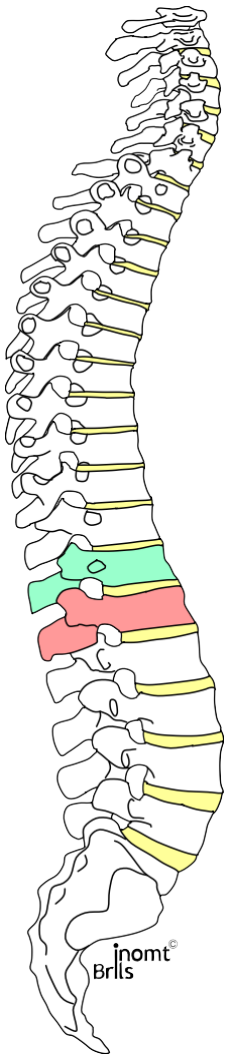
Handout Webinar

Thorako-Lumbale-Instabilität



Dr. Henk J. M. Brils, BSc., MSc. Physiotherapie, Osteopath, ltd. Fachlehrer inomt
Axel Steilen, Physiotherapeut, Osteopath, ltd. Fachlehrer inomt
Silvia Schick, Physiotherapeutin, Fachlehrerin Physiotherapie, Fachpädagogin

2. Auflage, Januar 2025
Webinar - TLÜ 2025 - 1

www.manuelle.de
E-Mail: info@manuelle.de

Inhaltsverzeichnis

EPILOG - EINLEITUNG 3
ANATOMIE: 4
MUSKULATUR: 4
AUTOCHTHONE MUSKULATUR 5
ALLOCHTHONE MUSKULATUR 5
STABILISATION 5
DURCHBLUTUNG 6
BEDEUTUNG TH12 6

INNERVATION: 7
PATHOMECHANISMUS DER INSTABILITÄT 10

AUSBREITUNG IM SEITHORNBEREICH 10
REGELN 10
HINTERHORNKOMPLEX 11
NEURALE VERSCHALTUNG DER UNTEREN EXTREMITÄT 12
TESTS 13
BEHANDLUNGSPRINZIPIEN: 15
BEISPIELTECHNIKEN: 15
LITERATUR: 16
ERGÄNZENDE LITERATUR: 16

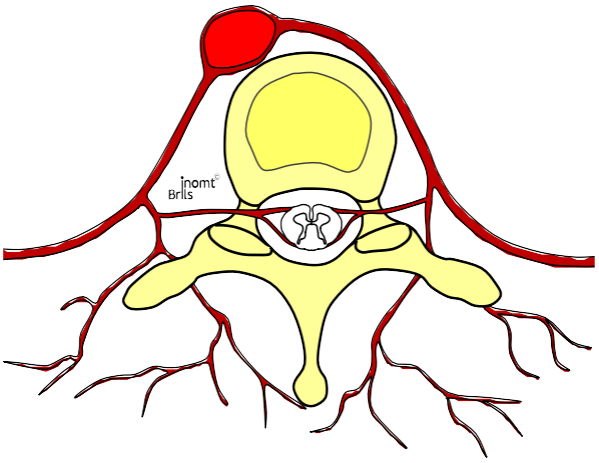
EPILOG - EINLEITUNG

In der physiotherapeutischen Praxis finden sich, besonders auffällig bei Ballsportlern, häufig wiederkehrende bilateral wechselnde Beschwerden der unteren Extremität, die nur ungenügend auf gängige Physiotherapie oder manuelle Therapie ansprechen. Hier liegt oft ein diagnostisches Problem vor, das eine klare Einordnung in einen Symptomkomplex und damit eine erfolgreiche Hypothesenbildung verhindert. Nicht selten kommen bei diesen Patienten diverse im ersten Augenblick unabhängig voneinander scheinende Symptome vor, was bei einer mangelnden Fähigkeit, sie zueinander in Beziehung zu setzen, dazu führt, dass die Therapie auf Fehlannahmen beruht und daher nur ein Teilerfolg möglich ist. Da es das Ziel der inomt© ist, den Patienten im Gesamtkomplex seiner Lebenswelt zu erkennen und zu behandeln, soll es hier einen Einblick in die Vielschichtigkeit der thorakolumbalen Instabilität geben, die es den Therapeuten ermöglicht, diese zukünftig zielgerichteter und erfolgreicher zu behandeln.

Der thorakolumbale Übergang ist aufgrund seines anatomischen Aufbaus und seiner Lokalisation eine Struktur mit sehr hohem kinästethischen und vegetativen Input. Aus muskulärer Sicht entspringt hier der M.Iliopsoas, der als einziger Muskel eine direkte Verbindung von der Lendenwirbelsäule zum Bein darstellt, ebenso setzt hier das Diaphragma an der Psoasarkade an und bildet den Abschluss des Brustkorbes. Eine direkte Verbindung zu den Wirbelkörpern haben auch die autochtonen Rückenmuskeln. Indirekt wirken aber auch der M. quadratus lumborum, die Bauchmuskeln und die Fascia thorakolumbalis auf diesen Bereich ein.

Unter einer Dysinformation des TLÜ kann es zu veränderter Sensoraktivität und Perfusion sowie Spannungsveränderungen im Gewebe kommen, die wiederum einer Traumatisierung Vorschub leisten.

Bei ausschließlich lokaler Betrachtung des Geschehens befinden wir uns in einem Teufelsreis und therapeutisch in einer klassischen „Henne-Ei-Situation“. Daher muss die Betrachtung über die lokale Ebene hinaus gehen und die Gesamtheit der Symptome erfasst und eine Differentialdiagnostik stattfinden, so dass jeder Aspekt berücksichtigt werden kann.

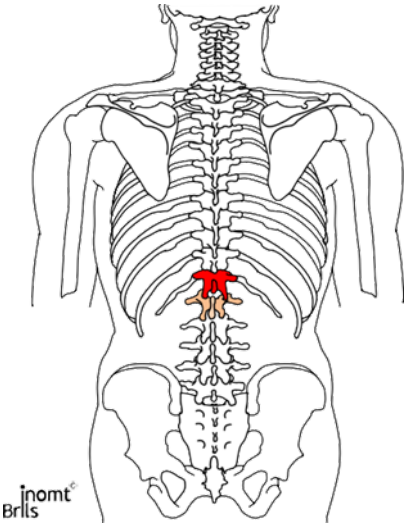


ANATOMIE:

In der thorakalen Wirbelsäule sind die Zygapophysealgelenke ventro-lateral ausgerichtet, so dass sie hauptsächlich rotatorische und lateralflexorische Bewegungen ausführen können. In der Lendenwirbelsäule sind die Facettengelenke hauptsächlich in der Sagittalebene ausgerichtet, so dass vor allem Flexion und Extension möglich sind.

Unter funktionellen anatomischen Gesichtspunkten wird der TLÜ durch diese Raumlageveränderung der Zygapophysealverbindung definiert. Hier finden sich, wie nicht anders zu erwarten, individuelle Variationen der Lokalisation:

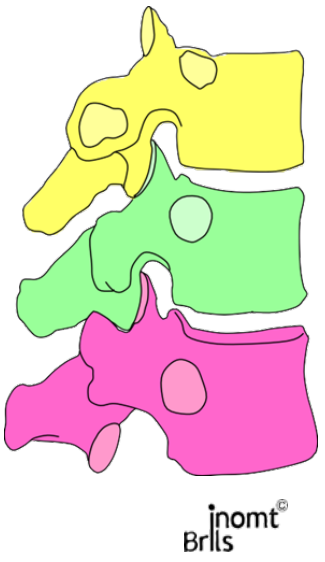
- Th12 (69%),
- Th11 (7%) oder
- L1 (24%) (Davis, PR 1955).



An dieser Stelle ist der proc. articularis superior thorakal (hauptsächlich nach ventral) und der proc. articularis inferior lumbal (hauptsächlich nach lateral) ausgerichtet, so dass ein plötzlicher Übergang von rotatorischer zu flexorischer Funktion besteht. Außerdem bildet der proc. articularis superior des Übergangswirbels mit dem proc. articularis inferior des darüber liegenden Wirbels ein Zapfengelenk, das in Extension verriegelt. Somit bleibt nur die Rotation als eine Prädilektionsbewegung für eine Instabilität.

MUSKULATUR:

Im Bereich der Wirbelsäule unterscheidet man die autochthone von der allochthonen Muskulatur.



Autochthon bedeutet, dass diese Muskeln genau dort liegen, wo sie sich ontogenetisch entwickelt haben, nämlich neben der Wirbelsäule. Autochthone Muskeln sind alle Anteile des M. erector spinae.

Die allochthone Muskulatur hat sich vom Ort ihrer Entwicklung entfernt. Hier sind Rückendeckmuskeln wie z.B. der M. latissimus dorsi, aber auch die gesamte Muskulatur der Extremitäten und die ventrale Rumpfmuskulatur zu nennen.

Der Hauptunterschied zwischen den beiden Muskelgruppen liegt in deren Innervation. Während die autochthonen Muskeln durch den Ramus dorsalis der Spinalnerven innerviert werden, beziehen sämtliche allochthonen Muskeln des Körpers ihre Innervation aus dem Ramus ventralis.

AUTOCHTHONE MUSKULATUR

Die autochthone Muskulatur wird in einen medialen und einen lateralen Trakt eingeteilt, die beide in einer bindegewebigen Hülle, der Fascia thoracolumbalis verlaufen, diese verliert sich in der mittleren BWS.

Den deutlichsten stabilisierenden Einfluss auf die Wirbelsäule hat die rotatorisch wirksame Muskulatur, daher ist es für das Folgende ausreichend, nur diese zu besprechen. Das transversospinale System des medialen Trakts ist im Bereich der Lendenwirbelsäule das einzige Rotatorensystem.
Dieses verläuft vom kaudalen Proc. transversus zum kranialen Proc. spinosus und kann ein bis vier Bewegungssegmente überbrücken. Da die Richtung der Rotation nach dem kranialen Segment benannt wird, initiiert eine unilaterale Kontraktion dieser Muskulatur eine heterolaterale Rotation, die bilaterale Anspannung bewirkt die Extension der Wirbelsäule.

ALLOCHTHONE MUSKULATUR

Weitere wichtige aktive Stabilisatoren der Wirbelsäule sind die Bauchmuskeln: M. rectus abdominis, M. transversus abdominis und die Mm. obliquūs abdominis internus und externus.

Die beste stabilisierende Wirkung haben die drei Letztgenannten, so dass für die Stabilisation über die Bauchmuskulatur die rotatorischen Komponenten betont werden sollten.

STABILISATION

Die rotatorische segmentale Stabilisation dieses Bereiches findet vor allem durch den M. Multifidus statt, da er als einziger einen beinahe segmentalen Verlauf hat. Er begrenzt und koordiniert somit auch die aktive Rotation der Wirbelsäule.
Der M. multifidus hat eine Faserverteilung von 43-66% st- (rot) zu 34- 57% ft-Fasern (weiß), (Sirca, Kostevc: 1984).
Diese relative Gleichverteilung von ft- und st-Fasern im M. multifidus erscheint bei chronischen Rückenschmerzen zu Gunsten der ft-Fasern verändert (Mannion: 1999).
Hier kann davon ausgegangen werden, dass bei Nichtgebrauch die Mitochondriendichte und der Myoglobingehalt in roten Muskelfasern abnimmt, so dass sie unter dem Mikroskop weiß erscheinen.

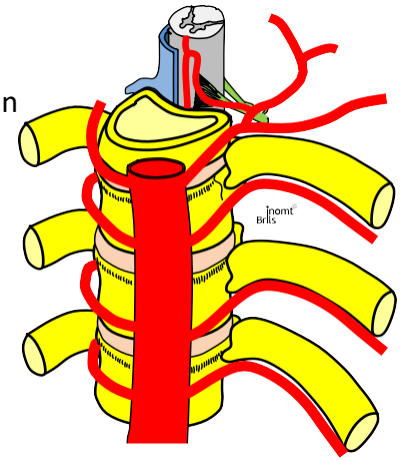
Eine muskuläre Ermüdung erscheint als Ursache einer Instabilität nicht sehr wahrscheinlich, da sie zum Großteil aus roten und oxidativen weißen Fasern besteht, die eine hohe Belastungstoleranz aufweisen (Sirca, Kostevc: 1984). Wahrscheinlicher ist stattdessen, dass es nach längerer Belastung zu einer neuronalen Ermüdung und so zu Koordinationsstörungen kommt.

DURCHBLUTUNG

Das Rückenmark wird von drei longitudinal verlaufenden Gefäßen versorgt: einer A. spinalis anterior (welche 75 % des Rückenmarkes mit Blut versorgt) und zwei Aa. spinales posteriores.
Das versorgende Gefäßsystem verläuft in longitudinaler und horizontaler Richtung und ist so vor übermäßiger Zugbelastung relativ gut geschützt und kann somit in jeder Stellung des Rückenmarkes seiner Funktion nachkommen. Darüber hinaus besitzt es viele Anastomosen, so dass das Blut in alle Richtungen fließen kann und eventuelle Verschlüsse gut kompensiert werden können.

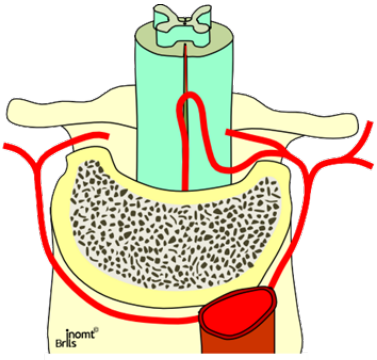
Zervikal entspringt die A. spinalis anterior aus den beiden Aa. vertebrales, die jeweils einen Ast, die A. vertebrospinalis, abgeben, die sich ungefähr in Höhe von C5 zu der A. spinalis anterior verbinden.

Die Aa. spinales anteriores et posteriores werden auf unterschiedlichen Segmenthöhen durch die Aa. radiculares ventrales et dorsales mit Blut versorgt, diese Aa. radiculares gelangen durch die Foramina intervertebrales zum Rückenmark.
Je nach Segmenthöhe entspringen die Arterien ansonsten aus der Aorta thoracica oder der Aorta abdominalis.



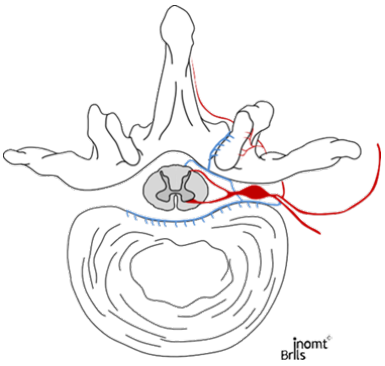
BEDEUTUNG TH12

Die Blutversorgung des Rückenmarks in diesem Bereich wird durch die A. von Adamkiewicz gewährleistet, die zwischen Th8 und L1 gewöhnlich links (69,94%) aus der A. Intercostalis entspringt.
Von dort verläuft sie durch das foramen intervertebrale und zur A. spinalis ventralis.
Durch die A. v. Adamkiewicz wird ein Großteil der cauda equina versorgt.



Durch eine funktionelle Störung auf TH12 kann es zu einer Strömungsveränderung dieser Arterien kommen und somit zu einer Minderversorgung der neurogenen Strukturen.
Eine Störung der Durchblutung kann somit zu sensiblen und motorischen Phänomenen in der unteren Extremität führen und eventuelle bestehende Wurzelproblematiken verstärken.
Dies zeigt die Bedeutung dieses Segmentes nicht nur in seiner neurovegetativen
Steuerungsfunktion, sondern auch seinen versorgenden Aufgaben. So sind die Auswirkungen funktioneller Störungen auf die lumbale Wirbelsäule und die gesamte untere Extremität erklärlich.

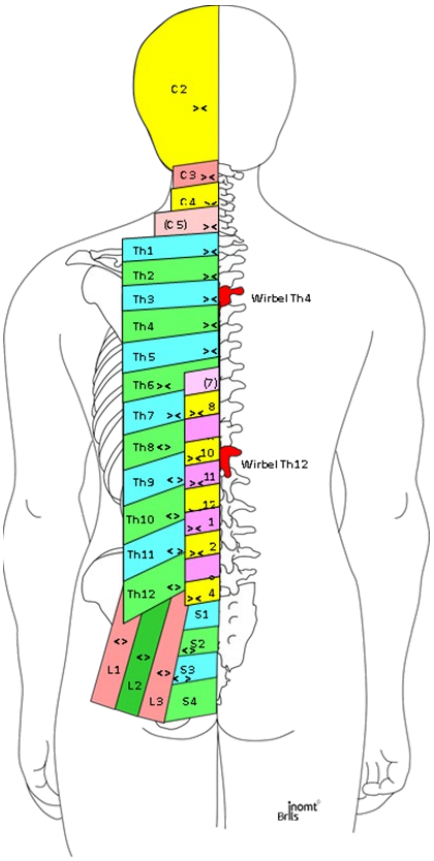
INNERVATION:



Die Wirbelsäule und das umliegende Gewebe sind vor allem durch den ramus dorsalis des jeweiligen Spinalnerven inner- viert. Dieser teilt sich auf in:

Medialer Ast:

- ½ Facettengelenk über und unter seiner Austrittstelle
- Fünfmarkstückgroßes Hautstück etwa unter dem Proc. Spinosus
- autochtone Rückenmuskulatur
- Bänder, Periost, Gefäße
- Fascia thorakolumbalis
- Der mediale Ast des ramus dorsalis hat ein unilaterales bisegmentales Versorgungsgebiet.



Intermediärer Ast:

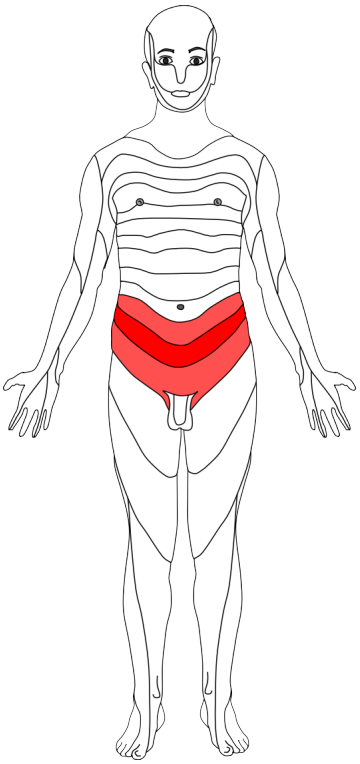
- autochtone Rückenmuskulatur,
- Gefäße.
- Der intermediäre Ast des ramus dorsalis neigt zu Plexusbildung, so dass ein selektives Ansprechen nur eines Niveaus des M. errector spinae nicht möglich ist.

Lateraler Ast:

- autochtone Rückenmuskulatur
- Gefäße, Haut (laterocaudal verschoben zum medial versorgten Stück),
- Fascia thorakolumbalis.
- Der laterale Ast von L5 fehlt immer
- L4 versorgt kein Hautgebiet, so dass die ent- sprechenden Gebiete von L1 (60%), L1 und L2 (27%) oder L1, L2 und L3 (13%) versorgt werden.
- Das Innervationsgebiet des intermediären und lateralen Astes ist ebenso unilateral und unisegmental
  (cave: Überlappung der Hautgebiete).

Ramus meningeus:

- Wirbelkörper
- Diskus
- Facettengelenke
- Lig. longitudinale posterius und flavum,
- Gefäße
- Rückenmark
- Meningen
- Der ramus meningeus hält sich nicht an die Seitenregel, sondern bildet Anastomosen mit seinem Gegenüber. Außerdem bildet er ein Netzwerk mit den rami menigei anderer Segmente (bis zu sechs), so dass sein Innervationsgebiet bilateral und multisegmental ist.



Desweiteren findet sich abgehend vom Rückenmark der ramus ventralis, der mit Ausnahme der Brustwirbelsäule zu Plexusbildung neigt und die allochtone Muskulatur sowie die restlichen Hautareale versorgt.

Zusätzlich gibt es noch zwei Verbindungen zum Grenzstrang:

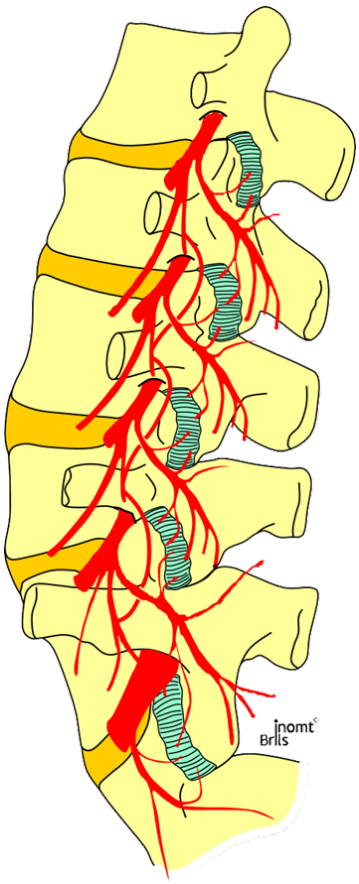
Ramus communicans griseus:

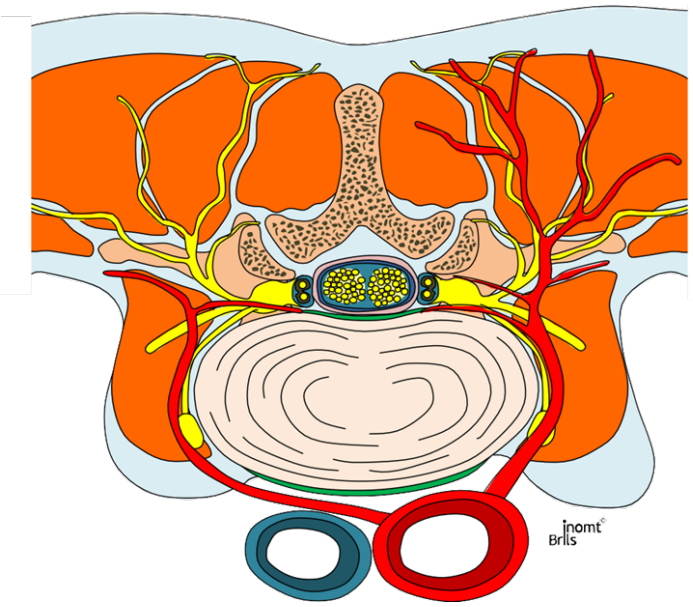
- Verbindung vom Grenzstrang zum Hinterhorn des Rückenmarks in allen Segmenten.

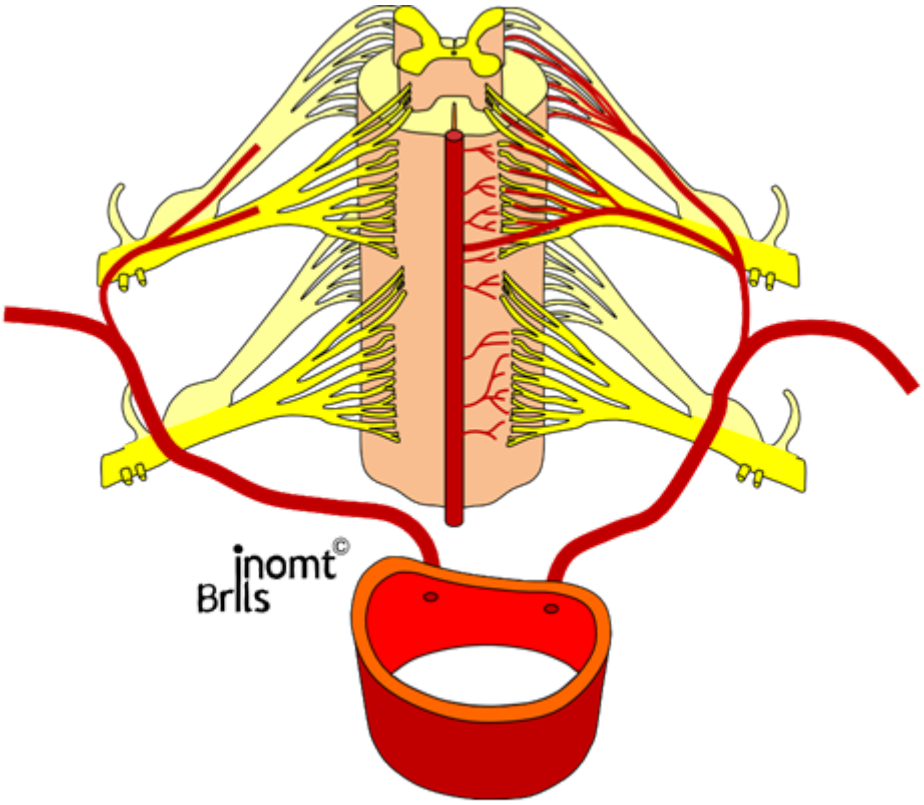
Ramus communicans albus:

- Verbindung des Rückenmarks (C8 – L2) vom nucleus intermedius lateralis des Seithorns über das Vorderhorn zum Grenzstrang.

Anatomisch liegt der Übergang im Bereich Th12 bis L2.
Hier befindet sich die vegetative Versorgung für die untere Extremität und die Organe des kleinen Beckens sowie das colon descendens, Niere, Pankreas und Dünndarm.
Da im Grenzstrang eine rege Verschaltung über mehrere Segmente nach cranial und caudal stattfindet, können aber auch andere Organe eine Fehlinformation in den Bereich des Übergangs projizieren.

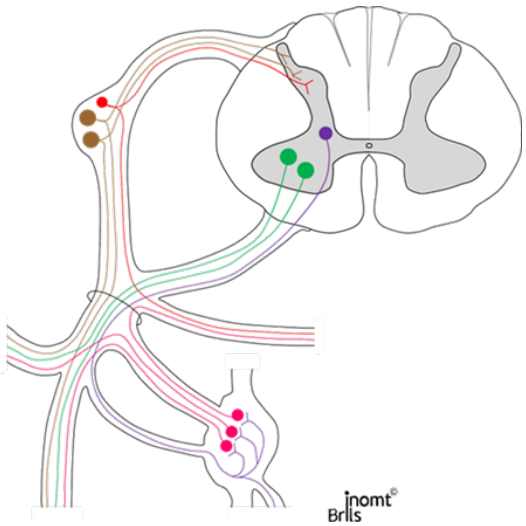

inomt
Brlls


inomt
Brlls


inomt
Brlls

PATHOMECHANISMUS DER INSTABILITÄT

Der Pathomechanismus der thorakolumbalen Instabilität muss nach obenstehender Definition unter mehreren Gesichtspunkten betrachtet werden:



- Im Falle einer nicht stabilisierten rotatorischen Bewegung, z.B. einer übertriebenen Körpertäuschung im Ballsport, kommt es lokal am Übergangswirbel zu einem veränderten propriozeptiven Input, da die Mechanorezeptoren der Gelenkkapsel und umgebender Faszie übermäßig aktiviert werden.
- Im Hinterhorn läuft diese Information ein und kann zu einem veränderten Reaktionsmuster führen.
- Dies ist auf spinaler wie zentraler Ebene zu beobachten.

Bei entsprechend häufiger Reizung oder Summation mit anderen Reizen im gleichen Segment kann es dann im Seithornbereich zu Ausbreitungen auf andere Versorgungsgebiete kommen.
Vasomotorik, Sensorafferentes System, motorische Reaktionsfähigkeit und Bindegewebsspannung werden dadurch beeinflusst.

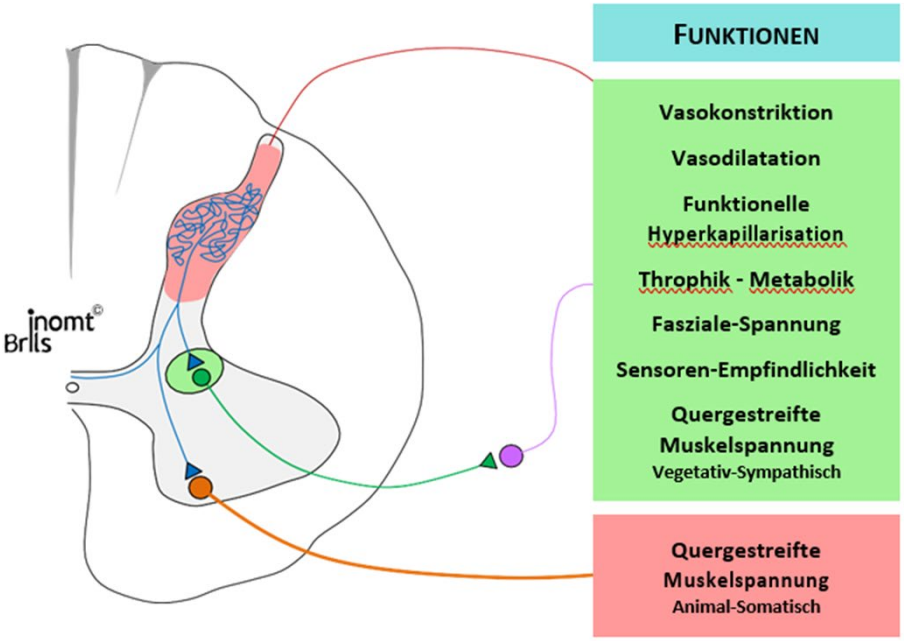
AUSBREITUNG IM SEITHORNBEREICH

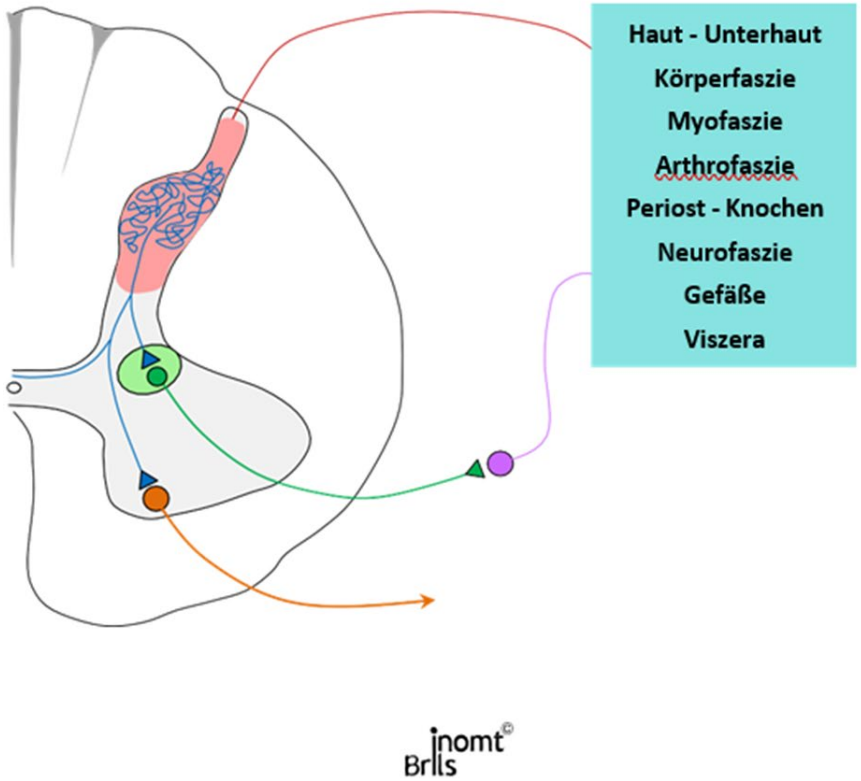
REGELN

- Das animale Nervensystem innerviert nur die quergestreifte Muskulatur (kein Herz)
- Das vegetative parasympathische Nervensystem innerviert hauptsächlich die inneren Organe (auch Kopf, Auge, Innenohr)
- Das vegetative sympathische Nervensystem innerviert alles (jede erreichbare Zelle).

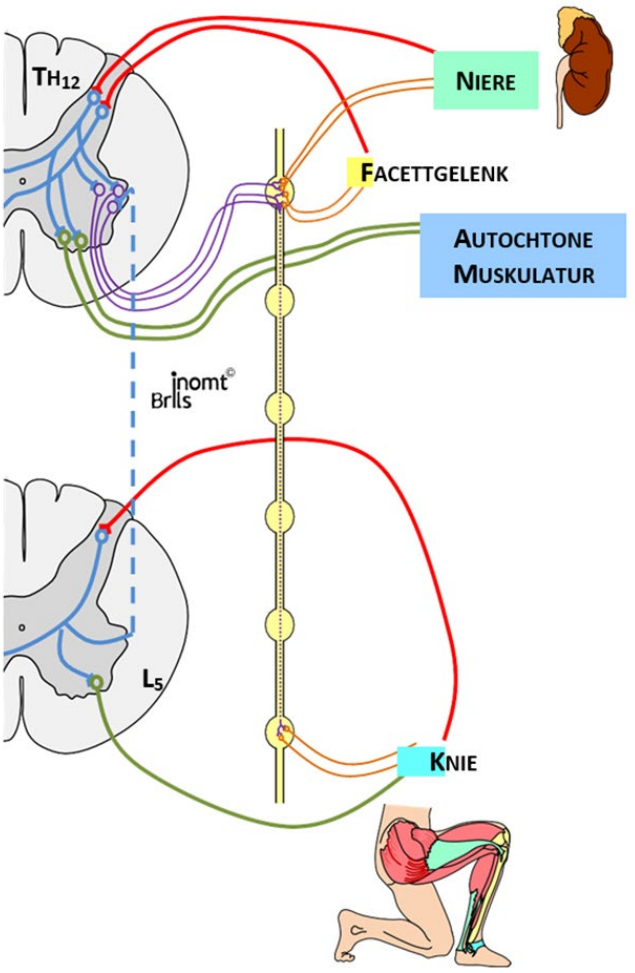
- C8 – TH4 Kopf, Hals, Nacken
- TH4 – TH9 obere Extremität
- Th9 – L2 untere Extremität
- C8 – L2 innere Organe und Thorax

HINTERHORNKOMPLEX





NEURALE VERSCHALTUNG DER UNTEREN EXTREMITÄT



TESTS

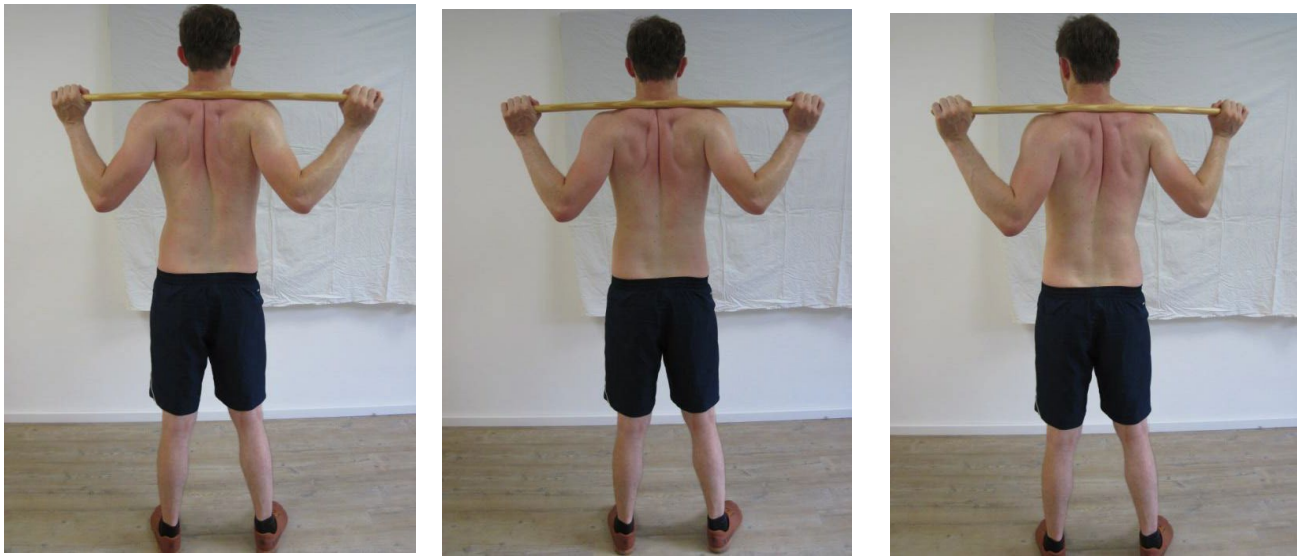
Um eine Instabilität zu diagnostizieren, muss ein stimmiges klinisches Beschwerdebild mit mindestens einem positiven Test assoziiert sein.

Test 1:

- **Einbeinsprung auf das Absprungbein**, dabei die Stabilität und Bewegungsqualität im Rücken besonders in der Abbremsbewegung bewerten.

Test 2:

- Kleinamplitudige hochfrequente rotatorische Bewegungen der über den Schultergürtel fixierten oberen BWS (Stab) gegen Becken ausführen lassen und Bewegungsqualität sowie Bewegungsgeschwindigkeit bewerten.

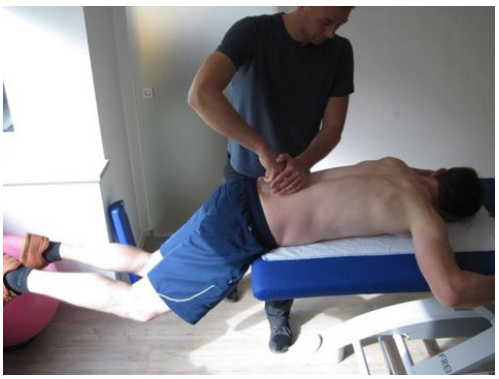


Test 3:

- Prone instability test:

  - Patient liegt in BL über der Bankkante, die Beine sind abgestellt.
  - Springingtest im TLÜ – Bereich

  - Jede Schmerzprovokation wird gemeldet.
  - Dann hebt der Patient die Beine vom Boden ab.



- Der Test wird als positiv angesehen, wenn der Schmerz in der Ruheposition vorhanden ist, aber in der zweiten Position nachlässt
- Die Muskelaktivierung kann das Wirbelsäulensegment stabilisieren.

BEHANDLUNGSPRINZIPIEN:

- Hoher sensorischer Input durch viel Gewicht in funktionellen ASTEN, denn eine verbesserte Sensomotorik hemmt tendenziell die Noziception (gate-control-Modell), verbessert die posturale Kontrolle und verringert so die Gefahr einer Retraumatisierung.
- **Keine Noziception,** denn Noziception hemmt Sensomotorik und verringert so die Kontrolle über die Bewegung, was zur Destabilisierung der Wirbelsäule führt.
- Rotatorisch-stabilisatorischen Anspruch, denn der M. multifidus als Stabilisator wird spezifisch in rotatorischen Bewegungen angesprochen.
- Training mit dynamisch-statischem Widerstand, denn die statische Komponente erhöht den Trainingsreiz deutlich, so können sowohl st- wie auch ft-Fasern optimal angesprochen werden.
- Von leicht nach schwer/ von Koordination zu Rekrutierung
- Berücksichtigung der Alltagsfunktion/ des nocizeptiven Auslösers

BEISPIELTECHNIKEN:

- SQUAT MIT AKTIVER ROTATION
- LUNGE MIT AKTIVER ROTATION
- SQUAT MIT REAKTIVER STABILISATION
- LUNGE MIT REAKTIVER STABILISATION
- SQUAT MIT BALLWURF
- LUNGE MIT BALLWURF
- EINBEINSTAND MIT BALLWURF
- SQUAT-THRUSTER MIT BALL
- LUNGE-THRUSTER MIT BALL
- EINBEINSTAND-THRUSTER MIT BALL
- SQUAT GEGEN WIDERSTAND
- LUNGE GEGEN WIDERSTAND
- EINBEINSTAND GEGEN WIDERSTAND
- SHRIMPSQUAT GEGEN WIDERSTAND
- SQUAT-PRESS
- LUNGE-PRESS
- EINBEINSTAND GEGEN CAUDALEN WIDERSTAND
- REAKTIVE STABILISATION IM SCHUSS 1
- REAKTIVE STABILISATION IM SCHUSS 2
- SQUAT MIT LATERALEM BALLWURF
- LUNGE MIT LATERALEM BALLWURF
- EINBEINSTAND MIT LATERALEM BALLWURF
- SQUATJUMP GEGEN WIDERSTAND
- SPLITJUMP GEGEN WIDERSTAND
- EINBEINSPRUNG GEGEN WIDERSTAND
- SQUATJUMP MIT BALLWURF
- SQUATJUMP MIT BALLWURF
- SPLITJUMP MIT BALLWURF
- EINBEINSPRUNG MIT BALLWURF

Literatur:

Butler, David: Mobilisation des Nervensystems, 1995, Springer-Verlag Heidelberg.
Crawford et al.: Age- and Level-Dependence of Fatty Infiltration in Lumbar Paravertebral Muscles of Healthy Volunteers, in: American journal of neuroradiology 2016
Dannels et al.: CT imaging of trunk muscles in chronic low back pain patients and healthy control subjects, in: European spine journal 2000, 9: 266-272
Davis PR (1955) The thoracolumbar mortise joint. J Anat 89:370
Hildebrandt et al.: Correllation between muscle dysfunction and fat infiltration in lumbar multifidus muscles in patients with low back pain, in: BMC musculosceletal disorders 2017, 18:12
Maigne R (1972) Articulations interapophysaires et pathologie douloureuse commune du rachis. Annales de Médecine Phy- sique. 15:262-267
Maigne, R.: Das Syndrom des thorakolumbalen Übergangs, Eine Quelle diagnostischer Fehler; in: Man. Med. 1998, 36: 262-268 Mannion, AF: Fibre type characteristics and function of the paraspinal muscles: normal values and changes in association with low back pain, in: Journal of Electromyography and Kinesiology 1999, 9: 371f.
Panjabi: The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. J Spinal Dis. 1992; 5: 390-397
Sirca, A., Kostevc, V.: The fibre type composition of thoracic and lumbar paravertebral muscles in man, in: J.Anat. 1984, 141: 133

Ergänzende Literatur:

Biely et al.: Clinical Instability of the Lumbar Spine: Diagnosis and Intervention, in: Orthopaedic Practice Vol.18, 3:06
Booth, Kirby: Changes in skeletal muscle gene expression consequent to altered weight bearing, in: Am J Physiol 1992, R329- R332
Buller et al.: Differentiation of fast and slow muscles in the cat hind limb, in: J Physiol 1960, 150, pp. 399-416
Buller et al.: Interactions between Motoneurones and Muscles in Respect ot the Characteristic Speeds of their Responses, in: J Physiol 1960, 150 pp. 417-439
Bussher et al.: Biomechanical Characteristics of Different Regions of the Human Spine, in: Spine 2009, 34:2858–2864
Daneels et al.: Effects of three different training modalities on the cross sectional area of the lumbar multifidus muscle in patients with chronic low back pain, in: Br J Sports Med 2001, 35:186-191
D´hooge et al.: Increased intermuscular fatty infiltration without differences in lumbar muscle cross-sectional area during re- mission of unilateral recurrent low back pain, in: Manual Therapy 2012, 17: 584-588
Goldspink et al.: Gene expression in skeletal muscle in response to stretch and force generation, in: Am J Physiol 1992, 262: R356-R363
Hadar et al.: Fatty Replacement of Lower Paraspinal Muscles: Normal and Neuromuscular Disorders, in: AJR 1983, 141: 895-898 Hicks et al.: Interrater Reliability of Clinical Examination Measures for Identification of Lumbar Segmental Instability, in: Arch Phys Med Rehabil 2003, 84:1858-64
Hides et al.: Small Multifidus Muscle Size Predicts Football Injuries, in: Orthop J Sports Med 2014, 2:6
Hobbs et al.: Comparison of Lumbar Proprioception as Measured in Unrestrained Standing in Individuals With Disc Replacement, With Low Back Pain and Without Low Back Pain, in: J Orthop Sports Phys Ther 2010, 40(7):439-446
Kjaer et al.: Are MRI-defined fat infiltrations in the multifidus muscles associated with low back pain?, in: BMC Medicine 2007, 5:2
Lam et al.: Lumbar Spine Kinesthesia in Patients with Low Back Pain, in: J Orthop Sports Phys Ther 1999, 29 (5) :294-299 MacDonald et al.: The lumbar multifidus: Does the evidence support clinical beliefs?, in: Man Ther 2006, 11:254-263 Macintosh, Bogduk: The biomechanics of the lumbar multifidus, in: Clinical Biomechanics 1986, 1: 205-213
Maffey-Ward: Toward a Clinical Test of Lumbar Spine Kinesthesia, in: J Orthop Sports Phys Ther 1996,24:6
Mannion et al.: Fibre Type Characteristics of the Lumbar Paraspinal Muscles in Normal Healthy Subjects and in Patients with Low Back Pain, in: Journal of orthopaedic research 1997, 15:881-887
Panjabi:A hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction, in: Eur Spine J 2006, 15:668-676
Sawchak et al.: Coexpression of myosin isoforms in muscle of patients with neurogenic disease, in: Muscle & Nerve 1989, 12:679-689
Schleip et al.: Letter to the Editor concerning ‘‘A hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction’’ (M. Panjabi), in: Eur Spine J 2007, 16:1733-1735
Shahidi et al.: Contribution of lumbar spine pathology and age to paraspinal muscle size and fatty infiltration, in: Spine (Phila Pa 1976) 2017 April 15; 42(8): 616–623
Stokes, Gardner-Morse: Quantitative anatomy of the lumbar musculature, in: J Biomech 1999, 32:311-316
Tunnel: Needle EMG Response of Lumbar Multifidus to Manipulation in the Presence of Clinical Instability, in: J Man Manip Ther 17:1
Watanabe, Hotta: Heart rate changes in response to mechanical pressure stimulation of skeletal muscles are mediated by cardiac sympathetic nerve activity, in: Front Neurosci 2017, 10:614
Mannion et al.: Influence of age and duration of symptoms on fibre type distribution and size of the back muscles in chronic low back pain patients, in: Eur Spine J 2000, 9:273-281
Parkhurst, Burnett: Injury and Proprioception in the Lower Back, in: J Orthop Sports Phys Ther 1994, 19:5