

Kay Bartrow

# Nervenmobilisation

Neurodynamik in der Physiotherapie

---

# Nervenmobilisation

---

Kay Bartrow

# Nervenmobilisation

Neurodynamik in der Physiotherapie

 Springer

Kay Bartrow  
Balingen, Deutschland

ISBN 978-3-662-67228-0      ISBN 978-3-662-67229-7 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-67229-7>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Ulrike Hartmann

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

---

## Vorwort

Gesundheit braucht Aktivität, Bewegung und Training. Diese Erkenntnis trifft auch auf das Nervensystem zu, das als ein wesentlicher Teil des Bewegungsapparates ebenfalls den Gesetzmäßigkeiten der Trainingslehre und der Trainingswissenschaft unterliegt. Grundlage jeder Therapie und eines jeden Trainings sind biologische Adaptionsmechanismen, die durch aktive Partizipation aller Körpersysteme ausgelöst und umgesetzt werden müssen. Das Nervensystem hat, mit gerade einmal bescheidenen 2 % Anteil an der Körpermasse, einen fulminanten Einfluss auf viele Körpergewebe und -funktionen. Als kontinuierliches System zieht sich das Nervensystem durch den gesamten Organismus und nutzt den Körper dabei als Container für sein Netzwerk. Die Hauptaufgabe des Nervensystems besteht in der Informationsübermittlung, also Reizaufnahme, Verarbeitung und adäquate Reaktion. Dabei ist das Nervensystem selbst ein anatomisch stoffliches Konstrukt, das einen funktionierenden Stoffwechsel benötigt (Durchblutung, Sauerstoffversorgung etc.) und mechanische Freiheit ohne Druck braucht, um effizient funktionieren zu können. Wie alle anderen Gewebe des menschlichen Körpers ist auch das Nervensystem mechanischen physikalischen Kräften ausgesetzt und wird von allen anderen Geweben in direktem oder indirektem Kontakt beeinflusst, verändert und passt sich diesen Bedingungen auch permanent an. Diesen Einflussgrößen ist dieses Buch auf der Spur und zeigt die Grundlagen der Neurobiomechanik, vom anatomischen Aufbau des Nervennetzwerks bis zum mechanischen Bewegungsverhalten und den Adaptionsmechanismen seiner neuromeningealen Hüllen. Gerade auch die neueren Erkenntnisse aus der Faszienforschung haben dabei geholfen, ein erweitertes Bild der Möglichkeiten von multimodalen physiotherapeutischen Anwendungen in der Neurobiomechanik zu entwickeln.

Die anatomischen und mechanischen Fakten in diesem Buch sind mit Literaturverweisen und Evidenz neutral belegt und abgedeckt. Meine Herangehensweise in der Interpretation dieser wissenschaftlichen Grundlagen in Bezug auf praktisch anwendbare Untersuchungs- und Therapiemöglichkeiten hingegen unterliegt meinen empirischen Erfahrungen aus

meiner täglichen Arbeit mit betroffenen Patienten und ist damit lediglich so neutral und distanziert, wie es dieser Umstand eben mal zulässt. Das Buch zeigt meinen aktuellen Wissensstand in Bezug auf das Feld der Neurobiomechanik.

In meinen Kursen und Vorträgen habe ich stets das Bestreben, meine Zuhörer, neben der Wissensvermittlung, zum Nachdenken und Reflektieren zu bringen. Das möchte ich auch mit meinen Büchern erreichen, die meine klinischen Gedanken, beruflichen Einstellungen und fachlichen Herangehensweisen ebenfalls zwangsläufig transportieren. Nach mehr als 25 Jahren praktischer, lehrender und publizierender Tätigkeit in der Physiotherapie sind mir ein paar Dinge sehr wichtig:

1. Das einzige sinnvolle Dogma in der Therapie ist, dass es kein allumfassendes, ausschließliches Dogma gibt.
2. Wissen verändert sich kontinuierlich (auch während Sie das hier lesen), Wissen muss situativ und adaptiv benutzt werden können, und es sollte immer zum Wohl unserer Patienten eingesetzt werden.
3. Niemand weiß alles.
4. In der Therapie gibt es immer mehr als einen richtigen Weg.

Dieses Buch soll Brücken bauen, Wissen vermitteln, zum Denken anregen, Gespräche initiieren und Möglichkeiten aufzeigen. Deshalb freue ich mich auch immer sehr über Rückmeldungen zu meinem Buch.

In diesem Sinne wünsche ich anregende Lektüre und mindestens so viel Spaß beim Lesen, wie ich ihn beim Schreiben hatte.

Beste Grüße aus Balingen  
Kay Bartrow

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Neurodynamik – ein erster Überblick</b> .....	1
<b>2 Strukturelle Grundlagen der Neurodynamik</b> .....	15
<b>3 Anatomische Engstellen – klinisch relevant</b> .....	35
<b>4 Physiotherapeutische Diagnostik bei neural assoziierten Störungen</b> .....	43
<b>5 Die neurologische Untersuchung: Konduktionstests – Überprüfung der Leitfähigkeit</b> .....	55
<b>6 Neurodynamische Untersuchung in der Physiotherapie (NDU)</b> .....	83
<b>7 Physiotherapeutische neurodynamische Behandlungsstrategien</b> .....	87
<b>8 Die NDTs – Neurodynamische Untersuchungs- und Behandlungsstrategien</b> .....	95
<b>9 Empfehlenswerte Literatur zum Weiterlesen</b> .....	221
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	237

# Neurodynamik – ein erster Überblick

# 1

## 1.1 Begriffsklärung

Unter dem Begriff Neurodynamik wird die dynamische Anpassungsfähigkeit des Nervensystems und des umliegenden Gewebes an innere und äußere Kräfte verstanden. Dabei spielen unter anderem sowohl die Fähigkeit der Reizaufnahme als auch die adäquaten Reaktionsmechanismen des Nervensystems auf diese Reize eine Rolle für die Neurodynamik. Somit ist die Neurodynamik nicht nur auf die neuronalen Strukturen begrenzt, sondern berücksichtigt immer auch die von den Nerven versorgten Körperregionen und Organe sowie die umliegenden Kontaktgewebe des Nervs in seinem Verlauf, eine funktionierende Physiologie inklusive der Durchblutungssituation oder andere psychische Einflussfaktoren. In der Neurodynamik werden sowohl die peripheren Nerven als auch die bindegewebigen Hüllstrukturen der Nerven selbst, die von den Nerven versorgten Organe und die dabei passierten geweblichen Kontaktstellen betrachtet und in Erklärungsmodelle für die Symptome von Patienten integriert. Die Fähigkeit des Nervensystems, sich an Bewegungen des Körpers anzupassen, wird als Erklärungsmodell für verschiedene Symptome, von lokalem Schmerz bis zu ausstrahlenden Missempfindungen, herangezogen. Unter Berücksichtigung der strukturellen Anatomie von peripheren Nerven, des davon innervierten Bindegewebes und deren Physiologie,

im Zusammenhang mit den individuellen Symptomen von Patienten, können diverse Herangehensweisen für weitere Untersuchungen und individuelle Behandlungsoptionen evaluiert und angewandt werden. Neurodynamik ist mehr als nur die mechanische Reaktion des Nervengewebes auf mechanische Kräfte wie Druck, Zug oder Spannung. Neurodynamik ist eine echte Netzwerkleistung, in der viele Faktoren einen Beitrag zu normaler Funktionsfähigkeit leisten.

Waren die Leitgedanken einer neurodynamischen Untersuchung und Behandlung ursprünglich stark biomechanisch und strukturell geprägt, liegt der Fokus der neurodynamischen Erklärungsmodelle aktuell vermehrt auf den neurophysiologischen Prozessen und der Mechanosensitivität. Wobei hierzu der Zustand des gesamten Organismus und der umliegenden Gewebe stets mitberücksichtigt und einbezogen werden muss.

Bei den ursprünglichen Beschreibungen von Vorgehensweisen zur neuronalen Untersuchung und Behandlung wurden anfänglich hauptsächlich mechanische Begrifflichkeiten eingesetzt. So wurde von „Neuralen Spannungstests“ (neural tension tests, upper limb tension test, lower limb tension test) in der Diagnostik oder von „mechanischen Spannungsmanövern“ (Slider-, Tensioner-Techniken) in der Behandlung gesprochen. Diese biomechanische Sichtweise war mit den neueren Erkenntnissen zunehmend nicht



mehr haltbar und die Bezeichnungen müssen in der weiteren Entwicklung angepasst werden. Seither hat sich die Bezeichnung „neural“ oder „neurodynamischer Test“ (auch neurodynamischer Provokationstest) etabliert. Dieser Nomenklatur folgend werden die neurale Untersuchungskaskade als „neurodynamische Untersuchung“ (NDU) und die einzelnen Nerven spezifischen Untersuchungsmanöver in diesem Buch auch als „neurodynamische Tests“ (NDT) benannt.

## 1.2 Klinische Überlegungen

Neurodynamische Tests werden eingesetzt, um primär die Reaktion von Gewebe auf mechanische Bewegungsbelastungen zu beurteilen. Die Gewebe des menschlichen Körpers müssen mechanische Belastungsanforderungen auf mehreren Ebenen tolerieren. Sie müssen den dabei auftretenden Kräften (Zug, Druck oder Torsion) standhalten und gleichzeitig die Infrastruktur und die normale Physiologie (Durchblutung, elektrochemische Prozesse, Impulsleitung: Afferenz, Efferenz) aufrechterhalten. Also darf die mechanische Belastung des Körpers nicht dauerhaft zu einer Störung dieser physiologischen Prozesse führen. Ungünstige Druckverhältnisse sind in unserem Körper wohl die häufigste Schmerzursache oder Ursache für Funktionsstörungen. Der menschliche Organismus nimmt erst dann einen Schmerz wahr, wenn die Organfunktion nur noch bei etwa 25 % liegt. Funktionsstörungen treten in der Regel bereits viel früher in dieser Entwicklung auf. NDTs können einen großen Beitrag dabei leisten, solche Funktionsstörungen früher zu entdecken und physiotherapeutische Behandlungsstrategien daran zu entwickeln. Mit diesen Tests können klinische Rückschlüsse auf diese körperlichen Fähigkeiten sowohl das Nervensystem (leitende Nervenfasern, neurale Hüllstrukturen: intra-, peri-, und extraneurale Hüllen) betreffend als auch das umgebende Gewebe (Sehnen, Knochen, Bindegewebe, Muskeln, Blutgefäße) betreffend, gezogen werden. Diesem Gedanken folgend kann davon ausgegangen werden, dass

die NDTs besondere Situationen (Funktionsfähigkeiten) an, um und in den peripheren Nerven anhand der Reaktionen auf den neurodynamischen Test erkennbar machen. Mithilfe der NDTs können also periphere Veränderungen an Nerven und dem umgebenden Kontaktgewebe lokalisiert werden. Da der menschliche Organismus in keiner Beziehung eine Einbahnstraße darstellt, ergeben sich aus peripheren Veränderungen meist auch zentrale Konsequenzen. So ist dann auch der Umkehrschluss statthaft, dass periphere Veränderungen funktionelle oder pathofunktionelle Auswirkungen auf zentraler gelegene Strukturen bewirken können. So kann sich eine erhöhte periphere Sensitivität eines Nervs oder seines Kontaktgewebes auch ungünstig auf die Funktionsfähigkeit der zugehörigen Wirbelsäulenabschnitte in Form von Bewegungsstörungen oder Schmerzen auswirken.

Der menschliche Körper besteht aus einer Vielzahl einzelner Systeme, die sich überwiegend selbst regulieren, sich aber auch immer gegenseitig beeinflussen (siehe Abb. 1.1). In ihrer Gesamtheit mit allen Prozessen und Abhängigkeiten machen sie unseren Organismus überhaupt erst möglich. Eine Veränderung oder eine Anpassungsreaktion in einem System hat immer auch Auswirkungen auf alle anderen

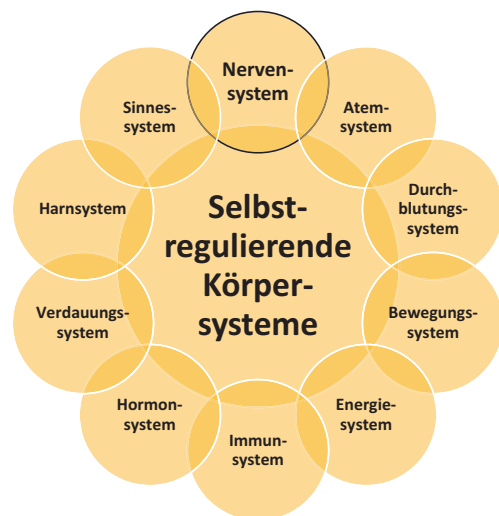


Abb. 1.1 Einige Körpersysteme im Überblick

Systeme zur Folge und verändert die Rahmenbedingungen für deren Funktionsfähigkeit und die Interaktion. Das verbindende Element zwischen den einzelnen Systemen und seinen Anpassungsprozessen ist das Nervensystem. Das Nervensystem nimmt Veränderungen wahr und leitet die erforderlichen Reaktionen ein.

Der Wechsel zwischen Druck und Zug, also Bewegung, steuert alle lebenswichtigen Prozesse in unserem Körper. Von der Durchblutung, der Aktivierung einzelner Prozesse in den Nervenzellen über die Versorgung der Zellen mit Nährstoffen bis zum Muskelaufbau und der Ernährung von Knochen und Gelenkflächen. All diese Vorgänge finden stets mit dem Ziel der Anpassung unseres Organismus an sich verändernde Bedingungen statt. In diesem Wechselspiel ist unser Organismus einem permanenten Umbau, nämlich dem Ab- und Aufbau von Zellen und ihren Verbindungen in den einzelnen Körpersystemen, unterworfen.

---

### 1.3 Zahlen zum Netzwerk Mensch

Die schier unglaubliche Größe und die riesige Dimension der Vernetzung des menschlichen Organismus lassen sich am besten mit ein paar respekt einflößenden Zahlen veranschaulichen. Der menschliche Körper besteht aus etwa 100 Billionen vitalen Zellen (in Zahlen: 100.000.000.000.000 Zellen). Diese riesige Anzahl an Zellen bildet verschiedene Gewebe, Organe und Körpersysteme und interagiert für eine bestmögliche Vernetzung und Funktionsfähigkeit. Die einzelnen Körpersysteme regulieren sich weitgehend selbst, haben aber auch Auswirkungen auf andere Systeme. Im menschlichen Körper beträgt die durchschnittliche Länge einer Zelle etwa 1/40stel Millimeter. Wäre es technisch machbar, dass wir alle Zellen hintereinanderlegen und befestigen könnten, würde die Gesamtlänge die beeindruckende Strecke von 2,5 Mio. Km ergeben. Mit den Zellen eines einzigen Menschen könnte man also eine Leitung etwa 60x um die Erde wickeln. Wenn wir alle Zellen hintereinanderlegen

könnten und pro Zelle, die angelegt wird, eine Sekunde an Zeit benötigen, dauert das Aneinanderlegen der Zellen für einen Menschen etwa 3 Mio. Jahre. All diese Zellen haben einen Stoffwechsel und sind in permanentem Auf- und Abbau begriffen. In jeder Sekunde werden in unserem Organismus ca. 50 Mio. Zellen erneuert: also abgebaut und neue Zellen werden dafür wieder eingebaut. Das ist nicht weiter dramatisch, denn die Länge dieser Zellen beträgt lediglich etwa 1 km. Und bei einer Gesamtlänge von 2,5 Mio. km fallen diese Umbaumaßnahmen nicht extrem ins Gewicht, sind aber evtl. an tagesformabhängigen Schwankungen unserer Stimmung oder körperlicher Leistungsfähigkeit beteiligt. In einem Wundheilungsverlauf können diese normalen täglichen Umbaumaßnahmen für die ebenfalls normalen Schwankungen der Regeneration mitverantwortlich sein. Ein Regenerationsprozess verläuft selten gleichmäßig nur steil nach oben. Vielmehr ist er gekennzeichnet von Schwankungen. Es gibt Tage mit geringen und Tage mit deutlichen Symptomen und Schwankungen der Leistungsfähigkeit. Ups und Downs sind in der Regeneration so normal wie unterschiedlich ausgeprägte körperliche Fähigkeiten aufgrund einer variablen Tagesform.

Für die Gesamtheit all dieser Prozesse muss der erforderliche Stoffwechsel über das Nervensystem koordiniert und kontrolliert werden. In jeder Sekunde werden mehrere Millionen Zellen erneuert (physiologischer Turnover). Dafür laufen mehrere Tausend chemischer und physikalischer Reaktionen in jeder Zelle ab, die kontrolliert und gesteuert werden müssen.

Etwa einmal pro Woche wird auf diesem Turnover-Weg die Schleimhaut des Verdauungstraktes (Magen-Darm-Region) ausgetauscht. Einmal im Monat (innerhalb von 3–4 Wochen) werden so ein Großteil der Hautzellen erneuert und im Zeitraum von 3–4 Monaten die Knochenbestandteile ausgetauscht. Für den Turnover von weichen, bindegewebigen Elementen wie Faszien, Muskelgewebe und Verdichtungen (Sehnen, Ligamente und Aponeurosen) benötigt der menschliche Körper etwa den Zeitraum von einem Jahr.

## 1.4 Körpersysteme und Funktionen des Nervensystems

Eines dieser Systeme ist das Nervensystem. In seiner Gesamtheit aus zentralem (ZNS) und peripherem Nervensystem (PNS) ist es unter anderem für Sinneswahrnehmung, Kraft, Atmung, Verdauung, Bewegungsplanung und -steuerung, emotionales Verhalten, alle physiologischen Prozesse und für die Übermittlung aller körperrelevanten Informationen im gesamten Organismus zuständig. Die Informationen werden dabei sowohl aus der Peripherie in die Zentrale als auch umgekehrt, von der Zentrale in die Peripherie, transportiert. Als kontinuierliches Netzwerk durchzieht das Nervensystem den gesamten Körper und verbindet die einzelnen Regionen, Organe und Gewebe zu einem riesigen Informationsaustausch-Netzwerk. Auch die Länge des peripheren Nervensystems ist mehr als beeindruckend. Mit einer Gesamtlänge von ca. 760.000 km (alle Nervenfasern des peripheren Nervensystems hintereinander gelegt) entspricht die Länge der Nervenfasern eines Menschen nahezu der Strecke Erde-Mond-Erde. Diese Streckenausdehnung erklärt auch die Notwendigkeit, Informationen in diesem Netzwerk schnell leiten und transportieren zu können. Die langsamsten Fasern des Nervensystems leiten mit etwa 1 m/s (3,6 km/h) und die schnellsten Nervenfasern kommen auf stattliche 120 m/s (432 km/h). Die Netzwerkkontinuität besteht dabei auf mehreren Ebenen (siehe Tab. 1.1).

Zum einen ist das Nervensystem auf struktureller Ebene kontinuierlich verbunden. Alle Nervenfasern hängen an einem Stück zusammen und gewährleisten so eine lückenlose Informationsübermittlung aus der Peripherie in die Zentrale (ZNS). Grundlegend führen alle Wahrnehmungen unserer Sinne (Sehen,

Hören, Riechen, Fühlen, Schmecken) zu einer Leitung von Informationen zur Anpassung. Dieselbe Kontinuität transportiert im Normalfall eine entsprechend angemessene Reaktion auf äußere Reize als Antwort aus der Zentrale in die Peripherie. Diese funktionelle Ebene ist die Hauptaufgabe des Nervensystems: nämlich Impuls- oder Reizübermittlung (siehe Tab. 1.2). Informationen aus der Reizaufnahme werden unter anderem in Form von bioelektrischen (Ladungsverschiebung) oder biochemischen Impulsen (über Neurotransmitter) weitergeleitet und an die entsprechenden hierarchischen Verarbeitungszentren oder die verbundenen Erfolgsorgane übermittelt. Um dieses Ziel der lückenlosen Informationsübermittlung dauerhaft zu sichern, sind vor allem strukturelle Unversehrtheit, räumliche Bewegungsfreiheit und normale Druckverhältnisse entlang des Nervensystems und seiner Hüllstrukturen erforderlich. Wird ein peripherer Nerv z. B. durch eine Läsion bzw. Ruptur teilweise oder komplett vom System getrennt, ist ein Informationsstopp und ein Verlust an Anpassungsfähigkeit die direkte Folge. Durch andere ungünstige Ereignisse wie z. B. eine dauerhafte lokale Druckerhöhung (z. B. Schwellung, Wundheilungsprozesse oder mechanische Situationsveränderung etc.) kann der Informationstransport irritiert, verlangsamt und erschwert werden. Es resultieren reduzierte Funktionsfähigkeiten in den Erfolgsorganen. Diese Störungen betreffen zu den vom Nerv versorgten Organen und Geweben auch den lokalen Nerv selbst und das umliegende Kontaktgewebe. Durch Einbußen in der Funktionsperformance kann das Nervensystem seine eigentliche Primärfunktion, die der Reizübermittlung, nicht mehr oder nicht mehr in vollem Umfang ausführen. Werden Reize nicht mehr in vollem Umfang geleitet oder verschwinden

**Tab. 1.1** Kontinuitätsebenen des Nervensystems – neurale Integrität

Strukturelle Kontinuität	Bioelektrische Kontinuität	Biochemische Kontinuität
Alle Nerven sind untereinander verbunden und bilden ein riesiges Informationstransportnetzwerk	Im Nervensystem werden elektrische Impulse zur Einleitung und Steuerung von physiologischen Prozessen geleitet	Auch Neurotransmitter werden zur Informationsübermittlung und zur Kontrolle von physiologischen Prozessen ausgeschüttet und über das Nervensystem verteilt

**Tab. 1.2** Hauptfunktionen des Nervensystems – Auswahl an möglichen Störquellen der Neurodynamik

Hauptfunktionen des Nervensystems	Mögliche Störquellen der Neurodynamik
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informationsübermittlung (Konduktion: Sensibilität, Motorik&amp;Kraft, Reflexe)</li> <li>• Dynamische Adaption auf Bewegung (Neurodynamik: Elastizität, Bewegungs- und Deformationstoleranz – auch der umliegenden Gewebe)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nerv selbst (Neurium: Hüllgewebe, Nervenfasern)</li> <li>• Innerviertes Gewebe (z. B. Läsion oder Funktionsstörung im Zielgewebe)</li> <li>• Pathophysiologische Faktoren (neurale Durchblutung, entzündliche Grundsituation oder dysfunktionale Selbstinnervation)</li> <li>• Ungünstige Drucksituation im Gewebe (Kontaktgewebe; mechanical interfaces)</li> <li>• Fasziale Einflussgrößen</li> <li>• Andere Körpersysteme</li> <li>• Gesundheitliche Gesamtsituation</li> <li>• Stressfaktoren</li> <li>• Sensitivität des gesamten Organismus</li> </ul>

komplett aus den Leitungsbahnen, entstehen Informationslücken, die zu neurologischen Symptomen oder Defiziten (motorischer oder sensibler Art) führen können. Die motorischen oder sensiblen Dysfunktionen können bis zum Ausfall der Funktionen gehen, komplett oder partiell – je nach Ursache und Größe der Schädigung oder der lokalen Irritation. Weiterhin entstehen auf dieser Basis auch Schmerzen oder Bewegungseinschränkung am Bewegungsapparat.

Die Hauptfunktionen des Nervensystems können mit zwei wesentlichen Punkten zusammengefasst werden:

- Informationsübermittlung (Konduktion: Sensibilität, Motorik und Kraft, Reflexe)
- Dynamische Adaption auf Bewegung (Neurodynamik: Elastizität, Bewegungs- und Deformationstoleranz – auch an den Berührungspunkten mit den umgebenden Geweben)

Bei der Erfüllung dieser zwei Hauptfunktionen kann das Nervensystem von vielfältigen Irritationen aus den verschiedensten Störquellen behindert werden. Unter anderem sind es die nachfolgend aufgelisteten Störquellen, denen wir im klinischen Alltag immer wieder gegenüberstehen:

- Nerv selbst (Neurium: Hüllgewebe, Nervenfasern)
- Innerviertes Gewebe (z. B. Läsion oder Funktionsstörung im Zielgewebe)

- Pathophysiologische Faktoren (neurale Durchblutung, entzündliche Grundsituation oder dysfunktionale Selbstinnervation)
- Ungünstige Drucksituation im Gewebe (Kontaktgewebe; „Mechanical Interfaces“)
- Fasziale Einflussgrößen
- Andere Körpersysteme
- Gesundheitliche Gesamtsituation
- Stressfaktoren
- Sensitivität des gesamten Organismus

Neben dem Transport von Informationen (Reizen) und der ständigen Kontrolle von physiologischen Prozessen in unserem Körper ist das Nervensystem permanent damit beschäftigt, sich auf die strukturellen Herausforderungen von dynamischer Bewegung und den damit verbundenen Veränderungen von Druck und Zug anzupassen.

Diese strukturelle Adaption des Nervensystems an Bewegung ist eigentlich eine regelrechte Challenge. Nicht zuletzt wird diese Funktionalität benötigt, um vor allem die Durchblutung, den Stoffwechsel und alle physiologischen Prozesse in den einzelnen Bestandteilen des Nervensystems, also in den Nerven selbst, zu gewährleisten. Diese Anpassungsfähigkeit führt im Normalfall zu einer zuverlässigen Reizweiterleitung auf der Basis einer stabilen Neurophysiologie und trägt damit zu auch einer bestmöglichen körperlichen Funktionsfähigkeit bei. Das Nervensystem durchzieht den ganzen Körper, steht mit vielen Strukturen in direkter oder unmittelbarer Ver-

bindung und ist damit dynamisch, mechanisch, strukturell und funktionell von diesen Kontaktbeziehungen abhängig (siehe Abb. 1.2). Bei ungünstigen Bedingungen entsteht dabei auch ein großes mechanisches Irritationspotenzial. Mit dieser Situation ist das Nervensystem auch den Gesetzen der Mechanik unterworfen und den mechanischen, kinematischen Kräften von Bewegung ausgesetzt. Das Nervensystem muss sich mit seinen dynamisch-elastischen Fähigkeiten den mechanischen Anforderungen von jeder Bewegung anpassen können, die ein Körper im Alltag ausführen kann.

Dabei interagiert das Nervensystem mit den an der Bewegung beteiligten Strukturen. Für die Neurodynamik sind sowohl die Deformationsfähigkeit als auch die elastische Dehnfähigkeit der neuralen Strukturen und ihrer Hüllgewebe sowie die Gleitfähigkeit der einzelnen Hüllschichten gegeneinander und gegen äußere Kontaktgewebe von größerer Bedeutung. Ein-

schränkungen erfährt das Nervensystem vor allem durch Druckveränderungen (wie z. B. durch Ödeme, Einblutungen, pathologische Adhäsionen aus z. B. ungünstig ablaufenden Wundheilungsprozessen). Aber auch entzündliche Prozesse, Narbenbildungen, Bandscheibenveränderungen, Gewebeläsionen oder osteophytäre An-/Umbauten können das Nervensystem nachhaltig negativ beeinflussen – also Verletzungen jeder Art. Das Nervensystem bewegt sich mit Roll- und Gleitmechanismen gegen sein umliegendes Kontaktgewebe (mittels extraneuraler Adaptionsmechanismen) und in sich bzw. gegen sich selbst (mittels intraneuraler Adaptionsmechanismen). Um diese Mobilität zu gewährleisten, sind vor allem die intra- und extraneuralen Hüllstrukturen von größerer Bedeutung. Diese Hüllen sind Teil des Faszien-systems. In der Neurodynamik, der Anpassungsfähigkeit von Nerven auf Bewegung und mechanische Druck- und Zugbewegungen (siehe Abb. 1.3), können Abhängigkeiten und Beeinflussungen zu den Nervenfunktionen auf biopsychosozialer Ebene untersucht und beurteilt werden. Dabei werden die Irritationen/Symptomreproduktionen der zwei wichtigsten Nervenfunktionen miteinander verglichen. Auf einer Seite steht die Konduktion (also die Reizweiterleitung) und auf der anderen Seite die mechanische Anpassungsfähigkeit der neuralen Strukturen (leitende Fasern mit der Gesamtheit der neuralen Hüllstrukturen) auf Bewegungs- und Haltungsveränderungen.

► Die Neurodynamik liefert die Möglichkeit, die Mechanosensitivität des Nervensystems und der umliegenden Gewebe zu untersuchen, zu beurteilen und im Bedarfsfall geeignete Behandlungsstrategien aus den gewonnenen Erkenntnissen entwickeln oder herleiten zu können.

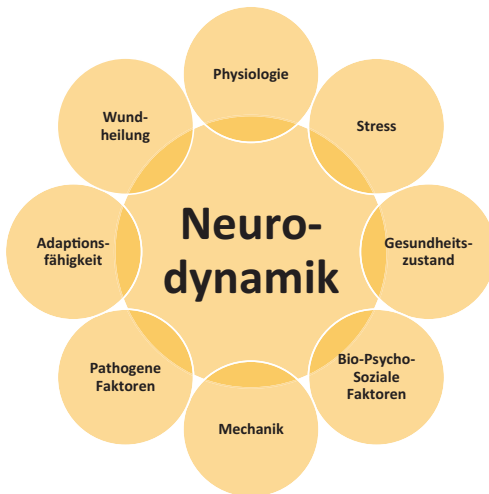


Abb. 1.2 Einflussfaktoren auf die Neurodynamik



Abb. 1.3 Mechanische Kernfaktoren der neuralen Mobilität



## 1.5 Wichtige Begriffe für die Neurodynamik

### Sensibilität

Die Sensibilität beschreibt die Reiz- oder Schmerzempfindlichkeit eines Organismus oder des Nervensystems. Dabei wird sowohl die Wahrnehmung von Reizen als auch die Verarbeitung und die Reaktion auf diese Reize betrachtet und beurteilt. Sensibilität ist somit eine gesamtorganische Komplexleistung von Rezeptoren, den zentralen Verarbeitungszentren und den peripheren Erfolgsorganen. Eine gute Sensibilitätsleistung ist immer auch von den 5 Sinnen (Sehen, Hören, Fühlen, Riechen und Schmecken) abhängig, über die unsere Wahrnehmungs- und Interaktionsfähigkeit im Wesentlichen gesteuert wird. Sensibilitätsleistungen können auch nach der Lage der Rezeptoren beurteilt werden. So werden Fähigkeiten der Oberflächensensibilität (Tast- und Berührungssensibilität, Temperatur- und Schmerzsensibilität) von den Fähigkeiten der Tiefensensibilität (Stellung der Gelenke und des Körpers im Raum, Bewegungssensibilität und Kraftsensibilität) unterschieden.

### Sensitivität

Der Begriff „Sensitivität“ beschreibt die Empfindlichkeit eines Systems oder eines Organismus. Bei einer hohen Sensitivität reagiert das System bereits auf niedrighschwellige Reize, wie z. B. das hoch sensitive Nervensystem bei einer frischen Verletzung oder einem hochgradig entzündlichen Zustand. Je empfindlicher (dünnhäutig, leicht verletzlich oder hyperästhetisch) ein System eingestellt ist, desto geringere Reizintensitäten sind für eine Reaktion des Systems erforderlich.

Bei medizinisch-therapeutischen Tests gibt die Sensitivität (Empfindlichkeit) an, wie zuverlässig ein Testverfahren erkrankte Individuen findet. Ein Test hat dann eine hohe Sensitivität, wenn er möglichst viele tatsächlich (richtig positiv) Erkrankte als krank identifizieren kann. Bei einer Sensitivität von 100 % werden alle tatsächlich erkrankten Individuen erkannt. Bei einer Sensitivität von 65 % werden noch 65 % der Er-

krankten erkannt, aber 35 % mit der Erkrankung werden nicht erkannt (falsch negativ).

### Mechanosensitivität

Starke Reaktionen aufgrund von mechanischen Kräften (Palpation, Druck, Bewegung etc.) können im Bereich der Mechanosensitivität erklärt werden. Eine hohe Mechanosensitivität kann auch eine hohe Störanfälligkeit für den Organismus bedeuten, da bereits bei geringer Reizintensität eine starke Ausgleichsreaktion/Schutzmaßnahme erfolgt. Je höher die Mechanosensitivität ist, desto leichter lässt sich der betroffene Bereich von Reizen irritieren.

### Spezifität

Die Fähigkeit eines Organismus, auf bestimmte Reize mit einer dafür charakteristischen Antwort/Anpassung zu reagieren. Spezifische Reize lösen spezifische Reaktionen und Veränderungen aus. Ein Organismus wird auf Mobilitätsübungen mit einer Verbesserung seines aktiven und passiven ROM (Range of Motion) reagieren. Auf Trainingsreize im Kraftbereich (z. B. Belastungen im Bereich von 90 % des Kraftmaximums) mit einer Steigerung der intra- und intermuskulären Koordinationsfähigkeit – also mit einer Steigerung der Kraftfähigkeit des Organismus.

Bei medizinischen Tests gibt die Spezifität an, wie viele tatsächlich nicht Erkrankte (richtig negativ) vom Test auch als gesund erkannt werden können. Von einer hohen Spezifität spricht man dann, wenn der Test möglichst viele tatsächlich nicht erkrankte Individuen auch als nicht erkrankt einstuft.

### Reliabilität

Sichert das Testergebnis und kennzeichnet die Zuverlässigkeit eines therapeutischen Tests, auch bei wiederholter Durchführung zum selben Ergebnis zu kommen. Je zuverlässiger ein Test funktioniert, desto sicherer sind die mit ihm gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse. Im besten Fall sind die durch den Test gewonnenen Testergebnisse unabhängig vom Tester (Objektivität oder Inter-Tester-Reliabilität)

und führen zum gleichen Ergebnis. Ein Testverfahren hat dann eine hohe Reliabilität, wenn es bei wiederholter Durchführung, unter denselben Bedingungen und an denselben Gegenständen dieselben Ergebnisse liefert. Genau an diesem Punkt treten bei therapeutischen Tests häufig Irritationen auf. Der untersuchte Organismus erfüllt diese Bedingung (derselbe Gegenstand) nicht, da er sich in permanenter Veränderung und Anpassung befindet. Zudem ist im therapeutischen Kontext eine Veränderung des Organismus durchaus gewünscht (zur Erreichung der Therapieziele). Deshalb kann die Ausgangsbedingung für Tests in der Arbeit mit Patienten nicht immer dieselbe sein.

### **Validität**

Die Gültigkeit eines Testverfahrens ist dann gegeben, wenn der Test auch tatsächlich das testet, was es testen soll. Ein Test hat dann eine hohe Validität, wenn die getesteten Parameter nicht von anderen, ungewollt auftretenden Faktoren beeinflusst wird.

### **Adaptabilität**

Beschreibt die Fähigkeit eines Organismus oder eines seiner (Teil-)Systeme, sich aufgrund innerer oder äußerer Reize an neue Situationen anzupassen oder zu verändern. Grundvoraussetzung für eine Anpassungsreaktion ist eine intakte Wahrnehmung von Reizen und ein adäquates Reaktionsverhalten. Jeder Reiz, der eine bestimmte Stärke (Intensität, Schwellwert) übersteigt, wird reaktionswirksam und bewirkt durch eine Veränderung des Systems die Anpassung des Organismus.

### **Mechanoadaptabilität**

Darunter ist die Fähigkeit eines Organismus (oder eines seiner Systeme) zu verstehen, sich auf mechanische Reize (im Wesentlichen Druck und Zugspannung) zu verändern und an die neuen Bedingungen anzupassen. Mechanische Kräfte verändern die Bewegungssteuerung, die Gewebespannung, das Gleit- und Reibeverhältnis bei Bewegungen, die Bewegungsdurchführung (Krafteinsatz) und physiologische Kenngrößen wie z. B. die Durchblutung, Pro-

duktion von Schmierstoffen oder die Sauerstoffaufnahme und -verteilung.

### **„Off“-Tension**

Kennzeichnet eine Körperhaltung oder die Positionierung eines Körperabschnitts mit reduzierter neuromeningealer Spannung. Meist sind hier Entlastungs- oder Schutz- bzw. Schonhaltungen zu finden. Diese sollen ungünstige Spannung gezielt reduzieren und den Organismus vor nachhaltigen Schädigungen schützen.

### **„In“-Tension**

Kennzeichnet eine Körperhaltung oder die Positionierung eines Körperabschnitts mit gesteigerter neuromeningealer Spannung. Hier sind häufig monotone Gewohnheitshaltungen, wie beispielsweise Sitzposition am Schreibtisch, thorakale Hyperkyphosen oder die Lese- position in Seitlage mit abgestütztem Ellbogen anzutreffen. Diese Körperhaltungen können auf Dauer problematisch oder symptomhaft werden.

### **Nervendehnfähigkeit**

Die Dehnfähigkeit neuraler Strukturen bezieht sich vor allem auf die dynamisch-elastischen Fähigkeiten der neuromeningealen Hüllen. Als bindegewebige (fasziale) Hüllen besitzen sie dynamische Bewegungseigenschaften wie z. B. Kontraktionsfähigkeit, eigenständige Tonusregulation, Wasserbindungsfähigkeit und elastische Rückstellkräfte. Neurale Hüllen werden bei Gewebedehnungen ebenfalls verlängert und haben eine Spannungsfähigkeit und eine eigene Belastungs-Deformations-Kurve.

### **Nervengleitfähigkeit**

Die Gleitfähigkeit und die Spannungssituation von neuralen Strukturen (des Nervensystems) beeinflussen sich gegenseitig. Neurale Strukturen erfahren bei allen Bewegungen des Körpers Lage- und Spannungsveränderungen. Sie passen sich den Lageveränderungen überwiegend durch Gleitbewegungen an. Innerhalb der neuralen Struktur gleiten einzelne Faszikel gegeneinander, extraneural gleitet das Nervenüllgewebe gegen die Berührungsf lächen. Neuro-meningeale Hüllen haben einen Schichtaufbau

(Endo-, Peri- und Epineurium bei peripheren Nerven), der für die Bewegungsanpassung essenziell ist. Zwischen den faszialen Hüllen gibt es eine Verschiebeschicht mit Schmierflüssigkeit, die die Oberflächen der Hüllen gleitfähig macht. Je nach Gewebezustand variiert die Qualität dieser körpereigenen Schmierstoffe. Bei einem proentzündlichen Gewebezustand oder einer generell höheren Temperatur nimmt die Qualität dieser körpereigenen Schmierstoffe ab und die Bewegungsanpassungsfähigkeit der neuralen Strukturen sinkt. So entstehen Irritationen im neuralen Hüllgewebe, die sich auf die leitenden Fasern ausweiten und symptomhaft werden können. Auch andere Prozesse, wie z. B. Ödembildung im Epineural- oder Interneuralraum, Fibrosen oder traumatische Zustände, können die Gleitfähigkeit des Nerventetts und damit auch die Bewegungsanpassung stören. Adhäsionen können für eine signifikante Spannungszunahme im Nervengewebe bei Bewegungen sorgen. Dabei wird sich die Spannung vor allem distal und proximal der Adhäsionsstelle erhöhen. Bei vermehrter Spannung nimmt der Nervendurchmesser ab und der intraneurale Faszikeldruck steigt an. Erreicht der intraneurale Druck höhere Werte als der extraneurale Druck der Blutgefäße, begünstigt dies die Entstehung von Ödemen und verstärkten proentzündlichen Situationen (siehe Sunderland 1990), und die Gleitfähigkeit der neuralen Strukturen nimmt ab.

### **Deformationstoleranz/Deformationsfähigkeit**

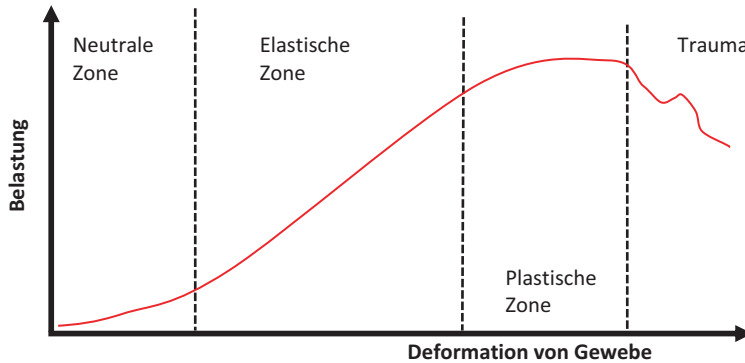
Bei jeder Bewegung kommt es durch das Einwirken von äußeren und inneren Kräften zu einer Deformation von Körpergewebe. Die Deformation bewirkt zunächst eine Formveränderung der bewegten Gewebe. Bei einwirkenden Zugspannungen wird das Gewebe länger, aber dünner (da das Volumen erhalten bleiben muss). Meist ist dieser deformierte Zustand reversibel und lediglich temporär auf die Dauer der Krafteinwirkung begrenzt. Nach der Bewegung und einem Ausgleich der einwirkenden Kräfte kommt es wieder zu einer Reformation: Das betroffene Gewebe geht wieder zurück in den ursprünglichen Zustand. Der Grad der Deformation wird dabei von der Art

des Gewebes und den einwirkenden Kräften bestimmt. Knochen hat dabei eine andere Deformationsfähigkeit als beispielsweise Muskel- oder Faszienewebe. Zu den beeinflussenden Faktoren der Deformationsfähigkeit gehören unter anderem der Anteil von kollagenen und elastischen Fasern, die Innervation (Anzahl und Fähigkeit der Rezeptoren), die Temperatur und die Stärke der einwirkenden Kräfte. In der Beurteilung von Deformationsfähigkeit oder -toleranz spielt die Belastungs-Deformations-Kurve eine große Rolle. Dabei wird die neutrale von der elastischen und der plastischen Zone unterschieden. Je größer die Belastung (Intensität der Kräfte) wird, desto stärker tritt eine Deformation am Gewebe auf. Wird die Belastung zu groß und die Deformation reicht bis in die plastische Zone, sind größere Deformationen und eine steigende potenzielle Verletzungsgefahr zu erwarten. Andererseits kann eine Belastungs-Deformations-Kurve auch zur Erklärung von Symptomen bei Verletzungen herangezogen werden. Sind Faserzerreißen vorhanden, kommt es zur Reduktion der elastischen Zone und zur Ausweitung der plastischen Zone (Schutzspannung, Schonhaltung, Tonuserhöhung). So können eine eingeschränkte Beweglichkeit oder zunehmende Schmerzvermeidungsstrategien erklärt werden. Ziel der Therapie ist es dann, die elastische Zone wieder zu vergrößern (Mobilisation) und die plastische Zone entsprechend zu verkleinern (siehe Abb. 1.4).

### **Kontaktgewebe/Mechanical Interface**

Das Nervensystem verläuft als kontinuierliches Netzwerk durch den gesamten Körper. In diesem Zuge nutzen periphere Nerven den Körper als Container und haben in ihrem Verlauf Kontakt zu vielen anderen Geweben. Alle Gewebe, die im peripheren Verlauf eine Berührungsfläche mit einem Nerv haben, werden als neurale Kontaktgewebe bezeichnet. Durch den direkten Kontakt der Hüllschichten ist eine Möglichkeit zur gegenseitigen Beeinflussung gegeben, die sich bei pathologischen oder symptomhaften Entwicklungen auswirken kann. Vor allem bei strukturellen Veränderungen des Kontaktgewebes, wie z. B. knöchernen Veränderungen





**Abb. 1.4** Belastungs-Deformations-Kurve

nach Frakturen oder Tonusveränderungen bei muskulären oder faszialen Kontaktflächen, ist eine Beeinflussung der neuralen Strukturen als wahrscheinlich anzunehmen. Daher sollten mechanische Berührungsflächen/neurales Kontaktgewebe in die Behandlung von neurodynamischen Störungen integriert werden.

### Neurodynamik

Unter Neurodynamik versteht man die Fähigkeit des Nervensystems, sich an Bewegungskräfte und deren Auswirkungen anpassen zu können. Dies betrifft die dynamische Anpassung der neuralen Hüllstrukturen in sich selbst, genauso aber auch die Anpassung der neuralen Hüllen gegen das umliegende Gewebe (Kontaktgewebe und Berührungsflächen). Zu den Adaptionsmechanismen zählen das innere Straffen der neuromeningealen Hüllen, das Gleiten der Hüllen gegeneinander und das Spannen der Hüllen am maximalen Bewegungs- und Deformationsende. Die individuellen Belastungs-Deformations-Kurven der neuralen Hüllen und der Kontaktgewebe bestimmen dabei das ROM.

### Neurale Spannung

Druck- und Zugkräfte, die emotional-psychische Situation, Aktivitätsgrad und Trainingszustand bestimmen unter anderem die Spannungen im menschlichen Körper. Auch fasziale Hüllstrukturen haben einen eigenen Tonus, und das Faszienewebe als solches besitzt die Fähigkeit zur Selbstverkürzung; ist also kontraktile.

Die Spannungssituation des Nervensystems, als Teil des menschlichen Bewegungsapparates, ist gleichfalls von diesen Faktoren abhängig und beeinflussbar. Auch pathologische Situationen wie Entzündungen, Ödeme oder Fibrosen können die Spannung eines peripheren Nervs verändern. Insofern ist der Spannungszustand des Nervensystems auch variabel, situativ veränderlich und beeinflusst die neurodynamischen Fähigkeiten (Glätten der gefalteten Struktur, Gleiten der neuromeningealen Hüllen und Spannungstoleranz der faszialen Hüllen) des Nervensystems und seiner Kontaktgewebe nachhaltig. Eine Zunahme von neuraler Spannung reduziert in der Regel die Gleitfähigkeit des Systems. Neurale Spannung kann mit therapeutischen Maßnahmen behandelt, beeinflusst und verändert werden. Die Modulation von neuraler Spannung kann somit zur Verbesserung von Symptomen genutzt werden.

### Nervenschädigung

Eine Nervenschädigung liegt auch dann vor, wenn die Faserkontinuität noch vollständig intakt ist. Druck- und Dehnschädigungen können die Nervenfunktionen auch ohne Faserzerreißen beeinträchtigen. Dabei treten häufig sensible Symptome (Dysästhesien) wie Kribbeln, Taubheit oder eingeschlafenes Gefühl im betroffenen Areal auf. Es können auch motorische Störungen, wie z. B. Kraft- oder Funktionsverlust, in der innervierten Muskulatur auftreten. Die Intensität dieser Symptome kann von kaum

wahrnehmbar bis zum kompletten Ausfall der Nervenfunktion reichen.

### **Neuropathische Symptome/Neuropathie**

Unter neuropathischen Symptomen versteht man sensorische oder motorische Ausfälle, die sich auf das Versorgungsgebiet eines peripheren Nervs oder das Versorgungsgebiet einer Nervenwurzel (Dermatome, Myotome, Sklerotome) beziehen.

### **Radikulopathie (auch: radikuläres Syndrom oder Nervenwurzelreizung)**

Bei der Läsion eines Spinalnervs, z. B. durch Druckerhöhung auf die Nervenwurzel, treten entsprechende Sensibilitätsstörungen oder motorische Störungen im segmentalen Versorgungsgebiet der Nervenwurzel auf. Dabei können auch radikuläre Schmerzen mit ausstrahlendem Charakter vorhanden sein. Im progredienten Verlauf können auch schlaffe Lähmungen der von der betroffenen Nervenwurzel innervierten Muskulatur auftreten.

### **Polyradikulopathie**

Bei einer Läsion mehrerer Nervenwurzeln treten häufig beidseitig symmetrische Paresen auf. In seltenen Fällen handelt es sich um rein motorische Paresen.

### **Plexusläsion/ Plexopathie**

Bei der Läsion eines Arm- oder Beinplexus kommt es häufig zu kombinierten sensorischen Ausfällen in Bereichen, die dem Innervationsgebiet des betroffenen Plexus oder mehrerer daraus hervorgehender Nerven entsprechen.

### **Mononeuropathie, periphere Nervenläsion**

Eine periphere Nervenläsion kann die Nervenwurzel, den Spinalnerv, den Plexus oder die peripheren Nerven selbst betreffen. Schädigungen können durch Druck (Kompressionsneuropathie), degenerative Prozesse, Entzündungen, Stoffwechselstörungen, Durchblutungsstörungen, Ödematisierung, Fibrosierung oder durch mechanische Einwirkungen entstehen.

Die Läsion eines peripheren Nervs kann sensorische Ausfälle generieren. Bei rein motorischen Nerven betrifft die Störung das motorische Innervationsgebiet. Im progredienten Verlauf kann eine schlaffe Parese entstehen.

### **Zentrale Nervenläsion**

Zentrale Läsionen gehen mit Schädigung des ersten Motoneurons einher und verursachen spastische Tonuserhöhungen, gesteigerte Muskelreflexe und positive Pyramidenbahnzeichen.

### **Polyneuropathie**

Eine Axonläsion oder demyelinisierende Prozesse mehrerer Nerven können im entsprechenden Innervationsgebiet Parästhesien (kribbelig, pelzig, brennend), trophische Störungen oder Paresen auslösen. Distal sind diese Symptome häufig symmetrisch in der Verteilung und haben einen progredienten Charakter im proximalen Verlauf. Weiterhin kann es in den von den betroffenen Nerven versorgten Muskeln zu schlaffen Lähmungen kommen.

### **Falsifikation**

Bei jeder in der Therapie aufgestellten Hypothese besteht die Möglichkeit, dass sie sich als falsch erweist. Ein wichtiger Bestandteil eines effektiven Clinical Reasoning besteht darin, diese Möglichkeit aktiv zu suchen. Eine Falsifikation liegt vor, wenn die aktuelle therapeutische Hypothese durch andere Beobachtungen oder Untersuchungsergebnisse widerlegt werden kann. In diesem Sinne ist es wichtig, nicht nur nach der Bestätigung der aufgestellten Hypothesen zu suchen, sondern diese gezielt zu widerlegen. Gelingt das Widerlegen von Hypothesen nicht, sind diese zwangsläufig richtig.

### **Konduktionsfähigkeit**

Eigentlich kommt der Begriff „Konduktion“ aus der Physik und bedeutet Wärmeleitung ohne Stofftransport. Im neuralen Zusammenhang geht es also im weitesten Sinne um den Transport von Informationen (Reize) ohne Stofftransport.

Die Hauptaufgabe des Nervensystems besteht in der Reizleitung. Nach der Reizaufnahme durch die Sinnessysteme folgt eine afferente Reizweiterleitung ins ZNS zur Beurteilung und Bewertung, bevor dann eine adäquate Reizreaktion efferent zu den Erfolgsorganen geschickt werden kann. Konduktionsfähigkeit steht demnach für eine elektrochemische Reizweiterleitung ohne Stofftransport im neuralen System. Klassisch für die Konduktionsfähigkeit stehen die Reflexe, Sensibilitäts- und Motorikfähigkeiten des Nervensystems.

### **Turnover/Turnover-Rate**

Biochemisch ist unter einem Turnover der Auf- und Abbau von körpereigenen Substanzen/Geweben zu verstehen. Die Turnover-Rate gibt den zeitlichen Rahmen für diese Auf- und Abbauprozesse vor, also die Zeit, in der der Organismus die Zellen eines Gewebes/Organs abgebaut und wieder durch neue Zellen ersetzt hat. Diese Prozesse betreffen auch die Wundheilungsphasen. Ein hoher Turnover bedeutet eine schnelle Umsetzung von alten in neue Zellen und damit auch eine schnelle Erneuerung von Geweben in der Wundheilung. Turnover ist somit eine Stoffwechsellistung.

### **Double-Crush-Syndrom**

Um ein sogenanntes „Double-Crush-Syndrom“ handelt es sich, wenn im Verlauf eines peripheren Nervs an zwei verschiedenen Stellen Druck (Kompression) auf die neuralen Hüllen und die leitenden Fasern einwirkt. Das Bestehen einer ersten Kompressionsstelle macht den betroffenen Nerv in seinem Verlauf häufig anfälliger und sensitiver für weitere Störungen. An einer zweiten Stelle genügt dann ein deutlich geringerer Druck, um den Nerv symptomhaft werden zu lassen. Klassische Beispiele dafür sind Irritationen des N. medianus, der sowohl in der Zervikalregion als auch an der medialen Ellbogenseite und im Karpaltunnel signifikant unter Kompression geraten kann.

### **Differenzierung/Differenzierende Untersuchung**

Um herauszufinden, ob eine bestimmte anatomische Struktur an einem gesundheitlichen Problem beteiligt ist, werden differenzierende Tests durchgeführt. Damit kann, im Optimalfall, die Belastung auf eine Struktur symptomreproduzierend erhöht werden, ohne dabei an einer anderen Struktur etwas zu verändern. Können nun bei der spezifischen Belastung einer Struktur Symptome ausgelöst oder verstärkt werden, während die Belastung einer zweiten Struktur keine Symptome auslöst oder verstärkt, ist die Beteiligung der ersten Struktur belegt. Demnach scheidet die zweite Struktur, mangels Symptomreproduktion, als potenzielle Ursache aus.

### **Parästhesie**

Bei einer Parästhesie handelt es sich um eine anormale sensible Wahrnehmungsfähigkeit, die oft ohne erkennbare Ursache auftritt. Zu den häufigsten Missempfindungen gehören Kribbeln, pelziges Gefühl, Taubheit, Ameisenlaufen oder ein kaltes Empfinden in bestimmten Körperregionen.

### **Hypästhesie**

Bei einer reduzierten Wahrnehmungsfähigkeit von Druck- oder Berührungsreizen spricht man von einer Hypästhesie. Dabei handelt es sich um eine Sensibilitätsstörung. Häufig sind die Extremitäten (Hände, Arme, Füße, Beine und Gesicht) betroffen.

### **Hyperästhesie**

Hierbei kommt es zu einer Überempfindlichkeit des Nervensystems, die sich in einer gesteigerten Wahrnehmung auf Druck- und Berührungsreize zeigt. Meist treten Hyperästhesien infolge von Neuropathien auf und weisen auf eine Überreaktion der Rezeptoren hin.

### **Allodynie**

Unter einer Allodynie wird ein Zustand des Nervensystems verstanden, in dem ein eigent-

lich nicht schmerzhafter Reiz zu einer Schmerzempfindung führt. Dabei handelt es sich um eine gesteigerte Schmerzhaftigkeit des Nervensystems, meist mit Hyperreagibilität auf Druck- und Berührungsreize.

---

## Literatur

- Antoniades A., Nervenkompressionssyndrome, 3. Aufl., Springer Verlag Heidelberg, 2015.
- Bartrow K., Untersuchen und Befunden in der Physiotherapie, 3. Aufl. 2019, Springer Verlag Heidelberg
- Butler D. S., Mobilisation des Nervensystems, 2. korr. Nachdruck., Springer Verlag Heidelberg 1998
- Coppieters W.M., Alshami A.M., Barbi A.S. Strain and excursion of the sciatic, tibial, and plantar nerves during a modified straight leg raising test. *J. Orthop. Res.* 2006; 24: 1883–1889
- Coppieters M, Kurz K, Mortensen T, Richards N, Skaret I, et al. 2005. The impact of neurodynamic testing on the perception of experimentally induced muscle pain. *Man. Ther.* 10, 1: 52–60
- Elvey L.R. Physical evaluation of the peripheral nervous system in disorders of pain and dysfunction. *J. Hand Ther.* 1997; 10: 122–129
- Elvey RL. „Adverse neural tension“ reconsidered. *Australian Journal of Physiotherapy* 1998;3:13–18
- Franze K, The mechanical control of nervous system development. *Development* 140, 3069–3077 (2013)
- Nordez A, Gross R, Andrade R, Le Sant G, Freitas S, Ellis R, McNair PJ, Hug F, Non-muscular structures can limit the maximal joint range of motion during stretching, *Sports Medicine* 47(10), 1925–1929 (2017)
- Shacklock M. (2008). *Angewandte Neurodynamik. Muskuloskeletale Strukturen verstehen und behandeln.* Elsevier-Verlag, München; 1. Auflage
- Schleich R., *Lehrbuch Faszien*, Urban&Fischer – Elsevier München, 2014

# Strukturelle Grundlagen der Neurodynamik

# 2

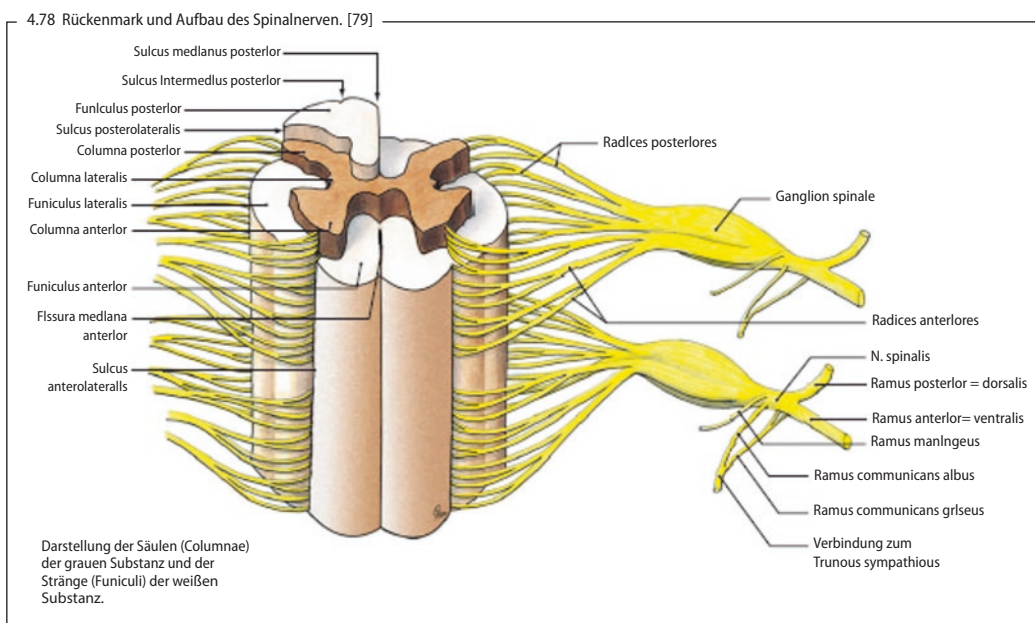
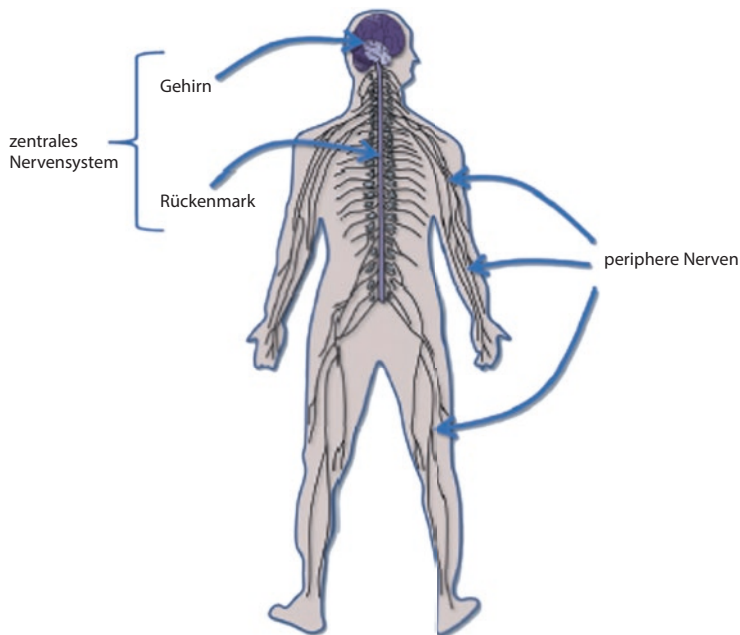
## 2.1 Anatomie des peripheren Nervensystems

Das periphere Nervensystem geht aus dem zentralen Nervensystem (Gehirn und Rückenmark) hervor und bildet so ein kontinuierliches System, das ohne Unterbrechung mit allen Hüllstrukturen (intra- und extraneurale Hüllen) durch den gesamten Organismus verläuft (siehe Abb. 2.1). Aus dem Rückenmark treten segmental die Spinalnerven aus und ziehen nach der plexiformen Ausrichtung (Plexus cervicalis, Plexus brachialis, Plexus lumbalis, Plexus sacralis) weiter in ihre peripheren Versorgungsgebiete. Die plexiforme Ausrichtung ist dabei unter anderem eine mechanische Schutzeinrichtung. Der Plexus sorgt durch seine Verzweigungen und Querverbindungen für eine bestmögliche Verteilung der mechanischen Zugkräfte, die bei Bewegung auf die Nerven einwirken. So kann die Belastung der einzelnen Spinalnerven und der nach innen angegliederten Nervenwurzeln so gering als möglich gehalten werden. Ein Spinalnerv erhält zum Teil Zuflüsse aus bis zu 4 Segmenten cranial und 4 Segmenten caudal seiner Hauptaustrittsstelle. Dies ist auch ein Vorteil bei der Reizweiterleitung, da der Spinalnerv nicht ausschließlich durch einen Faserstrang auf den Weg gebracht wird, sondern sich die Reize auch einen anderen Weg in die Erfolgsorgane oder Körperzonen suchen können.

Vom motorischen Vorderhorn auf Rückenmarksebene kommt die überwiegend motorische Radix anterior (auch: Radix ventralis) und die eher sensorische Radix posterior (auch: Radix dorsalis). Beide laufen im intervertebralen Foramen (im Ganglion spinale) zusammen. Innerhalb des intervertebralen Foramens spricht man noch von der Nervenwurzel (Radix). Außerhalb des Foramens bilden sie den Spinalnerv (siehe Abb. 2.2). Dieser verzweigt sich nachfolgend (nach dem Ganglion spinale) in einen Ramus posterior (auch: Ramus dorsalis) und einen Ramus anterior (auch: Ramus ventralis). Der Ramus posterior versorgt alle dorsal gelegenen Strukturen (z. B. Facettengelenke, paravertebrale Muskulatur), während der Ramus anterior die für die ventral gelegenen Strukturen (Wirbelkörper, Bandscheibe und Extremitäten) zuständige Innervationsinstanz darstellt. Über den Ramus communicans albus hat der segmentale Spinalnerv eine „interne“ Verbindung zum nächsten Spinalnerv und zum sympathischen Grenzstrang über das Ganglion trunci sympathici (Tillmann 2020; Zilles 2010; Huggenberger 2019; Schünke 2018).

Der Ramus meningeus ist der rücklaufende Nervenast, der vor allem die Rückenmarkshäute (Dura) sensibel versorgt. Der Ramus communicans griseus enthält überwiegend unmyelinisierte Fasern, die vom sympathischen Ganglion zum Spinalnerv zurück verlaufen und vor allem

**Abb. 2.1** Übersicht Nervensystem. (Aus: Bartrow 2019, Untersuchen und Befunden in der Physiotherapie)



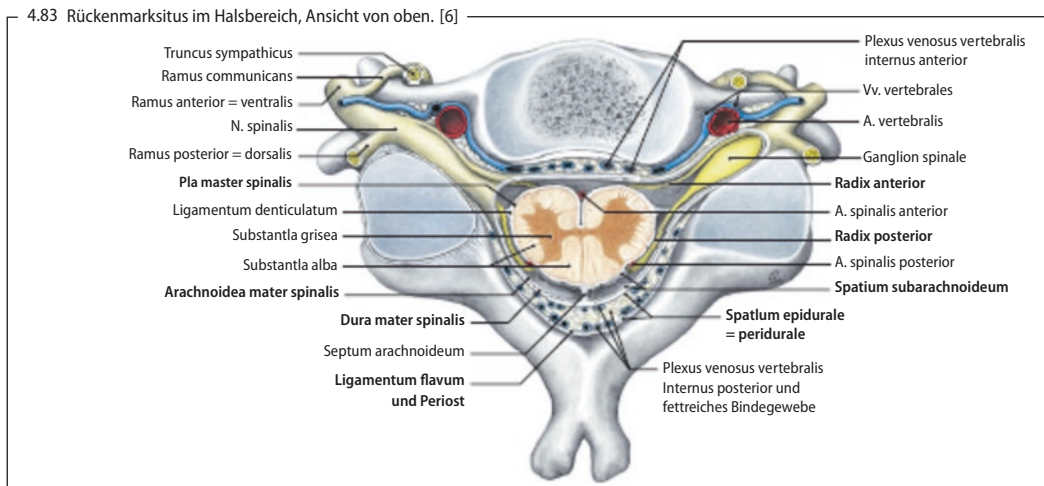
**Abb. 2.2** Peripheres Nervensystem. (Aus: Tillmann, Atlas der Anatomie des Menschen, 3. Aufl. 2020, Abb. 4.78, Seite 239)

postganglionäre Fasern für die Peripherie beinhaltet.

Die Innervation der Bandscheiben wird vom N. sinuvertebralis übernommen. Dieser kommt aus

dem Ramus meningeus des Ramus anterior und breitet sich multisegmental plexusartig entlang der Ligg. longitudinale anterior et posterior aus. Dabei erhält die Versorgung einer Bandscheibe





**Abb. 2.3** Querschnitt durch ein Rückenmarksegment. (Aus: Tillmann, Atlas der Anatomie des Menschen, 3. Aufl. 2020, Abb. 4.83, Seite 242)

(zumindest das äußere Drittel des Anulus-fibrosus-Gewebes) Zuflüsse von 3–5 Segmenten. Dieses Nervengeflecht stellt auch eine Verbindung zur Körpergegensseite dar und ist damit auch für einen Schmerzoverflow zur kontralateralen Seite mitverantwortlich. Durch die enge Verbindung zu den meningealen Strukturen und dem vegetativen Grenzstrang werden in diesem diskalen Plexus auch viele sympathische Informationen verarbeitet und weitergeleitet (siehe Abb. 2.3).

Periphere Nerven verlaufen durch den Körper in ihre Innervationsareale und teilen sich auf ihrem Weg in ihre motorischen oder sensiblen Endäste auf. Leitende Fasern und ihre bindegewebigen Hüllen ziehen somit an vielen verschiedenen Strukturen vorbei, bilden mit ihnen sogenannte Kontaktstellen und nutzen den gesamten Körper als eine Art Container.

Die leitenden Fasern des Nervensystems sind von mechanoadaptiven Membranen umgeben, die einmal ganz pragmatisch eine strukturelle Schutzfunktion erfüllen, indem sie die leitenden Fasern bindegewebig (durch die Endo-, Peri- und Epineurium-Strukturen) umhüllen. Andererseits fallen diese Hüllstrukturen durch einen hohen Grad an Anpassungsfähigkeit an mechanische Bewegungsanforderungen auf. Der Schichtaufbau der Membranen mit den dazwischen befindlichen „Räumen“, ermöglicht eine besondere Gleitfähigkeit der einzelnen Schichten gegeneinander. Zudem sind die kollagenen Fasern der membranartigen Hüllen mit einer enormen Zugstabilität und Deformationstoleranz ausgestattet. Mit diesen Fähigkeiten legen sie die Grundlage für eine größtmögliche Beweglichkeit und Bewegungstoleranz des gesamten Organismus.

## 2.2 Neurale Mechanik – Pathomechanik

Um die Bewegungsmechanismen des Nervensystems zu verstehen und die grundlegenden Fähigkeiten der Bewegungsanpassung und Druckverteilung therapeutisch zu nutzen, ist ein Blick auf den hierarchischen Aufbau der neuro-mechanischen Prinzipien hilfreich.

### 2.2.1 Hüllstrukturen des neuralen Systems: neuromeningeale Mobilität

Der menschliche Organismus ist ein kleines Verpackungswunder. Der Körper als Ganzes, jedes Organ, jeder Muskel, Knochen und jede einzelne Faser von Muskeln, Nerven

oder Sehnen, sind verpackt. Das Verpackungsmaterial ist Bindegewebe und macht seinem Namen alle Ehre. Denn der Name ist Programm: Bindegewebe verpackt nicht nur, sondern verbindet alle Körperregionen und alle Gewebe miteinander. So entsteht ein riesiges Netzwerk, das sich nicht nur funktionell und mechanisch gegenseitig beeinflusst, sondern sich auch um regen Informationsaustausch bemüht. Aus der Zentrale heraus sorgt die Pia mater, die Arachnoidea und die Dura mater für eine Schutzhülle um das ZNS (Gehirn und Rückenmark). Diese Hüllen setzen sich in den peripheren Nerven von innen nach außen mit dem Endoneurium, Perineurium und Epineurium fort. Diese Anordnung liefert eine weitere kontinuierliche Informationsbrücke vom ZNS bis in den periphersten Nerv. Da das Nervensystem auch strukturell ein Kontinuum darstellt und alle Fasern an einem Stück zusammenhängen, führen die faszialen Hüllen diese anatomische Kontinuität konsequent fort. Dabei verbinden sich Fasern der neuromeningealen Hüllstrukturen auf dem Weg durch den Körper auch mit anderen Geweben und Organen. Fasziales Bindegewebe ist hochgradig mit freien Nervenenden durchsetzt und trägt einen nicht unerheblichen Anteil zur körperlichen Wahrnehmung bei. Derart vernetzt, kommen nicht nur Informationen über den aktuellen mechanischen Status, wie z. B. Spannung, Tonussituation oder aktuelle Drucksituationen, im ZNS zur Bewertung und Weiterverarbeitung an. Es werden auch Informationen zur aktuellen Stoffwechsellage, Durchblutungssituation bis hin zum Enzymesatz oder dem physikalisch-chemischen Gewebezustand (z. B. proinflammatorische Situation) zur Bewertung und adäquaten Reaktionseinleitung übermittelt (Stecco 2016; Schleip 2014; Paoletti 2001; Tillmann 2020; Butler 1998; Shacklock 2008).

### 2.2.2 Zentrale neuromeningeale Mobilitätsadaptabilität

Meningen (Hirnhäute) umhüllen Gehirn und Rückenmark und wirken als Schutzpuffer und Spannungsschutz auch für die austretenden

Nervenwurzeln und Spinalnerven. Im Innersten der meningealen Schichten findet sich die Pia mater (weiche Hirnhaut), gefolgt von der Arachnoidea (Spinnwebhaut). In der äußeren Schicht findet sich die Dura mater (harte Hirnhaut), die die Innenseite des knöchernen Schädels und den Wirbelkanal auskleidet. Daher leitet sich auch die Bezeichnung „Kanal-Test“ ab.

Die Meningen bilden ein intrakranielles und ein extrakranielles Membransystem. Das intrakranielle Membransystem beginnt mit der Arachnoidea, die sich eng um die Hirnsubstanz legt und Gefäße ins Hirninnere abgibt. Nach außen hin schließt sich die Arachnoidea an, die durch den Subarachnoidalraum von der Pia mater getrennt wird. Die Hirnnerven sind in ihrem peripheren Verlauf aus dem knöchernen Schädel heraus über das Perineurium mit der Arachnoidea verbunden. Die Arachnoidea ist also Teil der neuralen Hüllstrukturen von Hirnnerven in der Peripherie und damit auch durch periphere Druck- oder Spannungssituationen mechanisch beeinflussbar. Nach außen grenzt der Subduralraum die Arachnoidea von der inneren Schicht der Dura mater ab. Die Dura mater cranialis verläuft intrakraniell in zwei Schichten. Mit der Dura periostalis bildet sie das Periostrum der Schädelknochen und stellt ein wichtiges Haltesystem für die Schädelknochen dar. Die Dura meningealis schafft mit ihrem Verlauf und Aufbau die anatomische Grundlage für ein venöses Abfluss- und Drainagesystem und bildet mit der Falx cerebri, Falx cerebelli und dem Tentorium cerebelli die Duplikatur. Im peripheren Verlauf der Hirnnerven ist die Dura mater meningealis im Epineurium verbunden.

Das extrakranielle Membransystem beginnt im Inneren wieder mit der Pia mater spinalis, in der Gefäße und Nerven verlaufen. Die Pia mater spinalis verläuft im Wirbelkanal vom Occiput bis zum Filum terminale und zieht an das Os coccygis, dass es von innen einschließt. Auf segmentaler Ebene umhüllt die Pia mater Nervenfasern im Foramen intervertebrale bis zum Spinalganglion und zieht mit dem Perineurium der Spinalnerven weiter in die Peripherie. Vor dem intervertebralen Foramen bildet es