

Dura mater spinalis: Bedeutung in der Osteopathie, Untersuchung der Bewegungs- und Spannungsübertragung

Torsten Liem

Keywords: Dura mater spinalis, dural/dura biomechanics, dura/dural mobility, dura/dural transmission of force, Osteopathy, craniosacral Osteopathy, craniosacral rhythm

Abstract

Auf der Basis einer Literaturstudie, die Veröffentlichungen von 1966-1999 einschloss, konnte eindeutig die Beweglichkeiten der Dura mater spinalis (DMS) belegt werden. Es bestehen außerdem Hinweise auf eine Spannungsübertragung von der DMS auf die Dura mater cranialis (DMC). Die Bedeutung der Dura mater (DM) aus osteopathischer Sicht anhand der Basiswerke der craniosacralen Osteopathie konnte durch die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zum Teil bestätigt werden. Weitere Untersuchungen sind notwendig, z.B. um zu klären, ab welcher Zugstärke eine Bewegungsübertragung in der DMS statt findet, ob sich feinste rhythmische Impulse, wie in der craniosacralen Osteopathie angenommen, innerhalb die DMS beim lebenden Menschen fortsetzen können und zur Klärung des Einflusses unterschiedlicher Fixierungen auf die biomechanischen Eigenschaften der Dura-mater-Präparate.

Sutherland nannte das durale System, insbesondere die Dura meningeale, eine "reziproke Spannungsmembran" (*reciprocal tension membrane*). Die Dura meningeale befindet sich unter kontinuierlicher Spannung (Sutherland 1991, S. 42). Mit reziprok soll verdeutlicht werden, dass jeder Zug an einer Seite der Membran die gesamte durale Einheit verändert und zu einem neuen Spannungsgleichgewicht führt. Sutherland wählte den Begriff, um die mechanische Funktion der inneren Lage der Dura mater zu bezeichnen. Sie stellt eine mechanische Funktionseinheit dar, die die Knochen des Hirnschädels miteinander verbindet; ihre Aufgabe besteht darin, die Bewegung dieser Schädelknochen zu leiten und zu begrenzen (Magoun 1976, S. 30, Sutherland 1991, 289, Sutherland 1939, S. 45). Im Rückenmarkskanal verbindet und koordiniert sie die Bewegung von Schädel und Kreuzbein (Magoun 1976, S. 30-34). Ihre Aufgabe entspricht dementsprechend dem ligamentären System an echten knöchernen Gelenken, welches Sutherland "*reciprocal tension ligamentous system*" nannte.

Das horizontale und vertikale Duralsystem

Nach Delaire (1978) wirkt das horizontale System (Tentorium cerebelli, Diaphragma selli) als Spanner der Schädelbasis, während das vertikale System (Falx

cerebri, Falx cerebelli) als Spanner des Schädeldaches fungiert. Die Spannung des horizontalen und vertikalen Duralsystems wird vor allem durch den kontinuierlichen Tonus der Nackenmuskulatur und des M. sternocleidomastoideus aufrechterhalten und reguliert. Allerdings wird dies auch in Frage gestellt (Ferré, Chevalier, Lumineau, Barbin 1990). Nach diesen Autoren sollten Bewegungen der Nackenmuskeln vor allem über die Galea aponeurotica übertragen werden können. Dort ist jedoch nur eine sehr schwache und sekundäre Bewegung wahrnehmbar, obwohl die Galea aponeurotica deutlich verschiebbar ist, im Gegensatz zu der recht unbeweglichen Falx cerebri und cerebelli.

Nach Sutherland können durch die strukturelle Verbindung aller Membranen Spannungen in jedem Teil dieses Membransystems auch alle anderen Teile dieses Systems beeinflussen. Die Duralmembranen sollen aufgrund ihrer Anheftung am Schädel und am Kreuzbein die unwillkürliche artikulare Bewegung der einzelnen Schädelknochen und des Kreuzbeins im sogenannten craniosacralen Rhythmus regulieren. Jeder Zug an einer Seite der Membran verändert die gesamte Einheit und führt zu einem neuen Gleichgewicht.

Der Fulcrum-Begriff

Um das Gleichgewicht der Membranbewegung und -spannung in allen Richtungen zu gewährleisten, müssen die Membranen nach Sutherland von einem Fulcrum, d. h. von einem beweglich aufgehängten konstanten Ruhepunkt aus operieren. Dieser befindet sich nach Sutherland im Verlauf des Sinus rectus, der Vereinigung der Falx cerebri, der Falx cerebelli und des Tentorium cerebelli. Dieser funktionelle Bereich wird "*automatic shifting suspension fulcrum*" oder *Sutherland-Fulcrum* genannt (Magoun 1976, S. 339). Dieses Fulcrum stellt einen beweglichen Ruhepunkt für die reziproke Spannungsmembran im Schädel und Rückenmarkskanal dar. Er ist schwebend aufgehängt (Suspension), um sich automatisch bewegen (automatic shifting) zu können, damit bei Zug oder Druck eine gleichmäßige Spannungsverteilung in den Duralmembranen ermöglicht wird. An diesem Punkt werden die dynamischen Kräfte, die auf die Membranen wirken, ins Gleichgewicht gebracht. Um diese Stelle bewegt und organisiert sich nach Sutherland die gesamte intrakranielle und intraspinaler Duraspannungsmembran und somit auch die unwillkürliche, artikulare Bewegung der Schädelknochen, ebenso wie die Einflüsse, die von außerhalb des craniosacralen Systems kommen. "Das Sutherland Fulcrum ist eine zentrale Anheftungsstelle, die gleichzeitig mobil und anpassungsfähig ist" (Richard 1986, S. 167).

Über die Anheftung der Dura mater spinalis (DMS) - die spinale reziproke Spannungsmembran - am zweiten Sakralwirbel wird die synchrone, unwillkürliche Bewegung des Kreuzbeins mit dem Schädel erklärt. Während das Kreuzbein sich an statische und dynamische Spannungsverhältnisse im Becken, der unteren Extremitäten, der Wirbelsäule und des Schädels anpassen muss, so adaptiert sich der Schädel an Spannungsverhältnisse der oberen Extremitäten, der Wirbelsäule und des Kreuzbeins. Dieser gesamte Komplex ist als eine Funktionseinheit anzusehen, die sich um das Fulcrum von Sutherland bewegt.

Intrakraniale Membranen beim frühkindlichen Schädel

Vor der Geburt und in der frühen Kindheit haben sich die Gelenkflächen der Schädelknochen noch nicht richtig ausgebildet. Der Schädel ist in seiner knöchernen Struktur zu dieser Zeit noch sehr unentwickelt. Die intrakranialen Membranen stellen in dieser Entwicklungsphase das Hauptelement dar, das die Integrität und Einheit des Schädels, der knorpeligen und der bindegewebigen Vorstufen der Schädelknochen gewährleistet und das Gehirn schützt. Während des Geburtsvorgangs widerstehen sie den auf den Schädel einwirkenden Spannungen und Kräften und verhindern dadurch mögliche Verletzungen des Nervensystems. **Ligamentäre und membranöse Fehlspannungen**

Sutherland bezeichnet Fehlspannungen und Dysfunktionen, die die Gelenke der Wirbelsäule und ihre zugehörigen Ligamente betreffen, als *ligamentäre Fehlspannungen (ligamentous articular strain)*. Dysfunktionen, die die Knochen des craniosacralen Systems und ihre zugehörigen intrakranialen und intraspinalen Duralmembranen (Falx cerebri, Tentorium cerebelli, Falx cerebelli, DMS) betreffen, nennt er *membranöse Gelenkfehlspannungen (membranous articular strain)*. Diese können die Funktion des Kopfes und der Wirbelsäule beeinträchtigen (funktionelle Störungen der zerebrospinalen Fluktuation, der kranialen und vertebralen arteriellen und venösen Durchblutung und der lymphatischen Drainage des Kopfes und der Wirbelsäule etc.). Dementsprechend richtet sich nach Sutherland die Behandlung vor allem darauf, diese Spannungs-Ungleichgewichte zu lösen zu lassen. Das Behandlungsprinzip für ligamentäre und membranöse Spannungs-Ungleichgewichte ist dabei gleich (Sutherland 1991, S. 119-122). Über die Kontinuität der Dura können sich Zugkräfte im gesamten Duralsystem ausbreiten (Upledger 1994, S. 27, 143f). Nach Upledger erklärt dies den klinischen Zusammenhang zwischen einem oberen Zervikalsyndrom, Kopf- und Kreuzschmerzen. Die wichtigen Anheftungspunkte der DMS sind nach ihm das Foramen magnum, 2. und 3. Halswirbel, Sakrum und Steißbein, während sich die DMS dazwischen relativ frei bewegen kann (Upledger 1994, S. 143f., s. auch Liem: Kraniosakrale Osteopathie, 2001, S. 177-186).

Die Beweglichkeit der DMS

Die Beweglichkeit der DMS kann durch Zug des Therapeuten - am Cranium nach kranial oder am Sakrum nach kaudal - getestet werden. Nach Upledger wird während der Flexionsphase des sogenannten craniosacralen Rhythmus, der anteriore Teil des Duralschlauches und das Lig. longitudinale anterius nach kranial gespannt. In der Extensionsphase hingegen wird der posteriore Teil des Duralschlauches und das Lig. longitudinale posterior nach kranial gespannt (Upledger 1994, S. 146).

Spannungen von der Peripherie können auf das kraniale System übertragen werden oder umgekehrt, z. B. über die Kontinuität der Dura in das Epineurium der austretenden Hirn- und Spinalnerven.

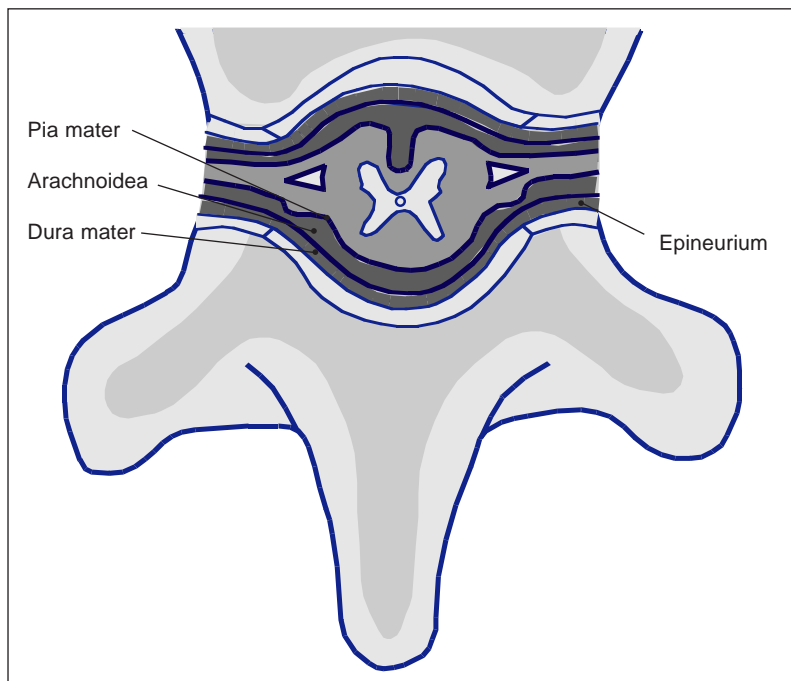


Abb. 1 Nervenaustrittsstelle in der Wirbelsäule; fasziale Kontinuität zwischen DMS und dem Epineurium, aus: Liem T: Kraniosakrale Osteopathie: Ein praktisches Lehrbuch. 3. Auflage, Hippokrates, Stuttgart, 2001.

Es können Spannungen von Muskeln auf das durale System übertragen werden. So erwähnt Upledger (1994, S. 63), dass ein Hypertonus des M. coccygeus durch seine Anheftung am Sakrum über die DMS die Schädelknochenbewegung beeinflussen kann. Allerdings ist es fraglich, ob dieser Muskel einen solchen Zug entwickeln kann, da er beim Zweibeiner stark atrophiert ist. Auch können nach Upledger (1994, S. 26 f.) Zugkräfte im duralen System auf die Anheftungsstellen der Duralmembrane am Knochen auf das Bindegewebe außerhalb des craniosacralen Systems übertragen werden oder umgekehrt Zugkräfte von außerhalb des craniosacralen Systems auf das durale System weitergeleitet werden.

Studienübersicht zur Zug- und Spannungsübertragung an der Dura mater spinalis

Veröffentlichte Studien zu diesem Thema wurden über MEDLINE und EMBASE gesucht. Es wurden die Jahre 1966-1999 abgefragt. Suchbegriffe dabei waren: "dural/dura and biomechanics", "dura/dural and mobility", "dura/dural and force", "dural/dura and tensile strength", "dural/dura and traction not biomechanics not movement" und "dural/dura and movement". Von den in MEDLINE und EMBASE (1966-1999) gefundenen Abstracts konnten 12 herangezogen werden. Weitere Suche an 10 Schulen und Universitäten in 8 Ländern und über persönliche Kontakte zu Osteopathen erbrachten zwei Studien sowie ein Buch durch dessen Literaturverzeichnis weitere Studien gefunden werden konnten.

Literaturanalyse

Autor	Literaturanalyse
Illi (1951)	Bewegung der DMS von 3-4 mm, ohne weitere Angaben (kaum nachvollziehbare Messung)
O'Connell (1946)	Flexion des Nackens: kraniale DMS-Verschiebung Extension des Nackens: kaudale DMS-Verschiebung
Reid (1960)	Anteriore DMS-Bewegung (abhängig von Abnahme der lumbalen Durafaltung) Flexion des Nackens: kraniale DMS-Verschiebung und Dehnung der DMS Flexion der gesamten WS: s.o., nur im unteren Bereich und auf Höhe von Th12 kaudale DMS-Verschiebung
Decker (1960)	Flexion der Wirbelsäule: Verschiebung der DMS zervikal und lumbal nach anterior
Louis (1967, 1981, 1984)	Flexion der WS: auf Höhe hochlumbal: DMS nach kaudal; auf Höhe sakrolumbal: DMS nach kranial
Adams und Logue (1971)	Flexion des Nackens: DMS-Verschiebung nach kranial (2/3), Abnahme der duralen Faltung (1/3), Dehnung
Martins und Mitarb. (1972)	Abhängigkeit der DMS-Bewegungsamplitude von Lage der extrathekalen Nervenwurzeln und Bewegung der Intervertebralgelenken
Breig (1978)	Elastizität des Duralsackes: Volumenänderung entsprechend vorhandenen Druckverhältnissen (LCS, Blut)
Penning, Wilmlink (1981)	Keine kraniokaudale Bewegung der DMS, nur Dehnung aufgrund Elastizität; Ausdehnung und Zusammenziehung ähnlich einer Ziehharmonika
Santi Rao, Rodegerdts (1983)	Lumbale Extension: anteriore Verschiebung der DMS Extension mitthorakal: anteriore Verschiebung der DMS
Tencer und Mitarb. (1985)	Axiale Bewegung ist uneinheitlich Flexion der WS: DMS übt 3,5 bis 4,5 N auf vordere Wand des Wirbelkanals aus (Maximum L3)
Parkin, Harrison (1985), Hogan, Toth (1999)	Lockere Befestigung der DMS sollte Verschiebung der DMS bei WS-Bewegungen ermöglichen
Klein (1986)	Verlängerung des Wirbelkanals: Abnahme der Durafaltung, Dehnung, kraniokaudale Verschiebung, ant.-post. Verschiebung Flexion des Nackens: Abflachung und Dehnung der DMS und kraniale Verschiebung Flexion der WS: Dehnung der DMS, Abnahme des transversalen und ant.-post. Durchmessers; untere Halsregion: kraniale Verschiebung; Th4: kaum Bewegung; untere LWS: kaudale Verschiebung Bei Rotation: Verwringung der DMS Hebung des gestreckten Beines: Zug nach kaudal auf der betroffenen Seite (Nur eine komplette Flexion erbrachte eine longitudinale Verschiebung) Winkel zwischen der von Dura umhüllten Nervenwurzel und der Vertikalen in neutraler Position: horizontaler Verlauf in HWS, BWS, schräger Verlauf in LWS bei Nackenflexion: Verkleinerung des Winkels bei Flexion der gesamten WS: Verkleinerung des Winkels in HWS, LWS (BWS keine Veränderung)
Ishida und Mitarb. (1988)	Extension des Nackens: Abflachung der DMS auf Höhe C5/C6, C, C6/C7, Faltung der DMS
Dai und Mitarb. (1989, 1991)	Flexion der LWS: Größeres Fassungsvermögen des duralen Sackes, Zunahme des sagittalen Durchmessers
Mihale und Mitarb. (1990)	Extension der LWS: Kleineres Fassungsvermögen, Abnahme des sagittalen Durchmessers, DMS nach kaudal
Kostopoulos, Keramidas (1992)	Flexion LWS: Vergrößerung des ant.-post. Durchmessers der DMS Zug an Schädelknochen: Längenveränderungen der Falx cerebri Anteriorer Zug am Os frontale: 1,44 mm Längenveränderung Kranialer Zug am Os parietale: 1,08 mm Posteriorer Zug an Alae majores: -0.33mm Anteriorer Zug an Alae majores: 0,28 mm
Smith und Mitarb. (1993)	Hebung des gestreckten Beines: Spannungszunahme und Bewegung der DMS (weniger Bewegung als intrathekale Nervenwurzel)
Li (1993)	Flexion und Extension des Nackens: Bewegung und Formveränderung der DMS

Yoshiyama und Mitarb. (1994)	Flexion des Nackens: Verlängerung der DMS (posterior stärker als anterior)
Pradhan, Gupta (1997)	Flexion des Nackens: keine anteriore Bewegung der DMS
Upledger (1998)*	Stoppong der Bewegung am Os parietale durch wenig Druck auf Os sacrum und Os coccygis Auslösung von Bewegung an Falx cerebri: Zug von 50-75 gr am Os frontale, Zug von 175 gr am Os sacrum
Vanden Berghe (1998)	Testung der Längenveränderung der DMC bei Bewegung der HWS führte zu keinen deutlichen Ergebnissen (Längenveränderung der DMC bleibt unter 0,1 bis 0,5%)
Liem (2000)	Deutliche Hinweise auf Bewegungs- und Spannungsübertragung von DMS auf DMC und periorbitale Strukturen

DMS: Dura mater spinalis; DMC: Dura mater cranialis; WS: Wirbelsäule; LWS: Lendenwirbelsäule; HWS: Halswirbelsäule, BWS: Brustwirbelsäule; LCS: Liquor cerebrospinalis; *Diese Studie ist nicht einsehbar, da sie nie veröffentlicht wurde. Diese Ergebnisse werden von Upledger nur in einem Artikel genannt.

Unklare Ergebnisse wurden bei Bewegung der Wirbelsäule im Hinblick auf anteriorposteriore Verschiebungen der DMS erzielt. Während Decker (1960) eine anteriore Verschiebung der lumbalen Dura mater während Flexion der Wirbelsäule registriert, wird diese von Penning und Wilmink (1981) während einer Wirbelsäulenextension festgestellt.

Übereinstimmende Ergebnisse

- Flexion der HWS führt zu kranialer Verschiebung der zervikalen DMS: O'Connell (1946), Reid (1969), Adams und Logue (1971) in 2/3 der Fälle, Klein (1986). Nur eine Untersuchung (Breig 1978) registrierte keinerlei kraniokaudale Bewegungen der zervikalen DMS während Bewegung der Wirbelsäule.
- Reid (1969), Adams und Logue (1971) und Klein (1986) konnten während der Flexion der HWS eine Verschiebung der DMS auf Höhe Th4 registrieren.
- Alle drei Autoren konnten zudem feststellen, dass sich die Bewegung bis auf Höhe von L3 fortsetzte.
- Bei Flexion der gesamten Wirbelsäule stimmten Louis (1981, 1984), Bourret (1974) und Klein (1986) überein, dass auf Höhe C5 (z.T. C5-C4, z.T. C5-C6) keine Bewegung stattfand und dass oberhalb davon die Dura nach kaudal und unterhalb davon nach kranial gezogen wurde.
- Louis wie auch Klein registrierten auf Höhe von Th6 keine Bewegung der DMS.
- Flexion der unteren LWS führte zu kaudaler Verschiebung der DMS: Reid (1969), Louis (1967, 1981, 1984) und Klein (1986)

Adams und Logue (1971) sowie Klein (1986) registrierten an Präparaten bei Flexionsbewegung der Wirbelsäule zunächst eine Abnahme der Faltung und erst bei zunehmender Flexion eine Dehnung der DMS (Klein sogar erst bei äußerster Flexion der Wirbelsäule, nach Auflösung der duralen Faltung). Beim Lebenden könnte die Dura sich allerdings anders verhalten. So erwähnt Rossitti (1993), dass die Faltung der DMS am Lebenden nicht vorhanden ist. Das würde bedeuten, dass die anderen Autoren Artefakte beobachteten.

Die Frage, ob und inwieweit kleine Bewegungen, bzw. Bewegungsausmaße und Spannungen im duralen System übertragen werden können, bleibt weitgehend unbeantwortet und ist widersprüchlich. Nur zwei Studien standen zur Verfügung,

wobei die Studie von Upledger, die eben dies untersuchte, nicht eingesehen werden konnte. Die Dura zwischen Okziput und Kreuzbein muss große Wirbelsäulenbewegungen ermöglichen und hat nach Klein (1986) unter Umständen auch beim Lebenden zuviel Bewegungsspielraum bzw. ist zu locker, um kleinste Bewegungen zu übertragen. Auch Vanden Berghes Studie weist in diese Richtung.

Zusammenfassung

Zusammenfassend können anhand der vorliegenden Studien verschiedene Mechanismen bei der Kompensation einer Verlängerung des Wirbelkanals in Flexion auftreten:

Abnahme der Faltung, Elastizität, kraniokaudale Verschiebung, anteroposteriore Verschiebung, Zunahme des anteroposterioren Durchmessers des Duralschlauches in der LWS.

Anhand der Literaturanalyse konnte eine Beweglichkeit der DMS belegt werden. Die anatomischen Verhältnisse bieten eine Voraussetzung für eine durale Beweglichkeit in der Wirbelsäule. Es wurden außerdem Hinweise festgestellt, dass Spannungen außerhalb des duralen Systems auf dieses übertragen werden kann (Zug am N. ischiadicus, Flexion der Hüfte, Klein 1986). Im weiteren bestehen einige Hinweise, dass unter Umständen kleinste Traktionen über die Dura mater übertragen werden können (Kostopoulos, Keramidas 1992, Upledger 1998).

Offene Fragestellungen

Wesentliche Fragen zur Funktion der DMS in der craniosacralen Osteopathie und zu Wechselwirkungen anderer Strukturen sind noch ungeklärt:

- Ist eine Weiterleitung von Spannung/Bewegung von der DMS auf die DMC möglich? Untersuchungen in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Breul geben deutliche Hinweise, dass dies möglich ist, ebenso wie die Übertragung von Bewegung/Spannung auf periorbitale Strukturen. Die Studie von Vanden Berghe kommt zu gegensätzlichen Ergebnissen.
- Ab welcher Zugstärke findet eine Bewegungsübertragung in der DMS statt?
- Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Konservierungs- bzw. Fixierungsmethoden der Präparate auf die Eigenschaften des Gewebes (v.a. hinsichtlich der Spannungs-/Bewegungsübertragung)? Die vorliegenden Untersuchungen wurden mit wenigen Ausnahmen nur an Präparaten, durchgeführt.
- Können bindegewebige Spannungen außerhalb des duralen Systems auf dieses übertragen werden und umgekehrt und wenn ja auf welche Weise und mit welcher funktionellen und klinischen Bedeutung?
- Können sich kleinste Bewegungen/Spannungen bzw. feinste rhythmische Impulse - wie in der craniosacralen Osteopathie angenommen-, über die DMS beim lebenden Menschen fortsetzen? Nach Klein (1986) und Ferguson (1991) ist die DMS kaum in der Lage kleinste Bewegungen zwischen Schädel und Os sacrum zu übertragen, da die Dura zwischen Okziput und Os sacrum große Wirbelsäulenbewegungen ermöglichen muss und zuviel Bewegungsspielraum hat bzw. zu locker ist. Persönliche Messergebnisse weisen demgegenüber auf

die Möglichkeit von Bewegungsübertragung kleinster Bewegung hin, um so mehr, wenn in Betracht gezogen wird, dass die DMS beim Lebenden durch den inneren Druck und die Pulsationen des Liquor cerebrospinalis gespannt gehalten wird (Breig 1960, 1978 in Rossitti 1993).

- Gibt es weitere Mechanismen bei der Bewegungs- bzw. Spannungsübertragung zwischen Os sacrum und Cranium, z. B. über das Lig. longitudinale anterius und das Lig. longitudinale posterius oder über myofasziale Verbindungen?
- Welche Rolle spielt die fluide Kontinuität (Liquor cerebrospinalis) zwischen Cranium und Kreuzbein bei der Übertragung von minimalen Bewegungsimpulsen?
- Und welche Bedeutung besitzt das gliale Gewebe bei der palpablen Wahrnehmung von minimaler Bewegung im craniosacralen System? Gröschel-Stewart (1977), Scordils (1977), Fifkova (1985), Alonso (1981) sowie Kimura (1991) wiesen Actin- und Myosinfilamente, also kontraktile Elemente, in den Astrozyten des Gehirns nach. Zudem konnte mit Hilfe periodischer elektrischer Stimulation dieser Zellen eine rhythmische Calciumfreisetzung beobachtet werden. Die Astrozyten stellen ungefähr 60% des Hirngewebes dar.

Torsten Liem, D.O., Hamburg

Literatur

Sutherland, W. G.: Teachings in the Science of Osteopathy. Sutherland Cranial Teaching Foundation, 1991.

Magoun, H. I.: Osteopathy in the cranial Field. 3rd ed. Journal Printing Company, Kirksville 1976.

Sutherland, W. G.: The Cranial Bowl. Free Press Company, USA 1939.

- Delaire, J.: L'analyse architecturale et structurale cranio-faciale (de profil). Rev. Stom. 1978; 79: 6.
- Ferrè, J.C., Chevalier, C., Lumineau, J.P., Barbin, J.Y.: L'ostéopathie crânienne, leurre ou réalité. Odontologie et Stomatologie 5/1990 in Corriat, R.: Sutherland ou l'approche crânienne en médecine ostéopathique. Kursskript des COC an der V.U.B. 1992-1993: 31-38.
- Richard, R.: Lésions Ostéopathiques du Sacrum. Maloine, Paris 1986.

- Upledger, J. E., Vredevoogd, J. D.: Lehrbuch der Kraniosakral-Therapie. 2. Auflage. Haug. Heidelberg, 1994.
- Penning, L., Wilmink, J.T.: Biomechanics of lumbosacral dural sac. A study of flexion-extension myelography. Spine; Jul.-Aug. 1981, 6 (4) : 398-408.
- O'Connell, J.E.A.: The clinical signs of meningeal irritation. Brain; 1946, 69: 9-21.
- Adams, C.B.T., Logue, V.: Studies in cervical spondylotic myelopathy. Brain 1971; 94: 557-568.
- Klein, P.: Contribution à l'étude biomechanique de la moelle épinière et de ses enveloppes. Mémoire, Brüssel, 1986.
- Breig, A.: Adverse mechanical tension in the central nervous system. An analysis of cause and effect. Almqvist and Wiksell International, Stockholm, Schweden, 1978: 129-130.
- Rossitti, S.: Biomechanics of the Pons-Cord Tract and its Enveloping Structures: an Overview . Acta Neurochirurgica (Wien); 1993, 124: 144-152.
- Kostopoulos D.C., Keramidis, G.: Changes in elongation of falx cerebri during craniosacral therapy techniques applied on the skull of an embalmed cadaver. J. Craniomand. Praxis. 1992; 10 (1) 9-12.
- Ferguson, A.: Cranial Osteopathy: a new perspective Academy of Applied Osteopathy. Academ. of Applied Osteop. 1 (4/1991) 12-16.
- Gröschel-Stewart, U., Unsicker, K., Leonhardt, H.: Immunohistochemical Demonstration of Contractile Proteins in Astrocytes, Marginal Glial and Ependymal Cells in Rat Diencephalon. Cell Tiss. Res. 1977: 133-137.

- Scordilis, S. P., Anderson, J. L., Pollack, R., Adelstein, R. S.: Characterisation of the Myosin-Phosphorylating System in Normal Murine Astrocytes and Derivative SV 40 Wild-Type and A-Mutant Transformants. *J. Cell Biol.* 1977; 74: 940-949.
-
- Fifkova, E.: Actin in the Nervous System. *Brain Res. Rev.* 1985; 9: 187-215.
- Reid, J. D.: Effects of Flexion-Extension movements of the head and spine upon the spinal cord and nerve roots. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*; 1960, 23: 214-221.
-
- Alonso, G., Fgabrion, J., Travers, E., Assenmacher, I.: Ultrastructural organisation of actin filaments in neurosecretory axons of the rat. *Cell and Tissue Res.* 1981; 214: 323-341.
-
- Kimura, A., Tsuji T., Matoba, R., Fujitani, N., Ohmori, K., Matsumara, S.: Tissue-Specific and Non-Tissue-Specific heavy-chain Isoforms of Myosin in the Brain as revealed by monoclonal Antibodies. *Biochimics et Biophysica Acta* 1991; 118: 59-69.