Zeitschrift: Physiotherapie = Fisioterapia
Herausgeber: Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband
Band: 36 (2000)
Heft: 12

Artikel: Regulationsmechanismen des Muskeltonus : (Teil 1)
Autor: Stoller, Nicole / Walz, Brigitte / Radlinger, Lorenz
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-929539

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: 06.12.2025

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

PRAXIS

Regulationsmechanismen des Muskeltonus (Teil 1)

Nicole Stoller (Physiotherapeutin);
Dr. phil. nat. Brigitte Walz (Physiologin);
Dr. Lorenz Radlinger (dipl. Sportlehrer, Sportwissenschaftler);
Diplomarbeit an der Feusi Physiotherapieschule Bern (Schulleiter: Eugen Mischler), Physiotherapieschule Feusi, Effingerstrasse 15, 3008 Bern, E-Mail: pts@feusi.ch

Begriffe wie «hypertone Muskulatur» oder «Verspannung» werden im klinischen Sprachgebrauch von Ärzten und Physiotherapeuten oft benutzt. Doch zur Klinik und zum Begriff Tonus bestehen unterschiedliche Ansätze.
Dieser 1. Teil des zweiteiligen Artikels beschreibt eine mögliche Definition von Tonus, bei der zwischen einer kontraktilen und einer viskoelastischen Komponente unterschieden wird und zeigt weitere Definitionen verschiedener muskulärer Spannungszustände wie Spasmus, Kontraktur u. a. Es folgt eine Darstellung des hypothetischen Schmerz-Verspannung-Schmerz-Zyklus und anderer Circuli vitiosi, welche an der Tonusveränderung beteiligt sein könnten. Die darauf folgende Diskussion dieser Theorien zeigt deren Schwachstellen auf und beschreibt neuere hypothetische Ansätze.

Begriffserklärung

Um die verschiedenen Phänomene, die in engem Zusammenhang mit Muskeltonus stehen, besser verstehen und unterscheiden zu können, werden sie anhand möglicher Definitionen erklärt *(Abb. 1)*.

Die viskoelastische und kontraktile Komponente des Muskeltonus

Ein viskoelastischer Tonus wird durch die physikalischen Eigenschaften des Gewebes (osmotischer Druck von Flüssigkeiten, elastische Spannung von konnektiven Geweben, durch Faszien ausgeübter Druck und Zug) bestimmt. Der viskoelastische Tonus unterscheidet sich von einem kontraktilen Tonus, welcher sich durch Aktivierung des Aktin-Myosin-Komplexes charakterisiert (Mense 1993, 273) *(siehe Abb. 3)*. Während die Grösse der elastischen Komponente durch die Distanz der Bewegung charakterisiert wird *(siehe Abb. 2)*, zeichnet sich die visköse Komponente durch die Bewegungsgeschwindigkeit aus (Simons und Mense 1998, 2).

In einem ruhenden Muskel herrscht ein viskoelastischer Tonus. Ob unter diesen Umständen das EMG gar keine Aktivität oder eine durch die Muskelspindel erzeugte Basisaktivität aufzeigt, ist umstritten (Franssen 1995, 199; Wydra 1993, 106; Freiwald u. Engelhardt 1994, 329). Im Sinne der obigen Definition kann ein muskulärer Hypertonus entweder einer Änderung des passiven Gewebes (z.B. entzündliche Schwellung) oder einer Erhöhung der neuromuskulären Aktivität zugeschrieben werden.
Die klinische Definition von Muskeltonus verlangt oft den Widerstand bei passiver Bewegung, was bedeutet, dass nebst Eigenschaften vom Muskel selber (und von anderen Geweben) auch spinale Reflexphänomene ins Spiel kommen, die zur Muskelsteifheit beitragen können (Simons und Mense 1998, 2).
Als Ruhespannung des Muskels bezeichnet Wiemann et al. (1998, 111) die elastische Spannung des inaktiven Muskels (oder der inaktiven Muskelfaser). Sie steigt mit zunehmender Dehnung des Muskels exponentiell an und wird bei

Tonus:
Der Spannungszustand des Muskels; besteht aus einer passiven, viskoselastischen Komponente in Abhängigkeit vom Dehnungsgrad, und aus einer aktiven, durch die Kontraktion bedingten Komponente (= kontraktiler M). Der aktive Tonus lässt sich beim Skelettmuskel durch Messung der elektrischen Erregung mittels EMG bestimmen.

Kontraktur:
Unwillkürliche Dauerverkürzung bestimmter Muskeln bzw. – evtl. mehrerer – Muskelgruppen als rückbildungs- oder nicht rückbildungsfähiges Geschehen mit dem Effekt einer anhaltenden Gelenkzwangsstellung (Gelenkkontraktur, Arthrogryposis). Nach der Ursache unterschieden, z. B. als myogene (muskulaturbedingte), desmogene (bänder-, faszienbedingte), tendogene (sehnenbedingte), ischämische (bei Durchblutungsnot der Muskeln), neurogene (nerval bedingte, z. B. als paralytische = lähmungsbedingte), dermatogene (hautnarbenbedingte) K., oder aber als angeborene, zufallsbedingte, systemische (bei Krankheiten des Skelettsystems), inaktivitätsbedingte K. (= Ruhesteife).

Verspannung:
Muskelhartspann.

Muskelhartspann:
Reflektorischer Dauertetanus eines quergestreiften Muskels (wie Myogelose, jedoch den ganzen Muskelbauch betreffend).

Myogelose:
Spindelig-knotige, druckschmerzhafte, auch in Narkose nicht schwindende Muskelverhärtung infolge kolloidchemischer Veränderungen oder Spannungszunahme (Muskeltonus) einzelner Fasern; v. a. nach längerer Fehlbeanspruchung, bei «Muskelrheumatismus»; vgl. Muskelhartspann.

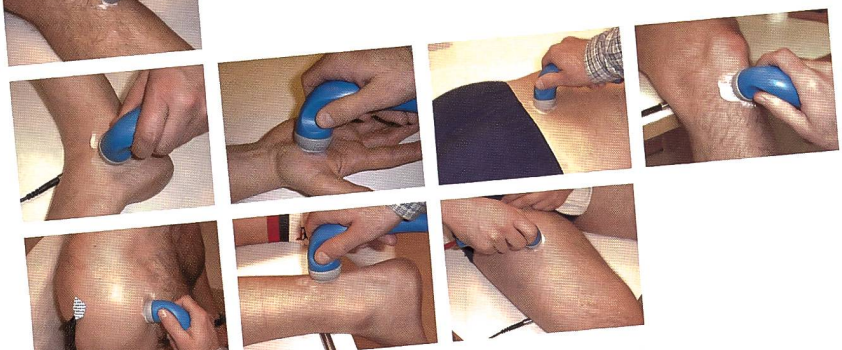
Muskelkrampf:
Spasmus: im engeren Sinne die anfallartige, schmerzhafte, tonische oder klonische teilweise Muskelkontraktion, z. B. bei Ischämie, Übermüdung.

Spasmus:
Verkrampfung, Krampf; im engeren Sinne als relativ langsame und/oder sich rhythmisch wiederholende Muskel(gruppen)-kontraktion (= tonischer bzw. klonischer oder aber gemischer Muskelkrampf).

***Abb. 1:* Verschiedene Definitionen von Muskeltonus (zitiert aus Roche Lexikon 1998).**

www.physiomedic.ch

Skanlab 25 BODYWAVE®



SKANLAB 25 BODYWAVE erzeugt eine optimale tiefgehende Wärme, dämpft die Schmerzen und trägt zu grösserer Elastizität bei. Das Gerät kann bei akuten und chronischen Erkrankungen eingesetzt werden.

In Norwegen entwickeltes Behandlungsgerät, dessen Wirkung auf dem Prinzip der Kondensatorfeldmethode beruht. Das Gerät erzeugt ein elektrostatisches Wechselstromfeld mit einer Frequenz von 1.0 MHz, wobei der Patient einen Teil des Kondensators bildet.

Fordern Sie eine Dokumentation an oder bestellen Sie ein Testgerät – ganz unverbindlich!

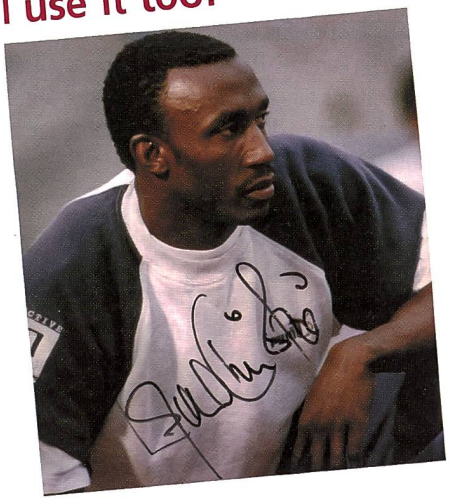
Alles für die Physiotherapie

Worauf Sie beim Kauf von Einrichtungen, Apparaten, Verbrauchsmaterial und vielem mehr auf keinen Fall verzichten sollten:

Auf Auswahl, Qualität, günstige Preise, prompte Lieferung und auf einen abgesicherten Service und Kundendienst.

Deshalb freuen wir uns auf Ihren Besuch in unserem 250 m² grossen Show-Room

I use it too!



Linford Christie

30 Jahre ans keller Simon Keller AG

PhysioMedic **034 423 08 38**

CH-3400 Burgdorf, Lyssachstrasse 83
Telefon 034 422 74 74 + 75
Fax 034 423 19 93
Internet: www.PhysioMedic.ch
E-Mail: info@physiomedic.ch

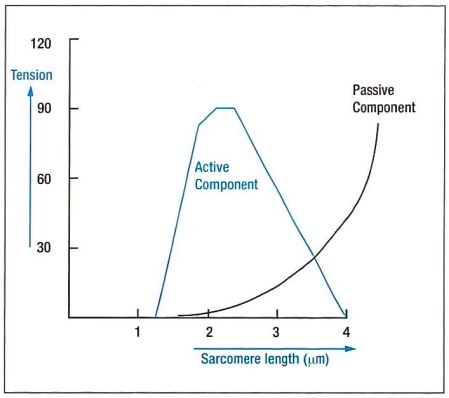


Abb. 2: **Aktive und passive Komponente des Längen-Spannungs-Verhältnisses (Gordon et al. 1966 in: van Wingerden 1995, 113).**

langsamer Ausführung zumindest im unteren bis mittleren Dehnungsbereich (bis 130% Länge) vorwiegend durch die Titinfilamente und durch das filamentäre Strukturgitter innerhalb der Muskelfaser erzeugt *(siehe Teil 2)*.

Die Verspannung als unbeabsichtigte Muskelkontraktion

Die sogenannte «unnötige» Muskelspannung beschreibt den Zustand von unwillkürlicher Muskelkontraktion und viskoelastischer Spannung. Diese unbeabsichtigte Muskelkontraktion kann zum Teil selber Schmerz verursachen oder andere Quellen von Muskelschmerz (wie z. B. Triggerpunkte) beträchtlich beeinflussen. Sie kann durch willentliche Entspannung beseitigt werden (z. B. durch autogenes Training) und wird im allgemeinen klinischen Gebrauch als «Verspannung» bezeichnet. Drei ihrer Quellen sind nach Simons und Mense (1998, 12f.) wohlbekannt:

1) psychischer Stress;
2) Überlastung durch anhaltende Kontraktionen oder repetitive Bewegungen;
3) ineffizienter (untrainierter) Muskelgebrauch.

Spasmus aufgrund fehlender supraspinaler Inhibition

Spasmus wird definiert als pathologische, unwillkürliche, elektrische Kontraktion *(siehe Abb. 3)*. Er kann, muss aber nicht schmerzhaft sein und ist oft begleitet von hyperaktiven Dehnungsreflexen. Spastizität kommt in Rückenmarksebene aufgrund des Verlusts supraspinaler Hemmung vor (Simons und Mense 1998, 2ff.). Wie der Krampf kann der Spasmus nicht durch willentliche Entspannung aufgehoben werden (Mense 1993, 273).

Mögliche Erklärungen des Muskelkrampfes

Ein Krampf beschreibt eine plötzliche, unwillkürliche, schmerzhafte Kontraktion der Skelettmuskulatur. Die dabei gemessene EMG-Aktivität ist höher als bei maximaler Willkürkontraktion. Als mögliche Gründe für die erhöhte elektrische Aktivität werden angenommen:

- exzessive Aktivierung von Alpha- und Gamma-Motoneuronen durch absteigende Impulse;
- verminderte Hemmung von Spinalneuronen;
- Impulsbildung im Motoaxon selber.

Die bei Veränderung der extrazellulären Flüssigkeit durch schnelle Dehydration oder durch Elektrolytimbalance auftretende Tonusänderung wird umgangssprachlich auch als Muskelkrampf bezeichnet, ist aber aufgrund der fehlenden EMG-Aktivität definitionsgemäss eine Kontraktur (Simons und Mense 1998, 8 und 14).

Krämpfe treten am ehesten auf, wenn der Muskel ungedehnt kontrahiert wird, das heisst bei einem minimalen Abstand seiner Insertionen (Simons und Mense 1998, 10).

Der Schmerz könnte entstehen, weil nur Teile eines Muskels krampfen. Die daraus resultierenden Scherkräfte zwischen krampfenden und normalen Muskelfasern aktivieren möglicherweise mechanisch die Nozizeptoren. Oder aber der krampfende Muskel komprimiert seine Gefässe so stark, dass die daraus entstehende Ischämie zur Ausschüttung schmerzproduzierender Stoffe führt. Ein Muskelkrampf kann weniger durch willentliche Entspannung, als durch passive Dehnung aufgehoben werden (Mense 1993, 273).

Keine EMG-Aktivität bei der Kontraktur

Die Kontraktur entsteht chemisch innerhalb der Muskelfasern durch Veränderung des Ionenmilieus, unabhängig von EMG-Aktivität *(Abb. 3)*. Eine akute Kontraktur beschreibt die endogene Verkürzung des kontraktilen Muskelapparates, ohne Aufweisen von EMG-Aktivität durch Vorderhornzellen. Derselbe Ausdruck wird zur Beschreibung von dauerhafter Umwandlung (Verkürzung) von konnektivem Gewebe, wie beispielsweise Gelenkkapseln und Bändern, und einer Reduktion der Sarkomerzahl verwendet. Diese Veränderungen treten auf, wenn der Muskel über längere Zeit in einer verkürzten Stellung bleibt. Bei diesem Zustand fehlt die EMG-Aktivität aufgrund der strukturellen, und nicht der elektrisch ausgelösten Verkürzung (Simons und Mense 1998, 7).

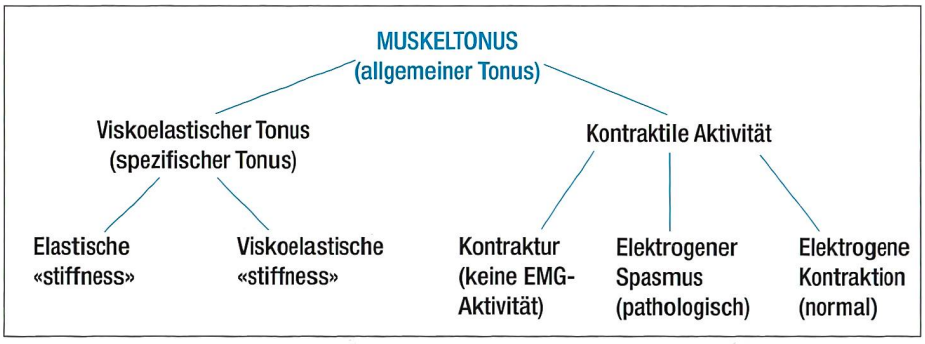


Abb. 3: **Einordnung der die Muskelspannung beschreibenden Begriffe (Simons und Mense 1998, 2).**

Tonusbeeinflussende Faktoren und Mechanismen

Kontraktiler Tonus

Im Zusammenhang mit Muskeltonus werden verschiedene Möglichkeiten von Circuli vitiosi erwähnt, welche auf unterschiedliche Weise ausgelöst und unterhalten werden können. Mögliche primäre Ursachen sind:

- ossäre Blockade
- viszerale Dysfunktion
- psychische Belastung
- endogene Entzündung

Die Letztgenannte kann sehr gut als beispielhafter Einstieg gewählt werden, da mit der Beteiligung von Schmerz, chemischen Substanzen und Gefässveränderungen bei einer Entzündungsreaktion die wichtigsten Faktoren für den Beginn und Ablauf jener Kreisläufe enthalten sind:

Die lokale Ischämie als Mittelpunkt des trophisch-entzündlichen Regelkreises

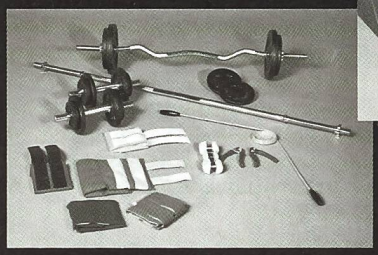
Bei einer endogenen Entzündung werden Entzündungsmediatoren wie Bradykinin, Serotonin und Zytokine ausgeschüttet. Diese beeinflussen direkt und indirekt die Blutgefässe und bewirken dadurch die Einwanderung und Aktivierung von Entzündungszellen (Mastzellen, Leukozyten und andere) (Majno und Joris 1996, 334ff.) *(Abb. 4)*. Die bei der Entzündung entstehende Zellzerstörung kann zur Ruptur des sarkoplasmatischen Retikulums führen und Kalzium aus den intrazellulären Lagern freisetzen. Die erhöhte intrazelluläre Kalziumkonzentration verursacht ein Ineinandergleiten der Myosin- und Aktinfilamente. Das Resultat ist eine lokale Kontraktur (myofilamentäre Aktivierung ohne elektrische Aktivität), welche einen hohen Sauerstoffverbrauch hat und Hypoxie verursacht. Der Hypoxie folgt der Abfall des intrazellulären ATP, welches als Energiequelle beim Erschlaffen der Kontraktion sowie bei der Kalziumpumpe gebraucht wird. Wenn die Funktion der Pumpe beeinträchtigt ist, bleibt das in-

PHYSIO*LINE*

Matthias Roth · 5507 Mellingen

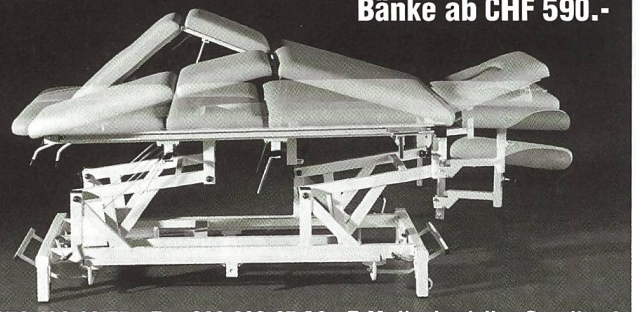
«Reparatur und Bezug auch von Fremdprodukten»

Med. Praxiseinrichtungen



zu supergünstigen Konditionen

Bänke ab CHF 590.-



Tel. 079 438 86 55 · Fax 062 293 67 36 · E-Mail: physioline@smile.ch

Wir wünschen Ihnen viel

ERFOLG

mit Therapie 2000

der Administrationssoftware für Physiotherapien

Wir sind vor Ort wann immer Sie uns brauchen . . .

Beratung / Schulung / Installationen / Erweiterungen / Reparaturen

DNR Inter-Consulting, Tel. 041 630 40 20

Clap Tzu

Europas führender Hersteller von Massagetischen aus Holz

Massagetische aus Holz, die durch ihr lebendiges Design eine Freude fürs Auge sind und Funktionalität bieten.

Modell Ayurveda
der spezielle Tisch für Ölgüsse

Neu...
spezielle Konditionen für Schüler, Schulen und Kursleiter

Auf einen Blick...
- leicht & zusammenlegbar
- stabil & höhenverstellbar
- umfangreiches Zubehör
- fachkundige Beratung
- hohe Lebensdauer
- spezielle Cranio- & Reikitische

Tao Trade®
Mittlere Str. 151, 4056 Basel
Tel./Fax: 061/ 381 31 81
mail: office@taotrade.ch
web: www.taotrade.ch

MTR MEDIZIN THERAPIE REHA AG

Roosstrasse 23
CH-8832 Wollerau
Tel. 01 / 787 39 40
Fax 01 / 787 39 41
info@mtr-ag.ch

75 Jahre

ENRAF NONIUS

Ihre Direkt-Vetretung offeriert:

Jubiläums-Schlussaktion

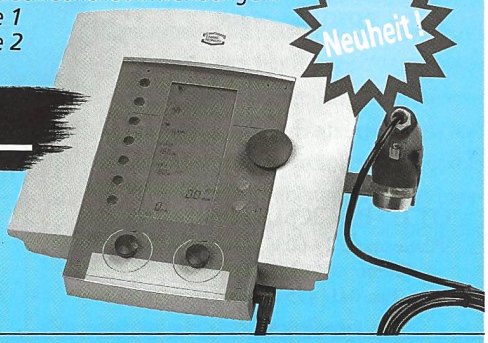
SONOPULS 492

Gerät für Ultraschall- und Kombinationstherapie und Zweikanaltherapie. Diese Technologie ermöglicht parallel drei unterschiedliche Anwendungen:
- *Elektrotherapie 1*
- *Elektrotherapie 2*
- *Ultraschall*

Neuheit!

4999.–

inkl. MWSt.
statt Fr. 6428.50

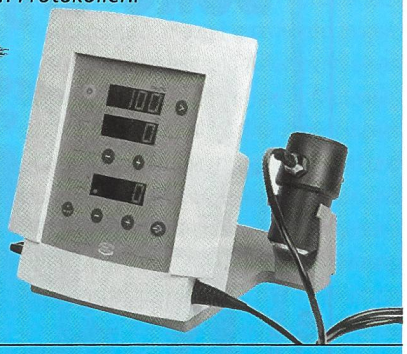


SONOPULS 190

Einfaches, modernes Ultraschall-Therapiegerät mit 1 MHz-Kopf und 9 vorprogrammierten Protokollen.
Zum HIT-Preis:

1949.–

inkl. MWSt.
statt Fr. 2354.–



ENDOMED 182

Die neue Dimension der Schmerzbekämpfung: Preisgünstiges, kompaktes 2-Kanalgerät mit 30 vorprogrammierten Therapievorschlägen.

Neuheit!

2349.–

inkl. MWSt.
statt Fr. 2977.–

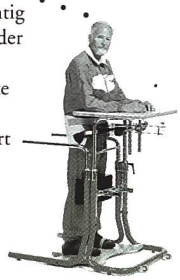
Offerte gültig bis 31. Dez. 2000

Otto Bock
SUISSE AG

Ihr Partner in der Rehabilitation

Kompetenz zu helfen

Richter-Freistehbarren
Richtig Stehen mit Sicherheit
Das tägliche Stehen ist besonders wichtig u. a. für die bestmögliche Entleerung der oberen Harnwege, zur Osteoporose-Prophylaxe, zur Kontraktur-Prophylaxe und zum Kreislauftraining. Durch die Transportrollen kann der Benutzer dort stehen, wo er möchte.


Freistehbarren

Avantgarde

Evantgarde

proVario

TORO Magic Walker

Elektro-Rollstuhl
Räbbit

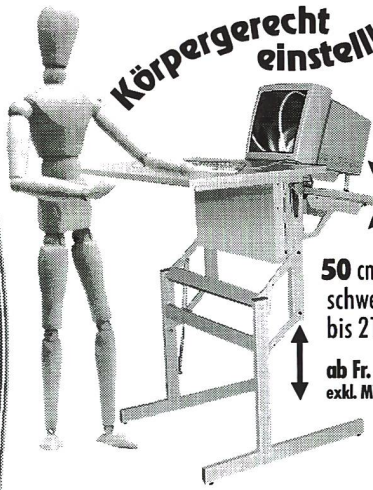
Sitzkissen

Kinderbuggy „Kimba"

OTTO BOCK SUISSE AG
Pilatusstrasse 2 • 6036 Dierikon
Telefon: 041/ 455 61 71
Fax: 041/ 455 61 70

Rufen Sie an, wir beraten Sie gerne.

BÜRO-ergoTISCHE



www.ellems.ch

Weitere Modelle für Kinder und Erwachsene.
Verlangen Sie unseren Prospekt.

ELLEMS AG 6331 Hünenberg
Tel. 041 785 10 80 Fax 041 780 71 68

Gymnastik-Bälle
waren noch nie so günstig.

Ihr Preis: 40% Rabatt vom Listenpreis der Firma Vista dank Direktimport aus Italien vom Hersteller.

Beispiel: Gymnic 65 cm **Fr. 23.40** statt 39.–
Opti-Ball 75 cm **Fr. 31.80** statt 53.–

Beim Bezug von total 50 Bällen gemischt weitere 20% Rabatt.

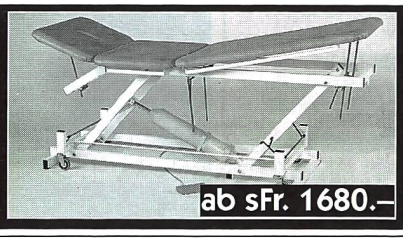
Power-Bälle mit ABS ebenso reduziert.

Ausserdem stark reduziert:
Gymnastikmatte, Gymnastikmaterial, Peddalo usw.

Verlangen Sie per Fax 01 - 761 77 91 oder per E-Mail: uhu@datacomm.ch unseren Katalog.

UHU Spielschüür AG, Pf 877, 8910 Affoltern a.A.

RehaTechnik
- **Massage und Therapieliegen**
- **Schlingentische und Zubehör**



LEHRINSTITUT RADLOFF
CH-9405 Wienacht-Bodensee
Telefon 071-891 31 90
Telefax 071-891 61 10

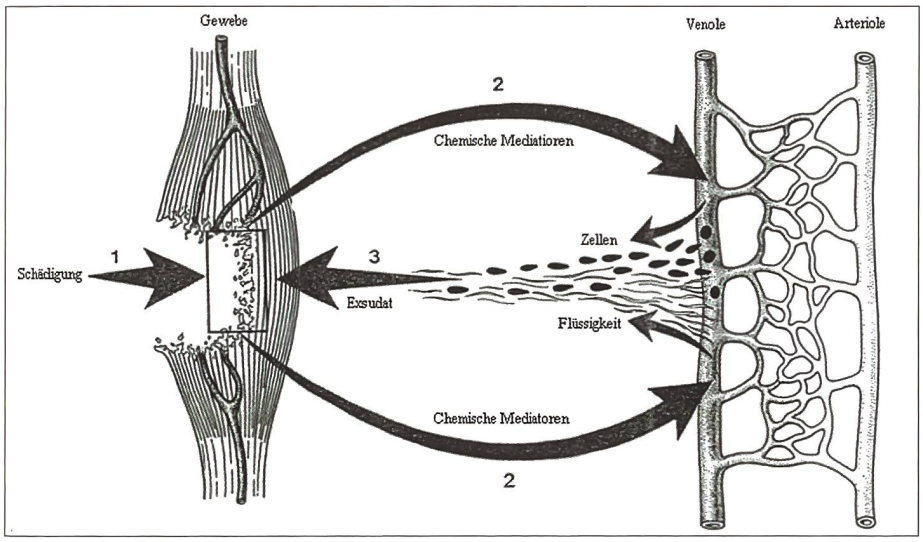


Abb. 4: **Darstellung des Entzündungsprozesses (Majno und Joris 1996, 292).**

trazelluläre Kalzium erhöht, und die zahlreich eingegangenen Aktin-Myosin-Verbindungen können aufgrund des ATP-Mangels nur schwer wieder gelöst werden. Anstelle einer Ruptur des sarkoplasmatischen Retikulums kann auch lokale Ischämie den Teufelskreis starten (Mense 1993, 277) *(Abb. 5: linker Kreis).*

Ein zusätzlicher Faktor könnte die traumatische oder ischämische Freisetzung vasoneuroaktiver Substanzen sein, die ein lokales Ödem produzieren, welches wiederum Gefässe komprimiert und Ischämie und Hypoxie steigert.

Hypoxie ist bekanntlich einer der Hauptfaktoren bei der Freisetzung von Mediatoren wie Bradykinin, das für eine weitere Ausschüttung von Entzündungsstoffen verantwortlich ist und somit den Kreislauf weiter unterhält. *(Abb. 5: rechter Kreis).*

So können zwei Circuli vitiosi konstruiert werden, die zusammenhängen und die Verspannung unterhalten (Mense 1993, 277). Es ist zu erwähnen, dass die hier beschriebene Tonuserhöhung per Definitionem keine Verspannung, sondern eine Kontraktur darstellt, was verständlich macht, dass in diesem Falle keine erhöhte EMG-Aktivität zu messen ist.

Bei welcher Kontraktionsstärke sinkt die Durchblutung?

Eine Kompression der Gefässe geschieht nach Simons und Mense (1998, 278) auch, sobald der Muskel mit einer gewissen Stärke isometrisch kontrahiert (ab ca. 30% der maximalen Kontraktionskraft). Der Muskel ist nun gezwungen, unter ischämischen Bedingungen zu kontrahieren, was innerhalb einer Minute zu Schmerz führt. Die Mechanismen der Rezeptorenaktivierung bei ischämischen Kontraktionen sind immer noch kontrovers. Eine spekulative Interpretation ist der ischämiebedingte Abfall von O_2 oder des pH-Wertes, der zur Ausschüttung der Entzündungsstoffe Bradykinin, Prostaglandine E_2 und Kaliumionen führt, so dass die dadurch sensibilisierten Muskelnozizeptoren auf die Stärke der Kontraktion reagieren.

Diese Annahmen als Folge der Kompression sind jedoch fraglich. Obschon bekannt ist, dass während einer maximalen Willkürkontraktion der hohe intramuskuläre Druck die Arterien und Venen im Muskel verschliesst, haben statische Kontraktionen von bis zu 30 Prozent der maximalen Kontraktionskraft sogar zu einem Anstieg des muskulären Blutflusses geführt. Dadurch wird auch der pO_2 aufrechterhalten. Man fand jedoch auch Muskeln (z. B. M. supraspinatus), die während statischen Kontraktionen von 16 Prozent der maximalen Kontraktionskraft eine signifikante Reduktion des Blutflusses zeigten, was die Theorie wiederum bestätigen würde (Mense 1993, 278). Offen bleibt die Frage, wie gross nun die Kontraktionskraft eines verspannten Muskels ist, und ob die dadurch entstehende Kompression zu einer Erhöhung oder einer Senkung der Durchblutung führt.

Der neuromuskuläre Regelkreis...

In Experimenten untersuchten Schmidt et al. (1981 in Dvorak und Dvorak 1991, 58) dazu das Antwortverhalten von α-Motoneuronen bei schmerzhafter Muskelreizung. Diese Experimente zeigen, dass die erregten nozizeptiven Afferenzen einen unmittelbaren Zugriff auf die α- und γ-Motoneuronen des Rückenmarks haben. Der Zugriff dieser Nozizeptoren ist von beträchtlicher Intensität und hat einen erheblichen Einfluss auf Ausmass und Verteilung des Muskeltonus eines stehenden oder sich bewegenden Organismus. Bei Reizung der Skelettmuskelnozizeptoren und Aktivierung der γ-Schleife ist die Entstehung eines Circulus vitiosus möglich, der schrittweise wie folgt beschrieben werden kann (Dvorak und Dvorak, 1991, 58; *Abb. 6):*

Die durch noxische Reize erhöhte γ-Motoneuronenaktivität bewirkt ein Absinken der Muskelspindelschwelle, wodurch Ia- und II-Fasern schon bei kleinster Dehnung der Kernsackregion aktiviert werden. Im Rückenmarksegment werden diese Meldungen sowohl auf α- wie auch auf β-Motoneuronen weitergeleitet. Die aktivierten α-Motoneuronen führen zwar zur Erhöhung des Muskeltonus, werden jedoch durch die kollateralen Renshawzellen gehemmt. Die aktivierten β-Motoneuronen bewirken durch ihre «Doppelinnervation» nebst Tonuserhöhung eine weitere Dehnung der Kernsackregion, was deren Schwel-

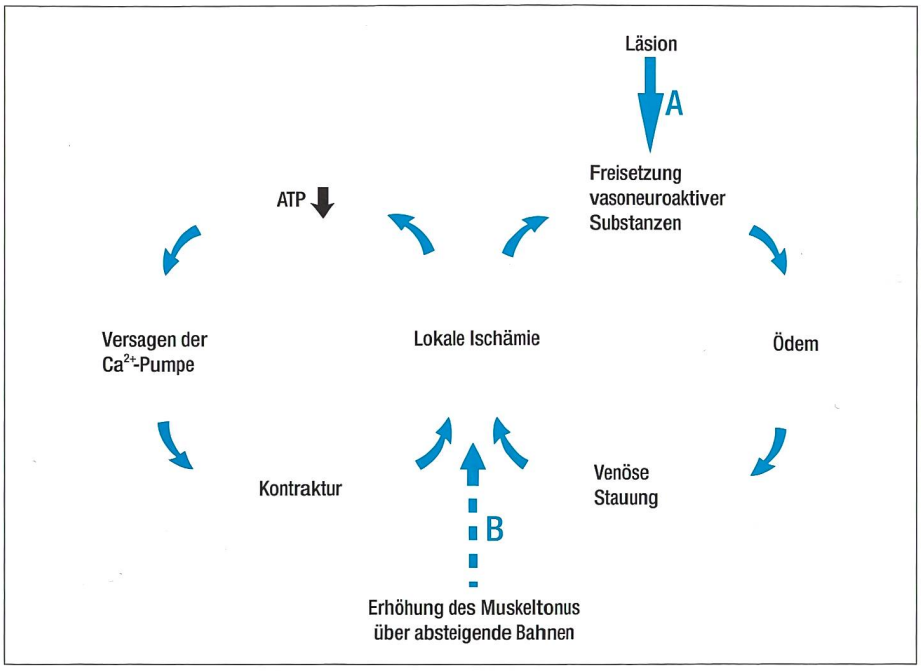


Abb. 5: **Trophisch-entzündlicher Regelkreis (Mense 1993, 276).**

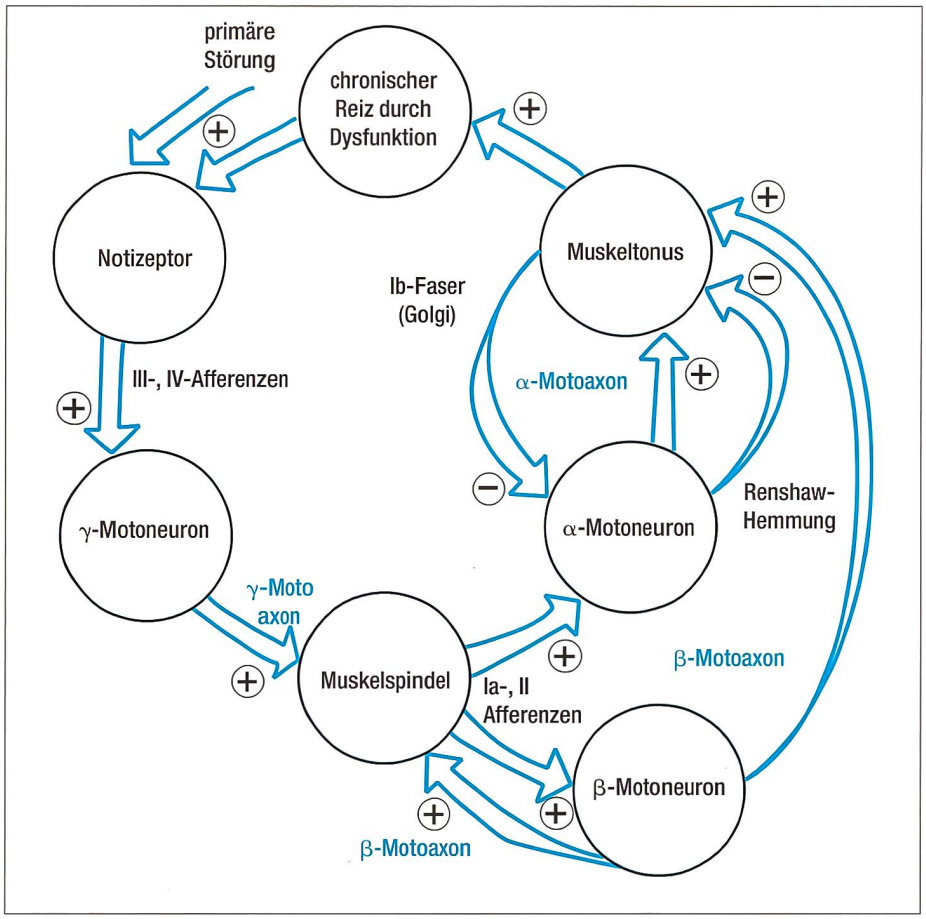


Abb. 6: **Erhöhung des Muskeltonus bei Irritation der nozizeptiven Afferenzen des Skelettmuskels (modifiziert nach Schmidt 1981 in Dvorak und Dvorak 1991, 58).**

le wiederum sinken lässt. Der erhöhte Muskeltonus wird durch die Ib-Fasern der Golgi-Sehnenorgane registriert, und der Muskel erfährt über die Hemmung der α- und β-Motoneuronen einen Tonusabfall.

... und seine kritische Betrachtung

Beim neuromuskulären Regelkreis wird meist keine abnorme EMG-Aktivität gefunden. Und falls doch, so korreliert ihr zeitliches Auftreten und ihre Intensität nicht mit dem Schmerz. Klinische und physiologische Studien zeigen sogar, dass Muskelschmerz eher zu Inhibition als zu Faszilitation willentlicher und reflektorischer kontraktiler Aktivität desselben Muskels führt (Simons und Mense 1993, 10f.). Bei Tieren wurde die Wirkung einer experimentellen Myositis des lateralen M. gastrocnemius-soleus auf die Aktivität derjenigen γ-Motoneuronen untersucht, welche den synergistisch wirkenden medialen Kopf versorgen *(Abb. 7)*. Die wichtigsten Resultate waren, dass die Ruheaktivität von γ-Motoneuronen bei Entzündung signifikant reduziert war und dass die Reflexerregbarkeit des entzündeten Muskels auf elektrische und mechanische Stimulation von afferenten Einheiten ebenfalls gehemmt war. Im Gegensatz dazu war die elektrische Erregbarkeit von γ-Motoneuronen, die den Antagonisten versorgen, (leicht) erhöht. Es ist daher anzunehmen, dass bei einer Entzündung der Agonist einen Abfall, der Antagonist hingegen eine Erhöhung des motoneuronalen Outputs erfährt. Dies führt beim Agonisten zu einer Reduktion der maximalen Willkürkontraktion sowie der Amplitude und Geschwindigkeit der Bewegung. Diese Adaptationen sind dazu da, den verletzten Teil zu schützen (Lund et al. 1990, 690).

Informationen des Weichteilschmerzes gelangen über Aδ- und C-Fasern ins Rückenmark und werden dort mit α- und γ-Motoneuronen verschaltet, so dass im betreffenden Gebiet eine direkte Tonuserhöhung erfolgt (z. B. muskuläre Abwehrspannung bei Bauchschmerzen). Gelenkschmerz hingegen wird durch Aβ-Fasern, welche auf Druck und Dehnung reagieren (Synovitis, Gelenkserguss), spinal auf hemmende Interneuronen verschaltet, was zu einer reflektorischen Tonusabnahme (Einknicken) führt *(Abb. 8)* (De Morree 1994, 23f.). Wird bei dieser Betrachtung nun ein Muskel selber als schmerzhafter Weichteil angesehen, so ist nicht ganz klar, ob dieser selbst oder nur die schützende Muskulatur in der Umgebung eine Tonuserhöhung erfährt.

Dass der Schmerz bei Verspannung durch direkte mechanische Stimulation der Muskelnozizeptoren aufgrund der erhöhten Muskelspannung verursacht wird, ist unwahrscheinlich, da die Erhöhung des intramuskulären Drucks möglicherweise nicht genügend hoch ist. Sehr allgemein lässt sich auch sagen, dass nicht jeder schmerzhafte Muskel (obschon er sich hart anfühlt) eine EMG-Aktivität aufzeigt, und umgekehrt, dass nicht jede elektromyographisch identifizierbare Muskelverspannung schmerzhaft ist (Mense 1993, 273).

Mögliche vegetative Einflüsse

Der Zusammenhang von Tonusveränderung und Sympathikusaktivität lässt sich anhand der sympathischen Reflexdystrophie (SRD) aufzeigen. Die SRD kommt meist an Extremitäten vor und

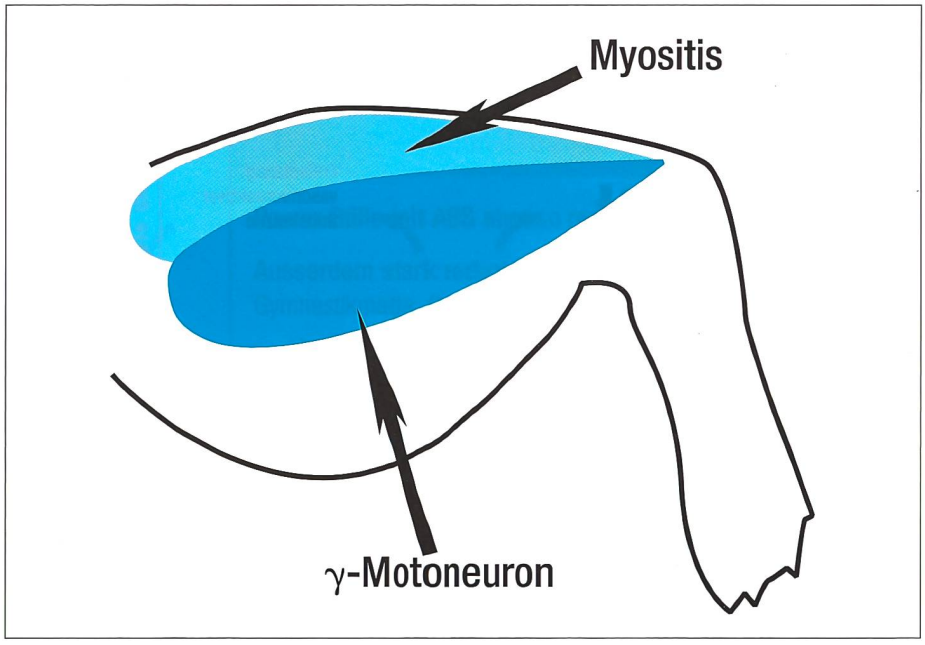


Abb. 7: **Experimentelle Myositis des lateralen M. gastrocnemius-soleus und Aktivitätsmessung der den medialen Kopf versorgenden α-Motoneuronen (Mense 1993, 265).**

WAS MACHEN DIE ITALIENER ANDERS?

Fastum® gel

Ketoprofenum

für schnelle Schmerzbefreiung und starke Entzündungshemmung

Das erste topische Ketoprofen der Schweiz • kassenzulässig

Zusammensetzung: Ketoprofen 2.5%. **Eigenschaften/Wirkungen:** Nichtsteroidaler Entzündungshemmer aus der Gruppe der Propionide zur topischen Anwendung mit antiphlogistischer und analgetischer Wirkung. **Indikationen/Anwendungsmöglichkeiten:** Schmerzhafte entzündliche oder traumatische Affektionen der Gelenke, Sehnen, Bänder und Muskeln (Arthritis, Periarthritis, Synovitis, Tendinitis, Tenosynovitis, Bursitis, Prellungen, Zerrungen, Luxationen, Tortikollis, Lumbago). **Dosierung/Anwendung:** Täglich 1–2x 3–5cm auf die Haut auftragen und zur Verbesserung der Absorption leicht einreiben. **Anwendungseinschränkungen:** Überempfindlichkeit gegenüber dem Präparat. Nicht auf die Schleimhäute, offene Wunden und Hautläsionen aufzutragen. **Packungen:** Tuben zu 50g Gel. **Liste B. Kassenzulässig.** Ausführliche Angaben entnehmen Sie bitte dem Arzneimittel-Kompendium der Schweiz. A. MENARINI AG, Eggbühlstrasse 14, 8052 Zürich.

A. MENARINI AG

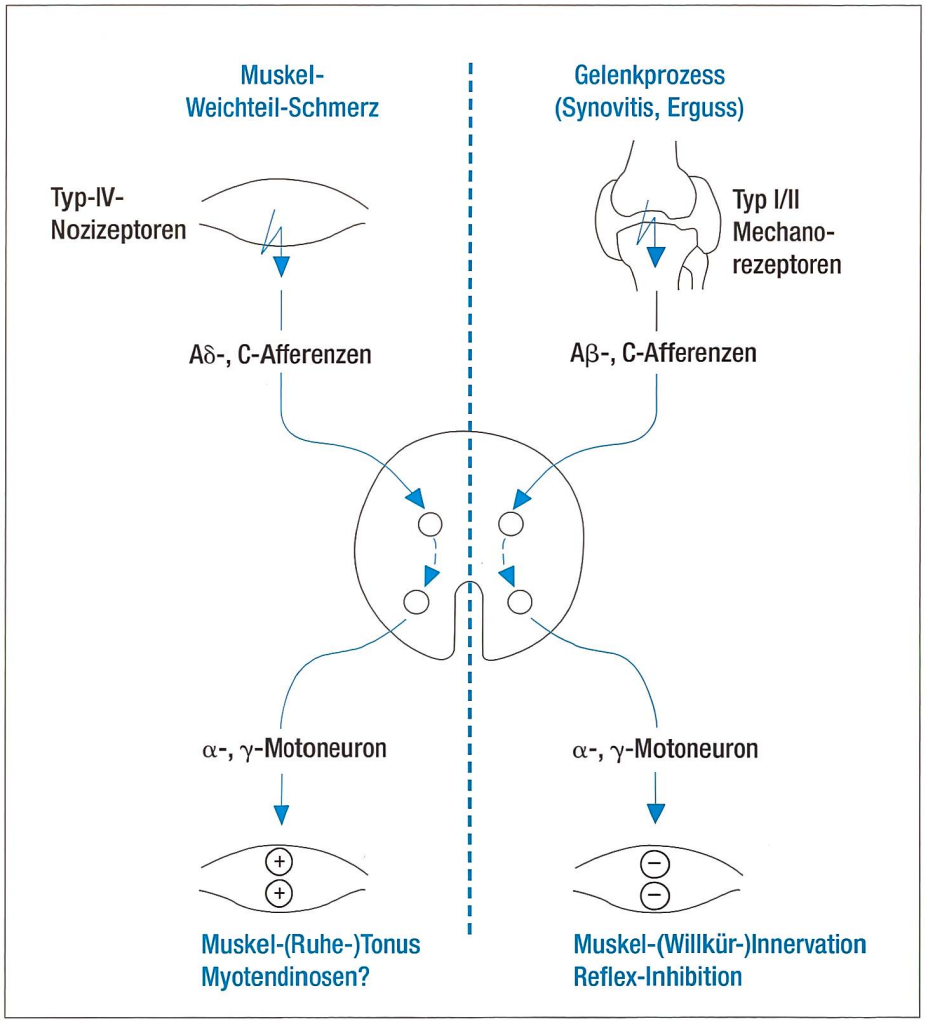


Abb. 8: **Unterschiedliche Reaktionsweise der Muskelinnervation auf Schmerzstimuli im Weichteil-Muskel-Bereich (links) und auf arthrogene Reize (rechts), (Spring et al. 1997, 48).**

beschreibt Symptome, die auf eine Verletzung von Knochen, Weichteilen oder Nerven folgen. Charakteristisch für die SRD sind brennender Schmerz, Hyperpathie, Allodynie, vaso- und sudomotorische Veränderungen, Ödem, Muskelsteifheit und Hautverfärbung. Unbehandelt kann sie zu fixierten trophischen Veränderungen führen. Die genauen Mechanismen der SRD sind nicht bekannt, doch wahrscheinlich hängen sie mit der Sympathikusaktivität zusammen (Mellick und Mellick 1997, 98). Als Folge der zentralen Prozesse und des Schmerzes können sich die Entladungsmuster in α-Motoneuronen (und vielleicht γ-Motoneuronen) zu der betroffenen Extremität hin verändern.

Dieser beschriebene Beitrag efferenter Sympathikusaktivität zur Entstehung von Schmerz ist im Allgemeinen noch kontrovers. Wahrscheinlich genügen sympathische efferente Entladungen nicht, um einen normalen Muskelnozizeptor zu aktivieren oder zu sensibilisieren. Sie scheinen jedoch in der Lage zu sein, bereits sensibilisierte nozizeptive Endigungen zu aktivieren. Dies würde also bedeuten, dass Nozizeptoren in einem lädierten Muskel direkt von sympathischen Efferenzen aktiviert und/oder sensibilisiert werden können. Dazu kommt der neue Aspekt, dass sympathische postganglionäre Fasern in pathologisch verändertem Gewebe Prostaglandine E_2 ausschütten können, welche wiederum Nozizeptoren sensibilisieren. Ein Circulus vitiosus zwischen Muskelnozizeptoren und sympatischen efferenten Fasern kann somit nur unter speziellen Umständen entstehen (Jänig 1995, 44) *(Abb. 9)*.

Es wird aber darauf hingewiesen, dass sympathische Efferenzen mittels Aktivierung der intrafusalen Fasern der Muskelspindel bei der Erhöhung des neuromuskulären Tonus involviert sind. So kann dieser Mechanismus über das Auslösen des Dehnreflexes einen erhöhten Tonus bewirken (Mense 1993, 266f.).
Weiter wirkt das vegetative Nervensystem über seinen Einfluss auf die pH-Regulation und das intramuskuläre Volumen auf den Tonuszustand des Muskels. Letzteres geschieht sowohl durch die Veränderung des Gefässtonus als auch durch die Veränderung der Zellpermeabilität. Ein vom Sarkolemm eingeschlossenes Ödem lässt den Druck im Muskel ansteigen und begrenzt dessen volle Mobilität (Freiwald und Engelhardt 1994, 330). Die drei Regelkreise wurden zur theoretischen Behandlung einzeln aufgeführt, laufen aber in vivo immer kombiniert ab.
Die Erklärungen der Teufelskreise bei schmerzhafter Verspannung sind von Autor zu Autor übergegangen. In den letzten Jahren wurden die Theorien jedoch vermehrt mit berechtigtem Zweifel kritisch betrachtet und wissenschaftlich zu belegen versucht – meist erfolglos. Wie dieser Text zeigt, sind die meisten Circulus-vitiosus-Modelle im besten Fall nur teilweise zutreffend. Auch wenn die heutigen Widerlegungen oft nur auf weiteren Annahmen basieren, so stehen doch die ehemaligen Theorien dieser Zyklen auf sehr wackligen Beinen.

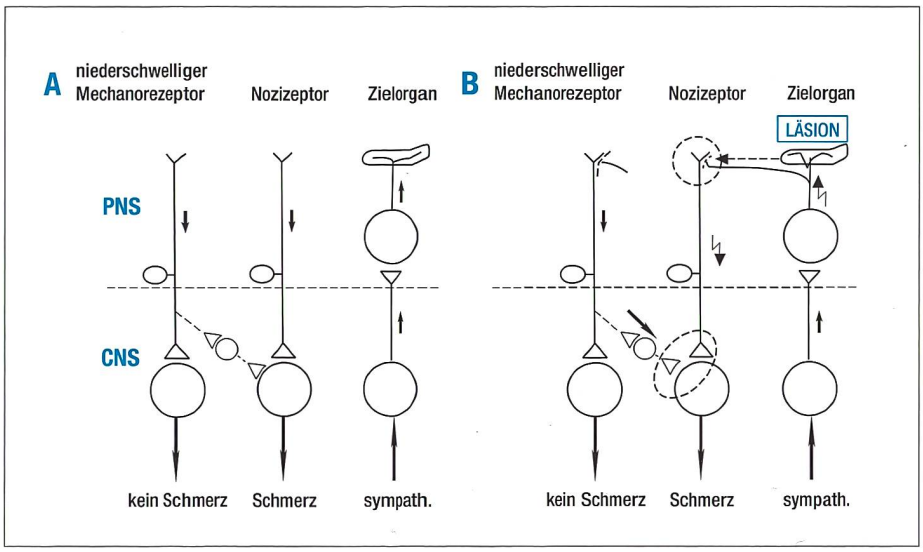


Abb. 9: **Modell zur Entstehung von sympathisch unterhaltenem Schmerz (Jänig 1995, 44). A: Unter physiologischen Bedingungen sind sensorische und sympathische Kanäle getrennt. B: Kopplung zwischen sympathischen und nozizeptiven Neuronen unter pathophysiologischen Bedingungen. => sogar nichtnozizeptive Afferenzen haben Zugang zum zentralen nozizeptiven System.**

Die individuelle Einrichtung

Sauna und Solarium

Physikalische Therapie

Gymnastik-Training
Therapie- und Massageliege
Lagerungshilfen • Polster • Wäsche
Reinigungs-, Desinfektions-Pflegeprodukte
Thermo-Therapie – kalt/warm • Massagematerial
Vorhänge • Mobiliar • Stühle • Extension-Manipulation
Infrarot-Solarien • Sauna • Dampfbadprodukte • Hydro-Therapie
Badezusätze • Elektro-Therapie • Geräte-Zubehör • US-HF-Therapie
Puls-, Blutdruck-Messgeräte • Anatomisches Lehrmaterial

Innovativ
in
Planung • Verkauf • Service

Gymnastikstudio

Jardin Medizintechnik ag

Feldmattstrasse 10
CH-6032 Emmen
Tel. 041-260 11 80
Fax 041-260 11 89

LASER-THERAPIE

Der LASER für schwierige Fälle

Neu
Kurse für
Laser-Anwender.
Verlangen
Sie unseren
Kursprospekt.

Tel. 041- 768 00 33
Fax 041- 768 00 30

lasotronic@lasotronic.ch
www.lasotronic.ch

MED-2000:
120mW–830nm
150mW–780nm
90mW–650nm

Pour la Romandie:
Technofit, Cheseaux s/Lausanne
Tel. 021 - 732 12 57
Fax 021 - 731 10 81

Weitere Modelle
von 10 - 50mW
rot und infrarot
Pocket-Therapy-
Laser
Akupunktur-Laser
Komplett-Systeme
mit Scanner
bis 400mW
Dental-Laser
60-300mW

Analgesie
Regeneration
Immunstimulation
Entzündungshemmung

LASOTRONIC®

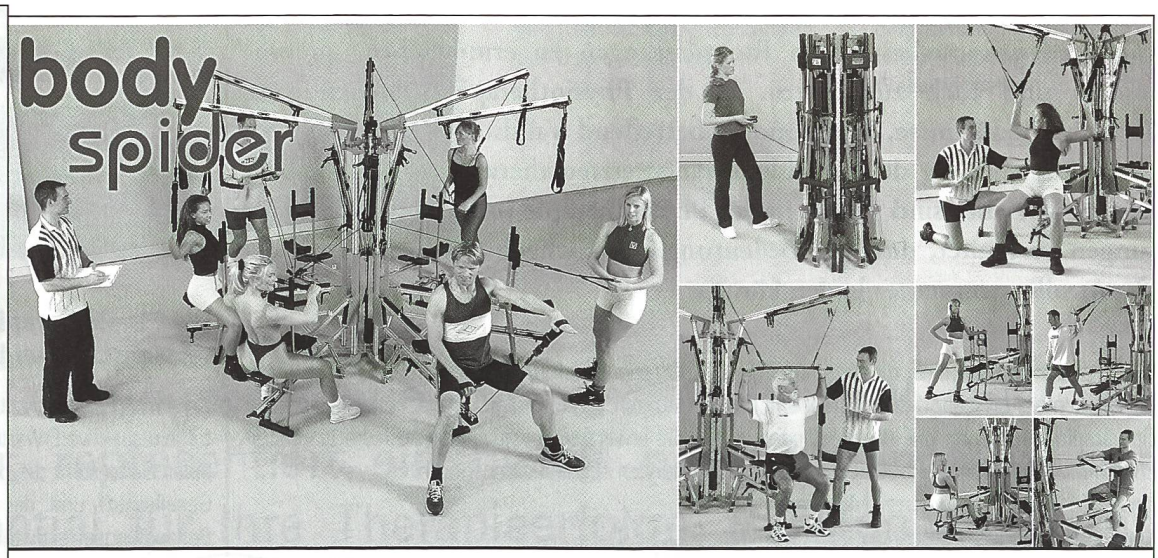
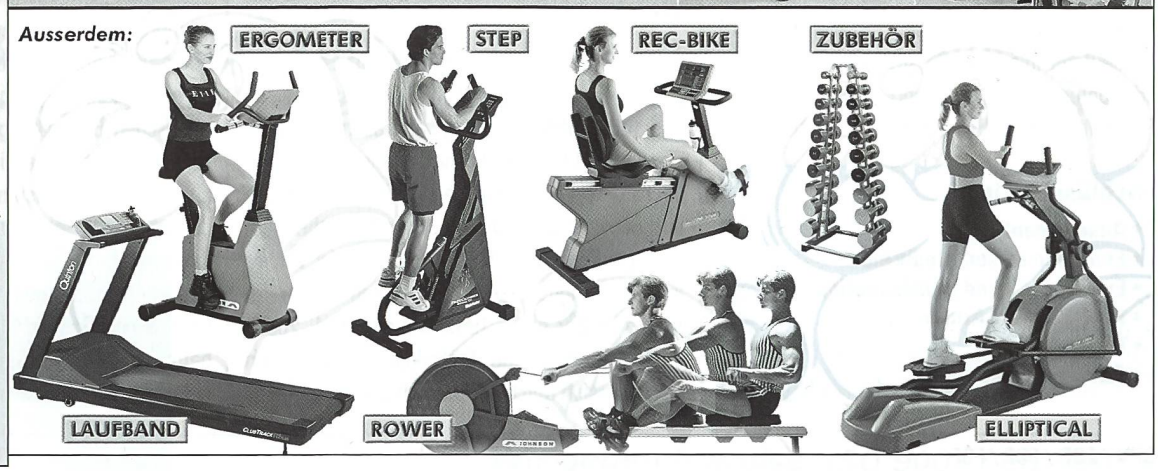
LASOTRONIC AG Blegistrasse 13 CH-6340 Baar-Zug

SHARK
PROFESSIONAL
FITNESS
EQUIPMENT

Landstrasse 129
5430 Wettingen

Tel. 056 427 43 43
Fax 056 426 60 10

info@shark-fitness.ch
www.fitnessgeraete.com

- Cardiogeräte
- Trainingsgeräte
- Multi-Stationen
- Trainings-Zubehör

Verlangen Sie die Kataloge