

# Anatomie der Dura mater spinalis und ihrer Beziehungen

Torsten Liem, D.O.

Die Wechselwirkungen zwischen Funktion und Struktur stellen eine der Grundlagen in der osteopathischen Medizin dar. Die klassischen Anatomiebücher und Anatomieatlanten weisen in der Detailgenauigkeit der Beschreibung duraler Strukturen, wie es für die kraniosakrale Osteopathie nötig ist, zum Teil erhebliche Lücken auf.

Die anatomischen und biomechanischen Verhältnisse des duralen Systems dienen als Grundlage bei der Betrachtung der duralen Beweglichkeit und Zugübertragung. Deshalb werden im folgenden die anatomischen Strukturen des duralen Systems aufgeführt.

Die Meningen umhüllen und unterstützen das Hirn- und Rückenmark. Sie werden durch drei Häute geformt: Die innerste Schicht ist die Pia mater, darauf folgt die Arachnoidea, und die äußerste Schicht bildet die Dura mater an der Innenseite des Schädels bzw. im Wirbelkanal.

## Dura mater spinalis (Abb. 1)

### [Abb. 1]

Die Dura mater spinalis bildet einen straffen kollagenfaserigen Schlauch. Dieser führt vom Foramen magnum des Os occipitale, an dem er befestigt ist, bis in den Canalis sacralis und geht in Höhe von S3 in das Filum durae matris spinalis über, das sich fächerförmig am Periost des Os coccygis anheftet. Er folgt in seiner Lage den Krümmungen des Wirbelkanals.

Zwischen dem Periost des Wirbelkanals und dem Duralsack befindet sich der Epiduralraum, der durale Gleitbewegung zwischen Dura und Wirbelsäule ermöglicht. Der epidurale Raum ist eine fiktive Kavität (Parkin und Harrison 1985, Newell 1999), ein „true potential space“ (Newell 1999). Im oberen Zervikalbereich ist das spinale epidurale Fettgewebe nur schwach entwickelt (Breig 1960 in Rossitti 1993).

Die Ultrastruktur der Rückenmarkshäute stimmt weitgehend mit der der Hirnhäute überein. Allerdings ist die Dura und die Arachnoidea in den Rückenmarkshäuten eng miteinander verbunden, sodaß kein natürlicher Subduralraum existiert (Vandenabeele, Creemers, Lambrichts 1996). Die Dura besteht aus einer äußeren locker angeordneten fibroelastischen Schicht, einer mittleren hauptsächlich fibrösen Schicht und einer inneren zellulären Schicht (dural border cell layer) mit vielen ineinander verzahnten Zellfortsätzen ohne extrazellulärem Kollagen und mit deutlichem extrazellulärem Raum sowie wenigen Zellverbindungen (Vandenabeele, Creemers, Lambrichts 1996). Die Ultrastruktur der Hirn- und Rückenmarkshäute wird im folgenden nicht weiter erörtert. Weitergehende Studien an Tieren zu diesem Thema wurden durchgeführt von Pease und Schultz (1958), Nelson und Mitarb. (1961), Andres (1966, 1967), Klika (1967, 1968), Himango und Low (1971), Cloyd und Low (1974), Nabeshima und Mitarb. (1975), Maloy und Low (1976), Oda und

Nakanishi (1984), Orlin und Mitarb. (1991), Frederickson (1991) sowie Raspanti und Mitarb. (1992).

Es gibt keine völlige Übereinstimmung über den Aufbau der menschlichen Dura mater, insbesondere über die Ausrichtung der kollagenen Fasern, die für die biomechanische Funktion verantwortlich sind. Patin, Eckstein, Harum und Pallares (1993) konnten anhand mikroskopischer Aufnahmen eine longitudinale Orientierung der Dura mater spinalis aufzeigen. Im longitudinalen Verlauf haben sich die Lamellen aus Kollagen und Elastin angeordnet. Longitudinale Zugfestigkeit und Steifheit war deutlich größer als die transversale.

Ebenso konnten Runza und Mitarbeiter (1999) mit Hilfe des Elektronenmikroskops aufzeigen, daß die kollagenen Fasern hauptsächlich in longitudinaler Richtung orientiert sind. Längsspannungen, die durch Längsverschiebungen bei Bewegungen in der Wirbelsäule entstehen, werden durch die größtenteils longitudinal verlaufenden Kollagenfasern aufgenommen und nach kranial und kaudal an benachbarte Strukturen weitergeleitet. Auch sie registrierten eine deutlichere Zugfestigkeit der Dura mater spinalis im lumbalen Bereich in longitudinaler als in zirkumferentieller Richtung. Im hochzervikalen Bereich zeigt das Bindegewebe allerdings vor allem einen transversalen Verlauf (von Lanz 1929).

Elastische Fasern besitzen eine multidirektionale Anordnung. Der Anteil von Elastin beträgt im hinteren Anteil der Dura mater spinalis 13,8% und im vorderen Anteil 7,1%. Im thorakalen Bereich ist der Anteil von Elastin höher als in jeder anderen Region (Nakagawa und Mitarbeiter 1994).

Die Dura mater spinalis besitzt eine durchschnittliche Dicke von 0,322 mm (Reina und Mitarb. 1999). Die durchschnittliche anteriore Dicke beträgt 0,353 mm (ohne große Varianzbreiten). Die durchschnittliche posteriore Dicke beträgt 0,295 mm (mit signifikanten Varianzbreiten). Unterhalb von L2 ist die posteriore Seite deutlich dünner. Die Dicke der Dura mater spinalis ist auf Höhe des kraniozervikalen Übergangs und auf Höhe der lumbalen Wirbelsäule am stärksten ausgebildet (Lazorthes, Poulhes, Gaubert 1953 in Klein 1986).

### **Befestigungen der Dura mater spinalis**

Nach Parkin und Harrison (1985) sowie Hogan und Toth (1999) ist die Dura mater spinalis bis auf ihre kranialen und kaudalen Anheftungen **nur** sehr locker am Spinalkanal befestigt, sodaß Verschiebungen der Dura gegenüber dem Wirbelkanal ermöglicht werden.

Munkacsi (1990) untersuchte 12 Feten und konnte feststellen, daß bei Feten mit 60 mm Länge der epidurale **Raum** überall mit Bindegewebe ausgefüllt ist. Mit zunehmendem fetalem Wachstum reduziert sich dieses Bindegewebe zu topographischen Strukturen. Posteriore, laterale und anteriore Ligamente konnten lokalisiert werden. Atlantodurale und **sakrale** Ligamente sind kontinuierlich vorhanden und dienen zur Fixation des duralen Sackes. Diese Fixationen können bei Auftreten einer Protrusion für eine Kompression der Nervenwurzel verantwortlich sein. Die meisten dorsalen Bänder werden hingegen während der Entwicklung des Fetus resorbiert.

Lig. craniale durae matris spinalis (Abb. 2): **[Abb. 2]**

Lanz (1928, 1929) bezeichnet diese Befestigung am Os occipitale und am Periosteum der oberen Halswirbel als „kraniales Ligament der Dura mater“ (Lig.

craniale durae matris spinalis). Sie wird als fibröse Fasern zwischen der Dura mater spinalis und dem hinteren Rand der Artt. atlanto-occipitales, einem Teil des Foramen magnum, dem Arcus posterior des Atlas und dem Arcus der Axis (Lanz 1929) dargestellt. Lang (1987) beschreibt die selben Anheftungen (ohne die Verbindung zwischen Dura und dem Arcus der Axis zu erwähnen). Rutten und Mitarb. (1997) bestätigen diese Untersuchung. Sie beschreiben relativ breite Fasern (etwa 9 mm Breite) ausgehend vom posteroinferioren Teil des Arcus des Atlas. Rutten und Mitarb. konnten zudem weitere Fasern lokalisieren, die vor allem von den Ligg. flava zwischen C1/C2 und C2/C3 ausgehen und manchmal Fasern zwischen dem Arcus von C2 und C3 zur Dura verlaufend. Kaudal von C3 konnten keine dieser Verbindungen gefunden werden.

Die Fasern des Lig. craniale durae matris spinalis ziehen einige mm nach kaudal und bilden einen Stützapparat für den Duralsack. Mediale Fasern des Lig. craniale durae matris spinalis ziehen in den tiefen Teil des Lig. nuchae (Rutten und Mitarb. 1997). Die ligamentären Fasern des Lig. craniale durae matris spinalis sind kräftiger als die bindegewebige Verbindung zwischen dem M. rectus capitis posterior minor und der Dura (s.u.).

Rutten und Mitarb. vermuten, daß Teile des Lig. craniale durae matris spinalis die Funktion haben könnten, während Bewegungen die obere Halswirbelsäule zu spannen. Auch möglich wäre, daß der M. rectus capitis posterior minor (hohe Anzahl von Muskelspindeln) die Spannung in der Dura mater registriert und das Lig. craniale durae matris spinalis durch ihre elastischen und kollagenen Fasern die Faltung reguliert. Rutten und Mitarb. vermuten, daß dieser Mechanismus die durale Faltung zu verhindern hilft. Hack und Mitarbeiter unterstützen diese Hypothese und stellen fest, daß es bei Trauma zu Atrophien des M. rectus capitis posterior minor kommt mit der Folge des Versagens des Anti-Faltungs-Mechanismus.

Im weiteren ist die Dura mater spinalis mit den posterioren Ligamenten zwischen Atlas und Os occipitale, mit den Ligamenten zwischen Atlas und Axis sowie Os occipitale und Axis verbunden (Klein 1986).

Nach Klein (1986) und Upledger (1994) ist die Dura mater spinalis auch fest mit dem dritten Halswirbelkörper verbunden. Auch wir konnten unregelmäßige Befestigungen am dritten Halswirbelkörper feststellen.

M. rectus capitis posterior minor (und M. obliquus inferior) (Abb.3): **[Abb.3]**

Eine bindegewebige Verbindung zwischen dem M. rectus capitis posterior minor und dem hinteren Teil der Dura mater spinalis über die Membrana atlanto-occipitalis posterior am Atlanto-Okzipitalgelenk konnte erst kürzlich lokalisiert werden (Kahn und Mitarb. 1992, Hack und Mitarb. 1995, Rutten und Mitarb. 1997). Nach Kahn und Mitarb. (1992) verläuft Bindegewebe im atlantooccipitalen Raum zwischen der anterioren Faszie des **s.M.** rectus capitis posterior minor auf die anteriore Seite des posterioren Arcus des Atlas und erreicht so die Dura mater spinalis. Im atlantoaxialen Raum erreicht die anteriore Faszie des M. rectus capitis posterior minor sowie auch des M. obliquus inferior ebenso wie das Periosteum des Arcus posterior des Atlas die Dura mater spinalis (Kahn und Mitarb. 1992).

Bei Extension von Nacken und Kopf hat die Dura die Tendenz sich gegen das Rückenmark einzufalten (Adams und Logue 1971). Die Fasern der bindegewebigen Verbindung vom M. rectus capitis posterior minor zur Dura sind senkrecht zur Dura orientiert. Die bindegewebige Verbindung zur Dura könnte die entstehende Faltung der hinteren Dura mater spinalis in Richtung Rückenmarkskanal verhindern (Hack 1995, Alix, Bates 1999, von Lüdinghausen 1967), nach von Lüdinghausen über die Verbindung des Muskels und der Dura am Arcus posterior des Atlas. Wir konnten an drei untersuchten mit Formalin konservierten Präparaten unregelmäßige Fasern zur Membrana atlantoaxialis finden, allerdings konnte nur an einem Präparat senkrecht zur Membran verlaufende Fasern festgestellt werden.

Ein atrophischer M. rectus capitis posterior minor könnte hingegen bei Nacken- und Kopfextension zu einer Faltung der hinteren Dura mater spinalis in Richtung Rückenmark mit eventueller komprimierender Wirkung führen. Auch subokzipitale Kopfschmerzen könnten über diese Verbindung erklärt werden. Auch McPartland und Brodeur (1999) erwähnen, daß die Biomechanik dieses Muskels über seine Verbindung zur Membrana atlantooccipitalis die Biomechanik der Dura mater spinalis direkt beeinflusst.

Verbindung zum Lig. nuchae:

Es konnte in der Mittellinie auf Höhe des 1. und 2. Halswirbels eine Kontinuität zwischen der posterioren Dura mater spinalis und dem Lig. nuchae beobachtet werden (Rutten und Mitarb. 1997, Mitchell, Humphreys, O'Sullivan 1998, Alix, Bates 1999). Nach Mitchell und Mitarb. ist diese Verbindung von besonderem Interesse für die Biomechanik der Halswirbelsäule, besonders für Rotationsbewegungen des Kopfes in sagittaler und transversaler Ebene.

Ligg. interspinalia durae matris:

Seitlich in den oberen Halswirbeln befinden sich Ligg. interspinalia durae matris, die vom Wirbelkanal zur Dura verlaufen. Rotationen der Halswirbelsäule sollen über diese Ligamente direkt auf den Duralschlauch übertragen werden (Mitchell, Humphreys, O'Sullivan 1998).

Verbindung zum Lig. flavum:

Luyendijk (in Morisot 1992) beschrieb eine mediale Falte in der Dura mater spinalis auf Höhe der LWS, die diese am hinteren Wirbelbogen fixierte und nannte diese „Plica mediana dorsalis durae matris“. Auch Blomberg (1986) konnte an 48 Autopsien eine bindegewebige Verbindung in der Mittellinie des epiduralen Raumes auf Höhe der LWS zwischen der Dura mater spinalis und dem Lig. flavum sehen, die die Dura an dem Lig. flavum fixierte und den epiduralen Raum in der Mittellinie

verengte. Diese Struktur variierte zwischen Fasern aus Bindegewebe bis zu einer kompletten Membran. Allerdings sind die Ergebnisse der letztgenannten Autoren fragwürdig, da sie Methoden anwendeten, die die natürlichen Strukturen veränderten.

Rutten und Mitarb. (1997) konnten Fasern lokalisieren, die von den Ligg. flava zwischen C1/C2 und C2/C3 ausgehen und zur Dura verlaufen (s.o.). Kubo und Mitarb. (1994) konnten an 40 Präparaten an der unteren HWS auf Höhe der Wirbelkörper eine Verbindung zwischen der oberflächlichen Schicht des Lig. flavum und der Dura mater spinalis feststellen. Hirabayashi und Mitarb. (1997) beschrieben eine direkte Verbindung zwischen Dura mater und dem Lig. flavum auf Höhe von C7/Th1. Die Ligg. epidurales cervicales posteriores verbinden die posteriore Dura mater spinalis auf Höhe der HWS mit dem Lig. flavum (Shinomiya und Mitarb. 1996). Fehlende Ligg. epidurales cervicales posteriores führen dazu, daß die Dura sich bei Flexion der Wirbelsäule nach anterior verschiebt, sodaß Myelopathien in Flexionshaltung entstehen (Shinomiya und Mitarb. 1996).

Ligamentum longitudinale posterius:

Es verläuft an der Rückseite der Wirbelkörper und verbindet die Bandscheiben miteinander. Seine oberflächliche Schicht verbindet sich mit der Dura mater spinalis (Plaisant und Mitarbeiter 1996) (siehe auch meningo-vertebrale Ligamente, Hofmann's Ligamente und Trousseau's fibres de Soulié). Diese Befestigungen sind unregelmäßig und verstärken sich nach kaudal in Form des Lig. sacrodurale anterius (Trolard). Hayashi und Mitarb. (1977) vermuten, daß die oberflächliche Schicht des Lig. longitudinale posterius nicht so sehr als herkömmliches Ligament, sondern eher als Schutzmembran für die weichen Strukturen innerhalb des Wirbelkanals angesehen werden kann. Zwischen der Dura mater spinalis und dem Lig. longitudinale posterius verlaufen sinuvertebrale Nerven (Parke und Watanabe 1990).

Meningo-vertebrale Ligamente:

Diese sind besonders auf Höhe des Conus medullaris entwickelt und besitzen eine Ankerfunktion (Scapinelli 1990). Die meningo-vertebralen Ligamente bestehen aus lateral und ventral gelegenen segmentalen fibrösen Bändern, die die Dura mater spinalis mit dem Endostium des Wirbelkanals verbinden. Am deutlichsten ist der anteriore Anteil, der von der Vorderwand der Dura zum Lig. longitudinale posterius verläuft (Scapinelli 1990). Weitere Bezeichnungen bzw. Differenzierungen sind Hofmann's Ligamente, das Lig. sacrodurale anterius (Trolard) und Trousseau's fibres de Soulié.

Hofmann's Ligamente (Abb. 4) **[Abb.4]**

Diese Ligamente verlaufen zwischen der Dura mater spinalis und der oberflächlichen Schicht des Lig. longitudinale posterius (Hofmann 1898, Fick 1904, Doppmann und Mitarb. 1969, Schellinger und Mitarb. 1990). Auf Höhe von L5 sind diese Ligamente sehr schmal, manchmal fehlend auf Höhe von S1. In der Regel befinden sich pro Segment auf jeder Seite ein Ligament. Nach kranial hin werden die Ligamente breiter und erreichen auf Höhe von L2 eine Breite von etwa 1 cm (Wiltse und Mitarb. 1993). Nach Wiltse und Mitarb. haben diese Ligamente die Funktion, bei Kindern die Dura während des Wachstums kaudal zu halten. Eine weitere Funktion ist, die Dura anterior gegen die Wirbelsäule gerichtet zu halten. Die Hofmann's Ligamente und das Lig. sacrodurale anterius (Trolard) werden auch meningo-vertebrale Ligamente genannt (Scapinelli 1990) (s.u.).

Lig. sacrodurale anterius (Trolard) (Abb. 5): **[Abb. 5]**

Ein festes sagittal angeordnetes Septum mit lateralen faszialen Aufzweigungen (Trolard 1888 in Giradin 1996). (Siehe unten: Meningo-vertebrale Ligamente)

Trousseaux fibreux de Soulié:

Kräftige fasziale Verbindungen; einerseits verbinden sie die Dura mater mit dem Lig. longitudo posterius, andererseits verbinden sie die Dura mater spinalis mit dem Periost. In beiden Fällen wird der Plexus venosus epidurale anterius umhüllt (Giradin 1996, Trolard 1888 in Giradin 1996).

Lig. dorsolateralia duralis (Hofmann) oder Hofmann's laterale Ligamente (Abb. 7):

Spencer und Mitarb. (1983) beschreiben zudem laterale ligamentäre Verbindungen, die nur im unteren lumbalen Niveau zu finden sind und eine Verbindung zwischen der duralen Umhüllung des Spinalnerven und dem Wirbelperiost darstellen. Sie nannten diese „lateral Hofmann's ligaments“.

Diese Ligamente sollen bei einer Protrusio des Discus den Spinalnerv daran hindern nach posterior auszuweichen, mit der Folge von Schmerz.

Außerdem strahlen vereinzelt dünne kollagene Seilzüge von der Rückseite des Wirbelkanals in die Dura mater spinalis ein (Einzelbeobachtungen, Liem). Es existieren auch einige faserige Verbindungen zum Lig. sacrococcygeum anterius.

Opercula von Forestier (Abb. 5):

Auf Höhe jedes Foramen intervertebrale befinden sich die Opercula von Forestier. Diese stellen eine Verbindung zwischen der duralen Umhüllung des austretenden Spinalnerven und dem Periosteum des jeweiligen Wirbels dar (Forestier 1922, Lazorthes 1981, Trolard 1890 in Giradin 1996). Die Opercula umschließen das Foramen intervertebrale von innen und von außen, d. h. sie liegen innen am Wirbelkanal und auch außerhalb des Wirbelkanals. Durch die Opercula von Forestier treten der Spinalnerv mit dem Ramus meningeus recurrens hindurch.

De Peretti und Mitarbeiter (1989) hingegen konnten an 12 mit flüssigem Stickstoff gefrorenen Präparaten nachweisen, daß das Foramen intervertebrale nicht, wie herkömmlich beschrieben, durch eine straffe Membran verschlossen ist, da nur perforierte Ausdehnungen die Nervenwurzel am Foramen befestigen. Die Anheftungsstellen der Nervenwurzeln sind die Dura mater und die fibröse Ausdehnung, die durch das Foramen zur Scheide des N. spinalis zieht. Es gibt 2 unterscheidbare Kompartimente. Bewegungen in einem Kompartiment werden nicht in das andere weitergeleitet, solange die Anheftungen unverletzt sind.

Lig. transformidale:

Diese umspannen das Foramen intervertebrale längs der Außenseite. Einerseits beschrieben als die dickeren Teile der Opercula von Forestier oder als eine unvollständige Opercula oder „false ligaments“ (Giradin 1996).

Ligamentum denticulatum (Abb. 6): **[Abb. 6]**

Es verläuft von der Pia mater zur Dura mater (Nicholas und Weller 1988) und verbindet das Rückenmark beidseitig vom Os occipitale bis in Höhe des 2.

Lendenwirbels mit der Dura. Nach Rossitti (1983) ist dieses Ligament eine laterale Fortsetzung der Pia mater. Es stellt einen Aufhängeapparat dar, der das Rückenmark im Liquor cerebrospinalis in der Schwebe hält. Die Verbindungen zwischen Dura und Pia mater sind wie auch die anderen duralen Befestigungen im Rückenmarkskanal

außerhalb der oben genannten Befestigungen relativ dünn. Das Lig. denticulatum ist avaskulär, besitzt kollagene und elastische Fasern und ist, wie auch die Pia mater, mäßig elastisch (Tunturi 1978). Die Befestigung an der Dura mater ist sehr fest und löst bei Dehnung der Dura mater spinalis eine longitudinale Falte in der Dura aus. Kollagene Fasern laufen ununterbrochen von der Pia mater in die Dura mater. Im hochzervikalen Bereich überqueren und verbinden sich die Fasern der einen Seite mit den Fasern der Gegenseite. Während das Lig. denticulatum an der Pia mater eine ununterbrochene Ursprungslinie zeigt, erreicht es die Dura mater nur mit einzelnen Zacken. Die Anheftungszacken des Ligaments überqueren lateral den subarachnoidalen Raum, durchdringen die Arachnoidea und sind an der Dura mater im Bereich zwischen den Duralscheiden der Rückenmarksnerven fixiert (Key 1870 in Rossitti 1993). Je Seite befinden sich durchschnittlich 21 Zacken vom Foramen magnum bis zum Abgang des 3. lumbalen Nerven. In der Regel setzt die oberste Anheftungszacke an der Dura etwas kranial und posterior vom Durchtritt der A. vertebralis durch die Dura mater spinalis an. Die zweite Zacke ist etwas posterior zwischen dem Austrittsbereich der ersten und zweiten Nervenwurzel befestigt. Die beiden obersten Zacken besitzen laterale Verbindungen zur A. vertebralis und A. spinalis posterior sowie zur ersten Zervikalnervenwurzel.

Die Verlaufsrichtung der Ligamente paßt sich an vorhandene Spannungsverhältnisse an. Sie sind im zervikalen Bereich nach kranial (nach Rossitti 1993 nur der oberste, während die übrigen Ligamente im zervikalen Bereich horizontal verlaufen), im thorakalen Bereich horizontal und im lumbalen Bereich nach kaudal gerichtet (Klein 1986).

Flexion des Kopfes und der Wirbelsäule übt eine mechanische Belastung auf das Lig. denticulatum aus, sodaß sich ihre Zacken voneinander entfernen. Die Zugspannungen, die durch die Ligamente übertragen werden, haben eine transversale Komponente, die das Rückenmark im Zentrum des Wirbelkanals stabilisiert und eine axiale Komponente, die die axiale Spannung gleichmäßig überträgt (durch die Neigung der Zacken in frontaler Ebene). Es wird angenommen, daß die axiale Komponente die Größe der axialen Spannung im Rückenmark reduziert (Breig 1960, White, Panjabi 1978 in Rossitti 1993). Die oberste Zacke ist von großer Bedeutung bei der Stabilisierung des Rückenmarks und der Medulla bei Flexion (Rossitti 1993). Extension führt zu einer Entspannung des Lig. denticulatum. Nach Stoltmann und Blackwood (1966 in Rossitti 1993) soll das Lig. denticulatum die Bewegung des Rückenmarks in kraniokaudaler Richtung limitieren. Cusick und Mitarbeiter (1977 in Rossitti 1993) beschreiben einen limitierenden Einfluß des Ligaments während posteriorer Hebung des Rückenmarks. Reibung zwischen Nervensystem und Dura mater spinalis wird durch ihre simultane Deformation aufgrund der Funktion des Lig. denticulatum und der Pufferwirkung des Liquor cerebrospinalis verhindert.

„Rautenförmiges Halfter“:

Das „rautenförmige Halfter“ (nach Key und Retzius 1875 in Lang 1981, S. 436 und nach Lang, Emminger 1963 in Lanz, Wachsmuth 1979, S. 408), eine rhombusartige Bindegewebsplatte, die auf der anterioren Seite untere Teile der Medulla oblongata und das obere Rückenmark umfaßt.

Es tritt zusammen mit den oberen beiden Zacken des Lig. denticulatum (nicht regelmäßig mit dem obersten Zacken) in die Dura mater ein. Die ventralen Wurzeln des zweiten Zervikalnerven sollen posterior und die ventralen Wurzeln des ersten Zervikalnerven anterior oder posterior des rautenförmigen Halfters liegen. Die

kaudale Rautenspitze verläuft meist bis zur Gegend der Fissura mediana anterior im Bereich des vierten Halssegmentes (Lang 1981, S. 436). Innerhalb der des „rautenförmigen Halfters“ befinden sich keine elastischen Fasern. Lang (1981) beobachtet häufig einen Übergang des Halfters in die Pia mater der Vorderstränge. Das rautenförmige Halfter soll ebenso wie die oberen Zacken des Lig. denticulatum den kranialen Bereich des Rückenmarks und den unteren Bereich der Medulla oblongata während der Nackenflexion vom Dens des Axis, dem abdeckenden Bandapparat und den Aa. vertebrales entfernt halten (Breig 1978, Lang, 1981).

Kaudal ist die Dura mater spinalis fest an der Rückseite des zweiten Sakralwirbelkörpers befestigt (Lig. sacrale durae matris). In der Regel fusioniert die Dura mit dem Filum terminale auf Höhe von S2 (mit einer Variationsbreite von L5 bis S3) (Hansasuta und Mitarb. 1999). Bei 15% der untersuchten 27 Präparate fusionierte das Filum terminale oberhalb von S1 und bei 11% außerhalb der Mittellinie. Die Mehrzahl der untersuchten Dura mater spinalis enden auf Höhe von S2 (mit einer Variationsbreite von S1 bis S3). (s. auch MacDonald und Mitarb. 1999) Das auslaufende Ende des Rückenmarks (Filum terminale) führt mit der enganliegenden Dura mater aus dem Hiatus sacralis heraus und verbindet sich an der Hinterseite der Steißbeinkörper mit dem Periost sowie mit dem Lig. sacro-iliaca und dem Lig. sacrotuberale (Duby 1985).

Im Wirbelkanal durchdringen Rückenmarksnerven auf ihrem Weg zur Peripherie oder von der Peripherie zum zentralen Nervensystem die Dura mater. An den Stellen, an denen die Rückenmarksnerven durch die Foramina intervertebralia das Rückenmark verlassen, werden sie einige Millimeter von der Dura umhüllt und geschützt. Die Dura setzt sich dann ins Epineurium dieser Nerven fort. Diese Duralumhüllungen liegen in den oberen Abschnitten der Wirbelsäule relativ transversal, während sie kaudalwärts immer mehr in Längsrichtung verlaufen.

Die transversalen Verläufe widersetzen sich den Bewegungen der Duralröhre weniger als die länglich angeordneten duralen Nervenscheiden.

Das erklärt die stärkere Spannungsübertragung der unteren Duraumhüllungen. So kann vor allem eine Traktion des N. ischiadicus zu einer erhöhten Spannung im duralen System führen (Klein 1986).

## Zusammenfassung der Duraanheftungen

Kräftige Befestigungen der Dura mater spinalis sind: Foramen magnum, Corpus von C1, C2, C3, Corpus von S2, Corpus vom Coccyx. In der Regel befinden sich außerdem lumbal, sowie hochthorakal zum Lig. longitudinale posterius deutliche Befestigungen der Dura. In Tabelle 1 werden die duralen Verbindungen zusammengefaßt.

**Tabelle 1**

### Durale Verbindungen

<b>Autor</b>	<b>Durale Verbindungen</b>
Lanz (1929), Klein (1986)	Feste Verbindung am Foramen magnum, Corpus von C1, C2
Klein (1986), Upledger (1994)	Feste Verbindung am Corpus von C3
	Feste Verbindung am Os sacrum und Os coccygis
Lanz (1928/1929) Lang (1987)	Über Lig. craniale durae matris spinalis am hinteren Rand der Artt. Atlanto-occipitales, einem Teil des Foramen magnum, dem Arcus posterior des Atlas und dem Arcus der Axis
Rutten und Mitarb. (1997)	Über Lig. craniale durae matris spinalis an Ligg. flava zwischen C1/C2 und C2/C3 und manchmal zwischen dem Arcus von C2 und C3
Klein (1986)	Posteriore Ligamente zwischen Atlas und Os occipitale, zwischen Atlas und Axis und zwischen Os occipitale und Axis
Kahn und Mitarb. (1992), Hack und Mitarb. (1995), Rutten und Mitarb. (1997)	Über Membrana atlanto-occipitalis posterior am M. rectus capitis posterior minor
Kahn und Mitarb. (1992)	Anteriore Faszie des M. obliquus inferior und Periosteum des Arcus posterior des Atlas
Rutten und Mitarb. (1997), Mitchell und Mitarb. (1998), Alix, Bates (1999)	Lig. nuchae
Mitchell und Mitarb. (1998)	Über Ligg. interspinalia durae matris am Wirbelkanal (in oberer HWS)
Luyendijk (in Morisot 1992)	Über Plica mediana dorsalis durae matris am hinteren Wirbelbogen (Höhe LWS)
Blomberg (1986)	Über Bindegewebe am Lig. flavum (auf Höhe LWS)
Rutten und Mitarb. (1997)	Ligg. flava zwischen C1/C2 und C2/C3
Kubo und Mitarb. (1994) Hirabayashi und Mitarb. (1997), Shinomiya und Mitarb. (1996)	Ligg. flava an unterer HWS
Plaisant und Mitarb. (1996)	Oberflächliche Schicht des Ligamentum longitudinale posterius (stärker kaudal = Lig. Trolard)

Trolard (1888 in Girardin 1996)	Lig. sacrodurale anterius (Trolard) (Höhe LWS, Sacrum)
Hofmann (1898), Fick (1904), Doppmann und Mitarb. (1969), Schellinger und Mitarb. (1990)	Über Hofmann's Ligamente am Lig. longitudinale posterius
Scapinelli (1990)	Hofmann's Ligamente und Lig. sacrodurale anterius (Trolard) werden auch meningo-vertebrale Ligamente genannt Verbindung am Endostium des Wirbelkanals, Lig. longitudinale posterius
Spencer und Mitarb. (1983)	Über Lig. dorsolateralia duralis (Hofmann) am Wirbelperiost
Trolard (1888 in Girardin 1996)	Über Trousseau fibreux de Soulié am Lig. longitudinale posterius und am Periost
Forestier, Lazorthes, Trolard (1922, 1981, 1890 in Girardin 1996)	Opercula von Forestier: Verbindung zwischen der duralen Umhüllung des austretenden Spinalnerven und dem Periosteum des jeweiligen Wirbels Opercula von Forestier
Einzelbeobachtung s.u.	Vereinzelt dünne kollagene Seilzüge von der Rückseite des Wirbelkanals
Nicholas und Weller (1988)	Über Ligamentum denticulatum an Pia mater vom Os occipitale bis Höhe L2
Duby (1985)	Lig. sacro-iliaca und Lig. sacrotuberale
Lang, Emminger (1963 in Lanz, Wachsmuth 1979)	Rautenförmiges Halfter (Höhe obere HWS)

**[Abb. 7]**

## Legenden:

### Abbildung 1

Kontinuität der intrakranialen und **in**traspinalen Duralmembrane von Dr. Louis Philippe Dombard; Dura mater spinalis von hinten, mit seiner Befestigung am Hinterhaupt, am zweiten Kreuzbeinsegment, sowie zusammen mit dem auslaufenden Ende des Filum terminale am Steißbein.

### Abbildung 2

Schematische Gliederung des Ligamentum craniale durae matris spinalis in 3 Stockwerke. Stockwerk **1** Außenlamelle der Dura zum Hinterhauptsbein, **2** Zug zum Atlantooccipitalgelenk mit **sc** squama-epistrophealem Zug und **ae** atlanto-epistrophealem Zug, **3** Zug zum Atlanto-epistrophealgelenk. Aus: Lanz T **v**: Über die Rückenmarkshäute I. Die konstruktive Form der harten Haut des menschlichen Rückenmarkes und ihrer Bänder. Arch. Entwickl. Mech. Org. 118: 253, 1929.

### Abbildung 3

Schnitt durch Kopf und Nacken. Gehirn und Wirbelsäule wurden entfernt. Der hintere Teil des Duralsackes wurde nach ventral gezogen. A Arteria vertebralis, B Musculus rectus capitis posterior minor, C Axis, D Anheftung des M. rectus capitis posterior minor an die Dura mater, E Dura mater, F Duralscheide des Spinalnerven II, G faserige Stränge der Dura mater cranialis spinalis, H Ligamentum flavum, J Epiduralraum, K Sutursubstanz. Aus: Rutten HP, Szpak K, Van Mameren H, Ten Holter J, De Jong JC: Anatomic relation between the rectus capitis posterior minor muscle and the dura mater. (letter; comment). Spine 22 (8): 924, 1997.

Spine; Apr. 1997, 22 (8): 924-6

### Abbildung 4

Hofmann's Ligamente. Lig. Hof. = Hofmann's Ligamente, L2D = L2 Diskus. Aus: Wiltse et al.: Relationship of the Dura, Hofmann's Ligaments, Batson's Plexus, and a fibrovascular membrane lying on the posterior surface of vertebral bodies to the deep layer of the posterior longitudinal Ligament. Aus: Wiltse et al.: Relationship of the Dura, Hofmann's Ligaments, Batson's Plexus, and a Fibrovascular Membrane Lying on the Posterior Surface of the Vertebral Bodies and Attaching to the Deep Layer of the Posterior Longitudinal Ligament. Spine 18 (8): 1035, 1993.

### Abbildung 5

Befestigungen der Dura mater spinalis. Aus Liem T.: Kraniosakrale Osteopathie: Ein praktisches Lehrbuch. 2. Auflage, Hippokrates Stuttgart, 1998.

### Abbildung 6

Ligamentum denticulatum und Dura mater spinalis. Aus Liem T.: Kraniosakrale Osteopathie: Ein praktisches Lehrbuch. 2. Auflage, Hippokrates Stuttgart, 1998.

### [Abbildung 7]

Von Igor A. Litvinov, Juli 2000

Abbildung 5

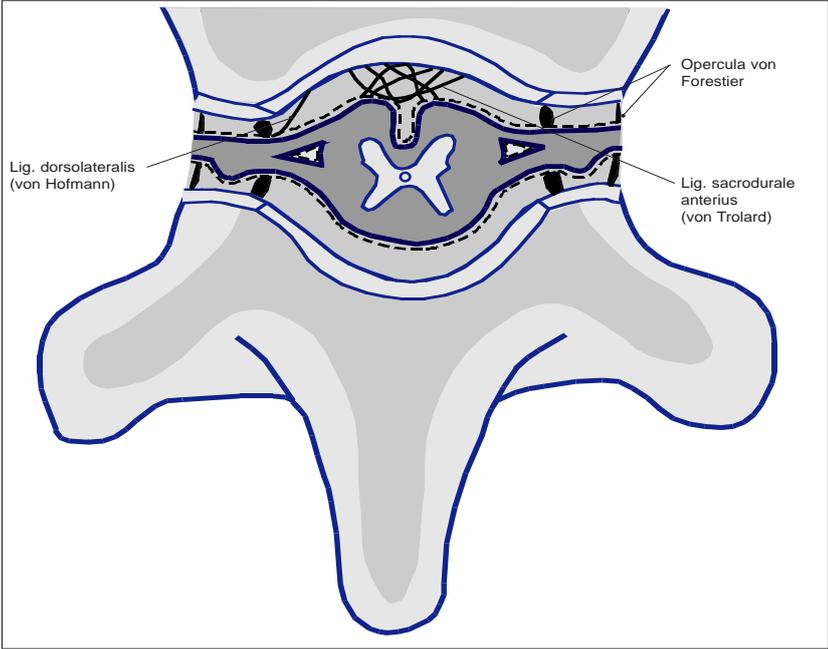


Abbildung 6

