesichts des funktionalen Bewegungsstimulus der Fibroblasten ist dieses Vorgehen kontraproduktiv. Heute hat das Wissen um die negativen Auswirkungen einer ruhiggestellten Extremität zu einer Veränderung hin zu anderen Therapieformen geführt. Welches sind die unerwünschten Wirkungen einer länger dauernden Ruhigstellung?

- Muskelatrophie und Atrophie der Sehnenansätze
- Knochenatrophie
- Atrophie der Gelenkknorpel
- Verminderte Zugfestigkeit der intakten periartikulären Gewebe wie z.B. Bänder

Diese Anpassungen sind gemäss Wolffs Gesetz, nach dem sich ein Gewebe der ausgeübten Belastung anpasst, rein physiologischer Natur. Diese Anpassungen treten bei allen beteiligten Bindegeweben auf und führen nach 4 bis 6 Wochen zu einer beträchtlichen Atrophie. Der grösste Teil der Atrophie ist während der Rekonvaleszenz reversibel und kann sogar verhindert werden, wenn der Patient seine Beweglichkeit behält. Eine Muskelatrophie ist auf einen Mangel an konzentrischen Muskelkontraktionen (Muskelpumpe) zurückzuführen. Der mangelnde Nervenstimulus führt ausserdem zu einer Verringerung der Muskelmasse. Auch die Sehnenansätze verlieren an Zugfestigkeit. Die Knochenatrophie und Osteoporose, besonders bei alten Menschen, bedroht die Kraft der Hüften und Beine.

Dem Knorpel fehlt die Kompression der Gelenkbewegung, die die Chondrozyten dazu anregt, Grundsubstanz zu produzieren. Die Diffusion der Nährstoffe von der Synovia zu den darunterliegenden Zellen wird auch sehr

PRAXIS

schwierig, da die Synovia nicht mehr über die Gelenkoberflächen hinweggleitet.

Der Knorpel wird in den Oberflächenbereichen, die ständig in Kontakt stehen, am meisten geschwächt.

Für den Physiotherapeuten ist die Schwächung des periartikulären Bindegewebes wie Kapseln, Bänder und Sehnen schwierig festzustellen. Das faserige Bindegewebe verliert seine Kraft. Dieser Verlust ist jedoch nicht so offensichtlich wie bei der Muskelatrophie. Bis vor kurzem ging man davon aus, dass das Bindegewebe während der Ruhigstellung steifer und weniger elastisch wird, was zu einer Einschränkung der Gelenkbewegung führt.

Viele Studien haben bewiesen, dass die Belastungs-/Dehnungskurve (Darstellung der Belastung, die die Bänder ertragen können) stark abfällt. Das unbeschädigte periartikuläre Bindegewebe schrumpft jedoch nicht und zieht sich nicht zusammen, wenn es während einiger Wochen ruhiggestellt wird. Es wird im Gegenteil dehnbarer.

Bei frei laufenden Kaninchen hat die Ruhigstellung des Hinterbeins mit einem Gips die Kraft der Kreuzbänder in 9 Wochen auf 25% reduziert. Ähnliche Resultate zeigen sich bei Hunden, Affen und Schweinen. Bei Hunden führt eine sechswöchige Ruhigstellung zu einem Verlust von 40% der Kraft.

Die Bewegungseinschränkung einer Extremität nach Ruhigstellung kann nicht so einfach auf eine einzige Ursache zurückgeführt werden. Patienten, bei denen während einer gewissen Zeit eine Ruhigstellung ohne Verletzung vorgenommen wurde, haben Probleme mit der Bewegungsrich-

PRAXIS

tung und den Bewegungsmöglichkeiten. Diese Probleme sind auf eine Reihe komplexer Faktoren zurückzuführen. Bei Schultern und Ellbogen tritt nach einer fünf- bis sechswöchigen Ruhigstellung mit Schlinge infolge Fraktur ein starker Rückgang der Bewegungsmöglichkeiten auf.

Die Muskelatrophie, die geschwächten Bänder, die grössere Zerstörung der Oberflächenknorpel als Folge des Grundsubstanzverlusts und der mangelnden Lubrifizierung sind zusammen für die Beeinträchtigung der Gelenkfunktion verantwortlich. Das geschwächte periartikuläre Bindegewebe verursacht eine Änderung des Rutschverhaltens der Gelenkoberflächen während der Drehung. Die gegenüberliegenden Gelenkoberflächen bewegen sich während eines Bewegungsablaufs in verschiedene Richtungen. Wenn ein Band während einer Gelenkbewegung stärker gedehnt wird, verändert sich auch die sensorische Antwort. Die Gelenksensoren bei einem spezifischen Gelenkscharnier signalisieren ein vollständig anderes Muster. Die Rückmeldungssignale verändern sich, und die Bewegungskontrolle wird sehr schwierig.

Bei gesunden Menschen sind die Anpassungen des Bindegewebes in einem Genesungsprogramm innerhalb von Tagen oder Wochen reversibel.

Nur wenn die Ruhigstellung länger als zwei Monate dauert, haben die Fibroblasten nur Informationen über die aktuelle Position und häufen das neu gebildete Kollagen in dieser Position an. Das kann eventuell zu einer zu kurzen Kapsel oder zu einem zu kurzen Band führen.

Bei stark entzündetem Bindegewebe wie z.B. bei der Periar-

thritis humeroscapularis wird um und in den Kapseln und Bändern der Schulter viel Bindegewebe abgelagert, was die Bewegungsmöglichkeiten einschränkt. Der Schmerz schränkt die Bewegungsfreiheit des Patienten zunehmend ein, bis die Entzündung nach einem oder zwei Jahren aufhört.

Der Physiotherapeut sollte sich bewusst sein, dass die Adaptation eines Muskels und seines Bindegewebes die Sache noch komplizierter macht. Nach einer gewissen Zeit der Ruhigstellung kann eine zu plötzliche Erweiterung der Bewegungsmöglichkeiten durch therapeutische Massnahmen Schaden verursachen.

Ein gesunder Muskel hat eine optimale Länge des Muskelbauchs, damit eine vollständige Beugung und Streckung des Gelenks möglich ist.

Abbildung 9 zeigt die Veränderungen des Muskelsarkomers während der Ruhigstellung. Die oberste Reihe zeigt der Einfachheit halber nur 4 Sarkomere statt die 10 000 bis 50 000, die ein Muskel in einer Reihe enthalten kann. Eine optimale Überlappung der Aktine und Myosine in der Mitte der Bewegungsmöglichkeiten ist abgebildet (z.B. ein Bizeps in 90°-Beugung). Aus dieser Position kann sich ein Muskel verkürzen und verlängern. In der zweiten Reihe wird der Muskel verkürzt, indem nach einer normalen Kontraktion Aktine und Myosine übereinandergleiten. Während der Ruhigstellung adaptiert sich ein Muskel innert Wochen in seiner Funktionsweise an eine konstant verkürzte Position. Dabei werden die Sarkomere an beiden Enden der Muskelfaser reihenweise entfernt (s. dritte Reihe). Innerhalb von zwei bis drei Wochen produziert der Muskel eine optimale Sarkomerüberlappung in der verkürzten Position. In der Zwischenzeit wurde das neu gebildete Kollagen auch im Muskelbauch eingelagert.

Nach einer solchen Ruhigstellungsperiode sollte der Physio-

therapeut nicht versuchen, die Bewegungsmöglichkeiten zu schnell zu erweitern. Eine aggressive passive Muskeldehnung, z. B. anhand der Janda-Methode, zwingt den verkürzten Muskel in eine verlängerte Position, in der er keine Kraft produzieren kann (s. letzte Reihe auf dem Bild). Die Aktine und Myosine in den Sarkomeren werden auseinandergerissen und überlappen kaum. Der Patient kann in der verlängerten Position nicht genügend Kraft produzieren. Gleichzeitig werden Kollagen und Kapillaren überdehnt, was zu Mikrotraumen und Entzündungen führt. Diese Massnahmen sollten vermieden werden, damit das Bindegewebe und das Muskelgewebe intakt bleiben.

Bei der funktionalen Therapie muss der Patient seine verkürzten Muskeln isometrisch in einer verlängerten Position, in der er keine Schmerzen verspürt, kontrahieren. Dabei erfolgt ein funktionaler Stimulus für eine Genesung innerhalb einiger Wochen. Der Muskel bildet neue Sarkomere, um eine optimale Überlappung zu erreichen. Das nichtfunktionale Kollagen im Muskelbauch wird enzymatisch abgebaut. Das periartikuläre Bindegewebe erhält Zeit, um mehr Grundsubstanz zu produzieren und damit seine Kraft aufzubauen.

Die beste funktionale Genesung besteht in einem Verzicht auf Ruhigstellung. Das verhindert die vorher genannten atrophischen Wirkungen. Die Wiederherstellung des verletzten Gewebes wird in der Zwischenzeit stark unterstützt, indem es während der Bewegung Informationen über seine funktionale Deformierung erhält.

Wundheilung

Wir haben bis jetzt noch nicht vom Heilungsprozess des verletzten Gewebes gesprochen. Ich wollte vor allem auf die schädlichen Auswirkungen der Ruhig-

stellung auf das gesunde Gewebe hinweisen. Jetzt wenden wir uns jenen Vorgängen zu, die wir während der Wundheilung beim verletzten Gewebe, den Bändern und Kapseln beobachten können.

Die Wundheilung kann in verschiedene Phasen unterteilt werden. Die entzündliche Phase beginnt unmittelbar nach der Verletzung. Blut füllt die Wunde aus und koaguliert, um die Blutung zu stillen. Gewebe- und Plasmafaktoren werden aktiviert. Makrophagen, Granulozyten und Lymphozyten dringen in den verletzten Bereich ein. Die beschädigten Kapillaren beginnen mittels Proliferation der Endothelzellen der Gefässwände zu wachsen. Diese Phase kann drei bis vier Tage dauern. Zu diesem Zeitpunkt ist keine aktive Therapie erforderlich. Das physiotherapeutische Hauptziel besteht in der Schmerzstillung und in der Rückbildung der Ödeme. Das Training der Muskelkraft ist unnötig, da der Schmerz einen Spinalreflex auslöst, der die Muskeln um das verletzte Gelenk hemmt.

Die Fibroblastenphase beginnt nach zwei Tagen. Die Fibroblasten werden durch die entzündlichen Substanzen angezogen. Die Zellen wandern in die Wunde und beginnen sich zu teilen, um ein Reparaturgewebe zu bilden. Nach einer Woche produzieren die Fibroblasten eine grosse Menge Proteoglykane, um die lokale Körperflüssigkeit zu stabilisieren. Während Blutklümpchen aufgelöst werden, werden kleine Kollagen-Typ-III-Fasern und Fibronectin nach einem zufälligen Muster in der Grundsubstanz abgelagert. Die kleine, netzartige Faserstruktur, die sich in der Wunde entwickelt, informiert die Fibroblasten über die Richtung, in der während einer Bewegung Spannung ausgeübt wird.

Während dieser Phase ist die Bewegung sehr wichtig. Sonst lagern die Fibroblasten das gesamte, neu gebildete und starke Kollagen Typ I nach einem zufälligen

Muster ab. Das kann zu einer unerwünschten faserigen Narbe führen, die mit dem ursprünglichen Band wenig Ähnlichkeit besitzt. Genau das passiert bei einem Gips. Bei Patienten, deren Bewegungsfreiheit nicht eingeschränkt ist, erhält das heilende Gewebe die richtigen Informationen. Bei der Behandlung mit einem schützenden Stützband oder mit einer besonderen Tapetechnik wird selektiv verhindert, dass das Gelenk eine verletzende Bewegung ausführt. Dabei können jedoch die meisten Bewegungen ausgeführt werden.

Die Stärke des Bindegewebes steigt während der Umformungsphase an. Die Kollagenmenge steigt nicht länger an. Einerseits wird relativ viel neues Kollagen gebildet, andererseits zerfällt das Kollagen an funktional weniger wichtigen Positionen. Die Umformungsphase ist eine aktive Phase. Sie beginnt nach einem Monat und kann ein Jahr oder länger dauern. Das Kollagen wird durch Vernetzung der Kollagenmoleküle in den Kollagenfasern stärker. Der Patient ist in der Regel mobil, und die Umformung wird in einer funktionalen Situation durchgeführt.

Bei der Wiederherstellung von Sehnen, die in die Sehnenscheide rutschen, wie z.B. die Beugesehne in der Hand, muss der Rolle der Sehnenscheide besondere Beachtung geschenkt werden. Normalerweise verhindert die Synovialflüssigkeit im Hohlraum der Scheide, dass zwischen der Sehne und den umliegenden Geweben eine Reibung entsteht.

Wenn die Sehne und die Scheide ernsthaft verletzt sind, wandern Fibroblasten von der Scheide in die Wunde und füllen den Synovialraum auf. Wenn eine Bewegung in den ersten Wochen blockiert wird, führt die sich entwickelnde, faserige Gewebenarbe dazu, dass die Sehne mit der Synovialmembran, den Faserbändern, den Muskeln und der Haut verwächst. In diesem Fall kann der Finger nicht mehr aktiv gebeugt

werden. Den Patienten versorgt man daher am besten mit einer kleinen, dynamischen Schiene, die ein elastisches Band enthält, das von der Fingerspitze bis zur Handfläche reicht. Das aktive Ausstrecken des Fingers kann so jeden Tag trainiert werden, da die Streckmuskeln intakt sind. Die in Heilung begriffene Beugesehne gleitet in der genesenden Scheide ohne Belastung und wird durch ihren eigenen Muskel gestreckt. So wird die funktionale Wiederherstellung stimuliert, und Verwachsungen mit dem umliegenden Gewebe können verhindert werden.

Vernarbtes Gewebe neigt dazu, sich nach ungefähr zwei Wochen aufgrund der Wirkung der Myofibroblasten (eine besondere Art von Fibroblasten), die sich in der Narbe bilden, zu kontrahieren. Myofibroblasten nehmen mit dem eingelagerten Kollagen über Fibronectinmoleküle Kontakt auf. Die Myofibroblasten ziehen am Kollagen und versuchen, den Narbenbereich im reparierten Gewebe so klein wie möglich zu machen.

Nach einigen Monaten kann eine Bändernarbe von der biochemischen Zusammensetzung her ähnlich aussehen wie das ursprüngliche Bändergewebe. Die biomechanischen Eigenschaften unterscheiden sich jedoch. Im Alltag und während der Therapie darf nicht vergessen werden, dass vernarbtes Gewebe die ursprüngliche Gewebestärke nicht erreichen kann. Versuche mit Affen, Hasen und Hunden haben jedoch gezeigt, dass innerhalb eines Jahrs 70% wiedererlangt werden können.

Der Begriff der sensorisch-motorischen Funktion der Bänder zeigt, dass mit einer regenerierten Innervierung die schützende Funktion der reparierten Bänder für normale Bewegungen ausreicht.

Beweglichkeit – ein wichtiger Faktor bei der Heilung

Untersuchungen haben gezeigt, dass Kaninchen mit Kreuz-

bandriss im Knie die besten Heilungsfortschritte machen, wenn sie in keiner Weise eingeschränkt oder behandelt werden. Beim Menschen führt ein unbehandelter vorderer Kreuzbandriss bei Patienten mit geringem Risiko zu einer relativ geringen Knieinstabilität, wenn die Muskelstärke richtig trainiert wird. Eine meiner Kolleginnen hat sich bei einem Skiunfall vor zwei Jahren in Morgins einen schweren Knie-schaden zugezogen. Ihre Kreuzbänder und ein Mittelband waren gerissen. Nach einem Jahr war die Kniefunktion bei dieser 50jährigen Frau ohne Operation wieder hergestellt. Sie kann einzig keine Marathonläufe mehr bestreiten. Bei Spitzenathleten ist eine wiederherstellende Operation geeigneter, da sie das Training so schnell wie möglich wieder aufnehmen wollen und ihre sportlichen Aktivitäten nicht während Monaten einstellen können. Ehrgeiz und Verdienst sind hier wichtiger.

Um darzulegen, dass Menschen gleich reagieren wie Tiere, zeigt Abbildung 10 die Resultate einer Untersuchung, die von Van Moppes und Van den Hoogenband mit drei verschiedenen Therapien bei einem Fussknöchelinversionstrauma vorgenommen wurde.

Das Diagramm zeigt vertikal die Anzahl der wieder arbeitsfähigen Patienten und horizontal die Anzahl Wochen nach der Verletzung. Bei den Patienten der ersten Gruppe (A) wurde das Band chirurgisch genäht, und der Knöchel wurde während sechs Wochen mit einem Gips ruhiggestellt. Die zweite Gruppe (B) wurde nur mit einem Gips ruhiggestellt. Bei der dritten Gruppe (C) wurde ein Taping gemäss Coumans angebracht, das den verletzten Knöchel stabilisiert.

Das Diagramm zeigt, dass die Patienten der Tapinggruppe C früher wieder arbeitsfähig waren

P RAXIS

als die beiden Gipsgruppen (A und B). Nach sechs Wochen war die Mehrheit der Patienten (C) wieder aktiv. Das Taping und die Bewegung verbesserten das Wohlbefinden der Patienten, stimulierten die funktionale Reparatur der Narbe und verhinderten eine Atrophie. Ein weiterer Parameter – die Wiederaufnahme von sportlichen Aktivitäten zeigt ähnliche Ergebnisse. Dieser drückt das Vertrauen in die wiedergewonnene Stabilität des Knöchels aus. Die Gruppe mit Taping weist auch hier wieder ein gutes Ergebnis auf. Innerhalb von neun Wochen waren 68% in dieser Gruppe in der Lage, Sport zu treiben. In den beiden anderen Gruppen waren es nur 12% und 7%.

Zahlreiche Untersuchungen haben den Vorteil einer frühen Mobilisierung nach Verletzungen gezeigt. Wir alle sollten mehr Vertrauen in die natürliche Selbstheilungsfähigkeit unseres Körpers haben. Taping und Stützband bieten Wohlbefinden und Sicherheit für den mobilen Patienten, während er sich bewegt. Sie verhindern weitere Verletzungen und bieten dem Patienten Bewegungsfreiheit. Patienten, bei denen eine solche Behandlung vorgenommen wird, sollten ein ausgeprägteres Verantwortungsbewusstsein besitzen und über die Nutzen und Gefahren der Mobilität während der Wiederherstellung informiert sein.

In den letzten 15 Jahren wurden viele theoretische Erkenntnisse über die Funktion und die Heilung gewonnen. Die Fähigkeit des menschlichen Körpers, sich vielseitig anzupassen, sollte jedoch stärker gewürdigt werden.