

Aus dem Veterinär-Anatomischen Institut
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

**Neue Aspekte der segmentalen Neuroanatomie des
Lendenbereiches beim Hund**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)
durch die Veterinärmedizinische Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von

Dora Bernigau
aus Leipzig

Leipzig, 2013

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Uwe Truyen

Betreuer: Prof. Dr. Christoph K.W. Mülling

Gutachter: Prof. Dr. Christoph K.W. Mülling, Veterinär-Anatomisches Institut,
Universität Leipzig, Leipzig
Univ. Prof. Dr. Monika Egerbacher,
Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie,
Veterinärmedizinische Universität Wien, Wien

Tag der Verteidigung: 16. April 2013

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Die Anatomie des Hunderückens	3
2.1.1	Die Haut	3
2.1.2	Faszienverhältnisse im Rückenbereich des Hundes	10
2.1.3	Die Rückenmuskulatur des Hundes im Lumbalbereich	11
2.1.4	Die Rami dorsales der Nervi lumbales, ihre Verzweigung und das Innervationsgebiet	12
2.2	Die segmentale Innervation der Haut und der Muskulatur	14
2.2.1	Die pränatale Entwicklung der sensiblen Anteile der Nervi spinales	14
2.2.2	Das Dermatome	16
2.2.3	Das Myotom	17
2.2.4	HEAD und MACKENZIE Zonen, übertragener Schmerz	18
2.3	Die Neuraltherapie und verwandte Therapiemethoden	19
2.4	Traditionelle Chinesische Medizin und Akupunktur	19
2.4.1	Zur Geschichte der Akupunktur	20
2.4.2	Der Akupunkturpunkt	21
2.5	Myofasziale Triggerpunkte	28
2.6	Theorien des Wirkmechanismus bei neuraltherapeutischen Methoden	29
2.6.1	Theorien zur Erklärung der neuraltherapeutischen Analgesie	30
2.6.2	Lokale Effekte	34
2.7	Neuraltherapeutische Verfahren und Placebo	34
2.8	Akupunktur beim Tier	37
3	Material und Methoden	39
3.1	Tiere	39
3.2	Die Präparation	39
3.2.1	Verlauf der Lendennerven in verschiedenen Schichten	39
3.2.2	Subkutaner Nervenverlauf	46

Inhaltsverzeichnis

4	Ergebnisse	48
4.1	Ursprung und Anzahl der Nerven zur Innervation der Haut im Lumbalbereich	48
4.2	Verlauf der einzelnen Nerven.....	51
4.2.1	Ramus dorsalis Th12	51
4.2.2	Ramus dorsalis Th13	52
4.2.3	Ramus dorsalis L1	52
4.2.4	Ramus dorsalis L2	52
4.2.5	Ramus dorsalis L3	52
4.2.6	Ramus ventralis L3.....	53
4.2.7	Ramus dorsalis L4	53
4.2.8	Ramus ventralis L4.....	53
4.2.9	Ramus dorsalis L5	53
4.2.10	Ramus ventralis L5.....	53
4.3	Kaudalverschiebungsindex für die einzelnen Hunde (KVI_j).....	53
4.4	Kaudalverschiebungsindex der einzelnen Nerven (KVI_i).....	55
4.5	Anzahl der Hautnervenäste und ihre Kaudalverschiebung.....	58
4.6	Besonderheiten des Nervenverlaufes und der –verzweigung in den einzelnen Schichten	60
4.6.1	Nervenverlauf im Bereich des Eintrittes in die Haut.....	60
4.6.2	Oberflächliche Schicht (a) im Bereich der Fascia thoracolumbalis	61
4.6.3	Mittlere Schicht (b) im Bereich der langen Rückenmuskulatur	64
4.6.4	Tiefe Schicht (c) auf Niveau der Procc. transversi	65
4.7	Subkutaner Nervenverlauf.....	68
5	Diskussion.....	70
5.1	Ursprung, Verlauf und Verzweigung der Spinalnerven zur Innervation der Lendenregion	70
5.1.1	Ursprungssegmente und Anzahl der Nervi spinales.....	70
5.1.2	Rami dorsales und Rami ventrales	71
5.1.3	Kaudalverschiebung der Spinalnerven	72
5.1.4	Überlegungen zur Neurogenese der sensiblen Hautnerven	76
5.2	Das Innervationsmuster der Regio lumbalis im Hinblick auf neuraltherapeutische Methoden	78
5.2.1	Zum Thema der Punktspezifität bei TCM-basierten Therapiemethoden	78
5.2.2	Unterschiede im subkutanen Nervenverlauf.....	80

Inhaltsverzeichnis

5.2.3	Neuraltherapeutische Methoden – Eine Segmenttherapie?	81
5.2.4	Mögliche analgetische Mechanismen bei Anwendung eines neuraltherapeutischen Verfahrens	84
5.2.5	Das Problem mit dem Placebo.....	86
5.3	Fazit und Ausblick.....	87
6	Zusammenfassung.....	91
7	Summary	93
8	Literaturverzeichnis	95
9	Danksagung.....	111

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
abs.	absolut
acc.	accessorius/-i
ATP	Adenosintriphosphat
BG	Bindegewebe
C	Cervikalsegment
CGRP	Calcitonin gene related peptide
cut.	cutaneus
DF	Dornfortsatz
DNIC	Diffuse-Noxious-Inhibitory-Control
EA	Elektroakupunktur
fMRI	funktionelles Magnetresonanztomographie
GERAC	German Acupuncture Trials
GNB	Gefäß-Nerven-Bündel
Hz	Hertz
IVAS	International Veterinary Acupuncture Society
Kan.	Kanadisch
Korr.	Korrelation
KVI	Kaudalverschiebungsindex
KVI-F	Kaudalverschiebungsindex auf Niveau der Fascia thoracolumbalis
KVI-H	Kaudalverschiebungsindex im Bereich der Haut
KVI-M	Kaudalverschiebungsindex auf Niveau der langen Rückenmuskulatur
kg	Kilogramm
L	Lendensegment
LA	Laserakupunktur
lat.	lateralis
LW	Lendenwirbel
LWS	Lendenwirbelsäule
m	männlich

Abkürzungsverzeichnis

M.	Musculus
med.	medialis
mk	männlich kastriert
mm	Millimeter
Mm.	Musculi
MTrP	Myofaszialer Triggerpunkt
n	Größe der Stichprobe
N.	Nervus
n.Chr.	nach Christus
NAV	Nomina Anatomica Veterinaria
NKA	Neurokinin A
Nn.	Nervi
PMR	Polymodaler Rezeptor
Proc./Procc.	Processus/Processus
r	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmaß
R.	Ramus
RCT	randomisierte kontrollierte Studie (Randomized Controlled Trial)
Rd	Ramus dorsalis nervi spinalis
Rv	Ramus ventralis nervi spinalis
Rr.	Rami
SP	Substanz P
Str.	Stratum
Tab.	Tabelle
TCM	Traditionelle Chinesische Medizin
Th	Thorakalsegment
TENS	Transkutane Elektrische Nerven Stimulation
v.Chr.	vor Christus
VIP	Vasoaktives Intestinales Polypeptid
w	weiblich

1 Einleitung

Die Segmentlehre ist ein historisch sehr altes Teilgebiet der Anatomie, auf dem bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts intensiv geforscht wurde. Zu den bedeutendsten Werken auf dem Gebiet der Segmentanatomie zählen unter anderem die Untersuchungen zu den Dermatomen von TÜRCK (1856), BOLK (1898), FOERSTER (1933) oder KEEGAN und GARRETT (1948) sowie die Arbeiten von HEAD (1893) und MACKENZIE (1906) zum Phänomen des übertragenen Schmerzes. Ab der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts verlor dieses Forschungsgebiet jedoch zunehmend an Bedeutung, nicht zuletzt, weil dem Anschein nach alle wichtigen Erkenntnisse bereits aufgedeckt waren. Das Wissen um die Segmentlehre wurde seither zwar als Basis beziehungsweise Hintergrund für die Lehre und eine Vielzahl von Forschungsthemen verwendet, ohne jedoch im Kontext der sich rasant weiter entwickelnden Forschung neu betrachtet zu werden.

Mit dem vermehrten Aufkommen einer Vielzahl von zur Schulmedizin komplementären Therapieverfahren in den letzten drei Jahrzehnten wuchs das Bedürfnis, die Wirkmechanismen dieser verschiedenen Therapieverfahren wissenschaftlich fundiert erklären zu können. Durch die steigende Nachfrage nach sogenannten „alternativen Heilverfahren“ hat insbesondere die Akupunktur mittlerweile Einzug in zahlreiche Tierarztpraxen gehalten. Tiere mit muskuloskelettalen Erkrankungen vor allem im Bereich der Lendenregion, Lendenwirbelsäule und der Gliedmaßen stellen einen Großteil des Patientengutes dar.

Der Begriff der Komplementär- oder Alternativmedizin umfasst eine Reihe von segmentalen Therapiemethoden, zu denen unter anderem die Neuraltherapie aber auch die Akupunktur aus dem Bereich der traditionell chinesischen Medizin (TCM) gerechnet werden können (MERMÖD et al. 2008). Eine der Hauptindikationen für den Einsatz dieser Methoden sind schmerzhafte Zustände. Ziel der Therapieverfahren ist, den schmerzhaften Zustand durch einen in der Körperperipherie gesetzten Reiz zu beheben. Den genannten Verfahren liegt prinzipiell ein ähnlicher Wirkmechanismus zugrunde und es ist schulmedizinisch allgemein akzeptiert, dass das Nervensystem die Hauptrolle bei der Aufnahme, Weiterleitung und Verschaltung der gesetzten Reize spielt. Jedoch fehlten bisher noch neuroanatomische Grundlagen, um diese Wirkweisen ausreichend erklären zu können.

Die Akupunktur ist ein Teilgebiet der Komplementärmedizin, auf dem seit den letzten Jahrzehnten intensiv geforscht wird. Laut traditioneller Auffassung beschreibt die Akupunktur das Einstechen von feinen Nadeln in speziell definierte Hautpunkte, die sogenannten Akupunkturpunkte. Aus schulmedizinischer Sicht bestehen jedoch noch Probleme, die der TCM und damit auch der Akupunktur zugrundeliegenden Gedanken wissenschaftlich ausreichend nachvollziehen zu können. So stellt sich unter anderem die Frage nach der Struktur der Akupunkturpunkte und dem Sinn ihrer

Anordnung auf so genannten Meridianen. Auf der Suche nach einem morphologischen Korrelat zu Akupunkturpunkten ergaben histologische Untersuchungen, dass die Mehrheit der Punkte oberhalb von Gefäß-Nerven-Bündeln lokalisiert ist, welche die Körperfazie perforieren (HEINE 1987, EGERBACHER u. LAYROUTZ 1996). Diese Korrelation der laut TCM festgelegten Akupunkturpunkte mit den Gefäß-Nerven-Bündeln müsste im Umkehrschluss bedeuten, dass die Faszienperforationen innerhalb der Spezies bei allen Individuen vergleichbar an derselben Stelle lokalisiert sind. Dies würde weiterführend bedeuten, dass der Verlauf und die Verzweigung der Nerven interindividuell annähernd identisch sind.

Detaillierte Untersuchungen zum Innervationsmuster des Rückenbereiches sind in der veterinärmedizinischen Literatur nur spärlich vorhanden und machen lediglich verallgemeinernde Aussagen ohne individuelle Unterschiede einzubeziehen (SCHALLER 1956, BAILEY et al. 1984).

Ziel der vorliegenden Dissertation war es daher, die Regio lumbalis des Hundes im Hinblick auf den Verlauf und das Verzweigungsmuster der Spinalnerven detailliert präparatorisch darzustellen. Mit den neuroanatomischen Ergebnissen sollte ein Beitrag zur wissenschaftlichen Erklärung der Wirkung verschiedener segmentaler Therapieverfahren erbracht werden.

2 Literaturübersicht

2.1 Die Anatomie des Hunderückens

Die diversen Formen der segmentalen Therapiemethoden werden je nach Lokalisation entweder nur auf der Hautoberfläche wie zum Beispiel die Transkutane Elektrische Nerven Stimulation (TENS) oder intrakutan wie beispielsweise das Quaddeln oder eine Akupunktur am Kopf oder bis in tiefe Schichten der Muskulatur wie zum Beispiel eine Akupunktur am Rücken durchgeführt. Da im Lendenbereich des Hundes sehr häufig eine segmentale Therapie durchgeführt wird, soll im Folgenden auf den Aufbau dieses Bereiches eingegangen werden.

2.1.1 Die Haut

Die Haut des Hundes besteht wie bei allen Säugetierarten aus einer dem Ektoderm entstammenden Oberhaut, Epidermis, und der darunter liegenden Lederhaut, Dermis, die mesodermalen Ursprungs ist. Von einigen Autoren wird auch die Unterhaut, Subkutis oder Hypodermis noch Teilen der Haut zugerechnet (KRISTENSEN 1975, PALVETIC 1991). Bezüglich der Hautdicke bestehen geringe Unterschiede zwischen den diversen Hunderassen, aber auch zwischen den einzelnen Individuen (SCHWARZ et al. 1979, CREED 1958, KRISTENSEN 1975). KRISTENSEN (1975) erwähnte ebenfalls geringgradige Altersunterschiede. PALVETIC (1991) stellte geringgradige geschlechtsspezifische Abweichungen der Hautdicke bei Hunden fest. Dabei variiert die Hautdicke, definiert als die Distanz zwischen Hautoberfläche und tiefstem Teil des Haarfollikels, stets je nach Körperregion (KRISTENSEN 1975). Am dünnsten ist die Haut des Hundes im Bereich der Schenkelinnenseite und Axelgegend mit ca. 0,5 bis 1 mm, wohingegen am Nacken, Rücken und Schwanz die Haut die größte Dicke mit bis zu 5 mm beim adulten Hund aufweist (AFFOLTER u. MOORE 1994).

Betrachtet man die Hundehaut bei geringer Vergrößerung, so ist eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Fältelung der Hautoberfläche zu erkennen.

2.1.1.1 Aufbau der Epidermis des Hundes

Die Oberhaut des Hundes besteht aus wenigen Lagen lebender Zellen, überlagert von einer unterschiedlich dick ausgeprägten Schicht abgestorbenen verhornten Zellgewebes (KRISTENSEN 1975). Ihre gesamte Stärke wird für die dorsalen Körperabschnitte des Hundes mit 30 bis 40 μm angegeben, kann aber auch bisweilen eine Stärke von bis zu 100 μm aufweisen (LOVELL u. GETTY 1957, KRISTENSEN 1975).

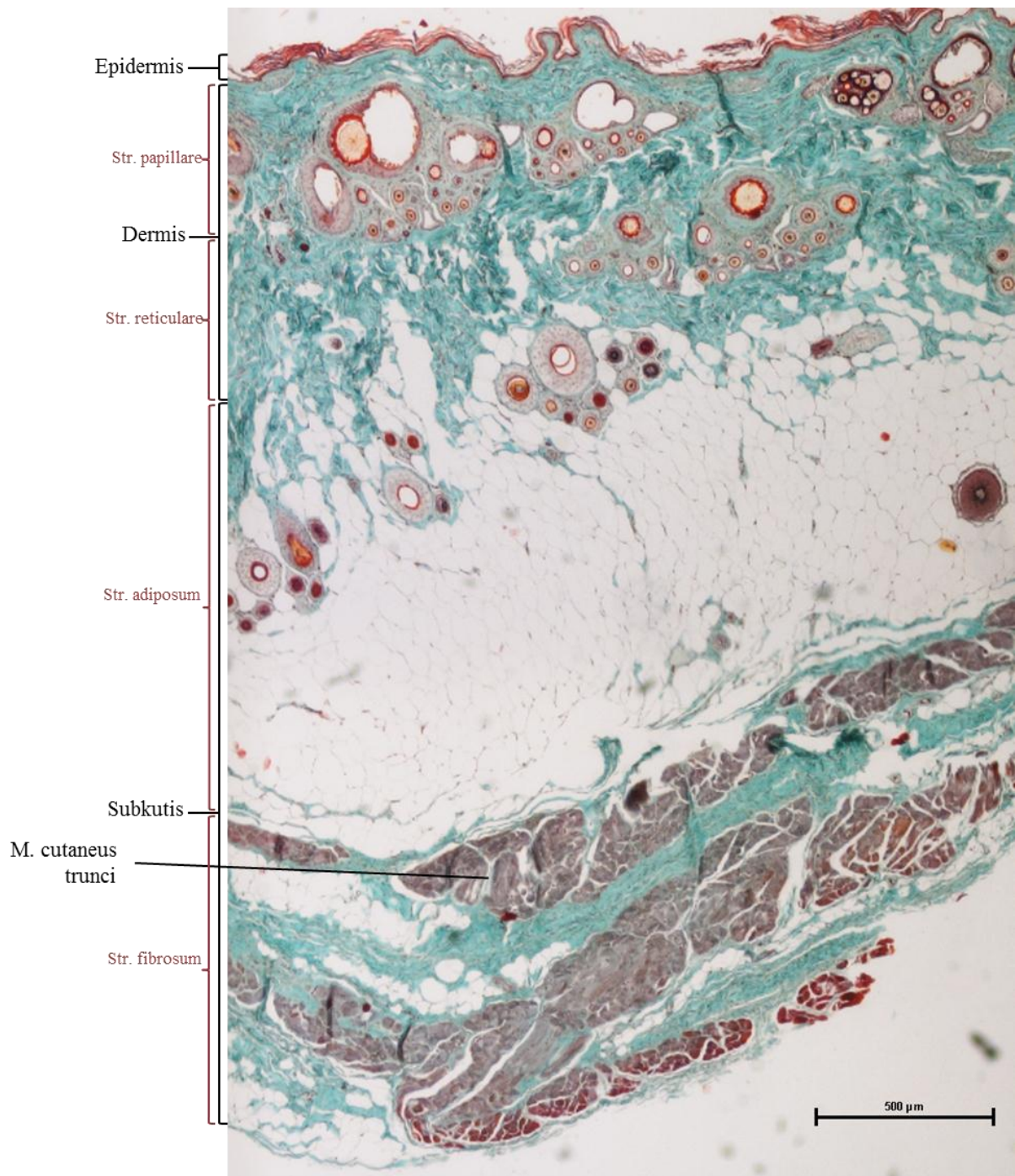


Abb. 2.1 Histologischer Schnitt der Haut im Bereich des 5. Lendenwirbels, Hund, Masson-Goldner-Färbung

Das Stratum corneum als äußere Schicht der Epidermis besteht vorwiegend aus verhornten kernlosen Keratinozyten, die säulenartig übereinander angeordnet sind und an der Oberfläche abschilfern (LLOYD u. GARTHWHITE 1982). Generell besitzen Körperbereiche mit dichterem Behaarung aufgrund der geringeren mechanischen Belastung einen geringeren Verhornungsgrad und insgesamt

eine dünnere Epidermis als Bereiche mit spärlichem Haarbesatz. Das Stratum corneum weist im Rückenabschnitt eine Stärke von 10 bis 13 μm auf (THOMSETT 1986, LLOYD u. GARTHWHITE 1982).

Ein Stratum lucidum ist analog zu den übrigen Haussäugetieren mit Ausnahme der Pfotenballen und des Nasenspiegels nicht ausgebildet (WEBB u. CALHOUN 1954, LOVELL u. GETTY 1957, THOMSETT 1986).

In Bezug auf das Stratum granulosum besteht der allgemeine Konsens unter den meisten Autoren, dass es eine einschichtige, bisweilen lückenhafte Zelllage darstellt (WEBB u. CALHOUN 1954, CREED 1958, KRISTENSEN 1975, SCHWARZ et al. 1979, AFFOLTER u. MOORE 1994). Nur HUGHES (1960) charakterisierte in seinen Untersuchungen das Stratum granulosum als eine drei- bis fünfschichtige Zellformation.

Die Stachelzellschicht (Stratum spinosum), die dem Stratum germinativum zugerechnet wird, besteht an allen Körperstellen aus ein bis drei Schichten kompakter Keratinozyten (WEBB u. CALHOUN 1954, CREED 1958, HUGHES 1960, KRISTENSEN 1975, THOMSETT 1986). Von SCHWARZ et al. (1979) werden drei bis sechs Schichten angegeben.

Das Stratum basale, das ebenfalls dem Stratum germinativum zugehörig ist und die Begrenzungsschicht zur folgenden Dermis darstellt, besteht aus einer einschichtigen geschlossenen Epithellage (WEBB u. CALHOUN 1954, CREED 1958, HUGHES 1960, KRISTENSEN 1975, SCHWARZ et al. 1979, THOMSETT 1986, AFFOLTER u. MOORE 1994).

2.1.1.2 Dermis

Die Dermis der Haut des Hundes entspricht in ihrem strukturellen Aufbau ebenfalls dem der übrigen Säugetiere. Charakteristisch ist ein Netzwerk aus zumeist parallel zur Hautoberfläche verlaufenden Bindegewebsfasern, die in einer amorphen Grundsubstanz einbettet sind. Kollagene Fasern stellen hierbei mit 90% den größten Anteil dar, gefolgt von elastischen und retikulären Fasern. Für unsere Haussäugetiere gilt eine positive Korrelation zwischen der Dermisdicke und der Dichte des Haarkleides. Das bedeutet, dass an stark behaarten Stellen auch die Dermis eine beträchtlich größere Stärke aufweist (AFFOLTER u. MOORE 1994). Haut mit einer Dermisdicke von mehr als einem Millimeter wird als dicke Haut bezeichnet, wohingegen bei einer dünnen Haut die Dermis weniger als einen Millimeter Dicke aufweist (PALVETIC 1991).

Unmittelbar auf das Stratum basale der Oberhaut folgt das **Stratum papillare**. Der gebräuchliche Begriff des Papillarkörpers ist für den Hund insofern nicht zutreffend, als dass an behaarten

Körperstellen keine Papillen, sondern nur eine wellenförmige Formation des Stratum papillare ausgebildet ist (HUGHES 1960, KRISTENSEN 1975, SCHWARZ et al. 1979). Das Stratum papillare ist gekennzeichnet durch ein Netz aus relativ feinen Kollagenfaserbündeln, zwischen denen einzelne Fasern elastischen Bindegewebes eingelagert sind. Retikuläre Fasern sind ebenfalls in geringer Zahl vorhanden.

Das **Stratum reticulare** ist vom Stratum papillare beim Hund nur schlecht abzugrenzen (WEBB u. CALHOUN 1954, CREED 1958, HUGHES 1960, SCHWARZ et al. 1979). Allenfalls lässt sich eine Trennung aufgrund eines veränderten Faserverlaufes, einer Zunahme der Faserdicke sowie einer verminderten Anzahl an elastischen und retikulären Fasern zugunsten der Kollagenen vornehmen (KRISTENSEN 1975, SCHWARZ et al. 1979, AFFOLTER u. MOORE 1994). KRISTENSEN (1975) definierte die Grenze zwischen den beiden Strata im Bereich der Talgdrüsen.

Innerhalb der Bindegewebsnetze beider Dermissschichten liegen zahlreiche Blutgefäße und Kapillaren, begleitet von Nervenfasern und kleinen Lymphgefäßen (zur Blutversorgung der Haut siehe Kap. 2.1.1.4). Außerdem ist eine große Anzahl von Haarfollikeln mit ihren begleitenden Strukturen, den Schweiß- und Talgdrüsen und den Mm. arrectores pilorum in der Dermis zu finden.

Neben Fibroblasten, die den Hauptanteil der zellulären Bestandteile im Corium ausmachen, finden sich auch Zellen des Abwehrsystems in der Kutis. Makrophagen, Lymphozyten, Plasmazellen und Mastzellen haben hierbei eine zumeist perivaskuläre Anordnung (LOVELL u. GETTY 1957, CREED 1958, HUGHES 1960, KRISTENSEN 1975, SCHWARZ et al. 1979).

2.1.1.3 Subkutis

Die **Subkutis** dient der Haut als Verschiebeschicht. Sie hat am Bauch und besonders am Rücken des Hundes eine beträchtliche Dicke, kann jedoch an Stellen, an denen die Haut gegenüber ihrer Unterlage nicht verschieblich sein soll, fehlen, wie zum Beispiel im Frontalbereich des Schädels (GEYER 2008). Die unmittelbar auf das Stratum reticulare folgende Schicht ist das **Stratum adiposum subcutis**. Sie besteht im Wesentlichen aus univakuolären Fettzellen, die von feinen, locker liegenden kollagenen und elastischen Fasern umspinnen werden. Da dieses Fettgewebe als Depotspeicher dient, kann es vor allem bei großen und gut genährten Hunden eine Stärke von einigen Zentimetern erreichen (GEYER 2008).

Das **Stratum fibrosum subcutis** ist relativ schmal. Es besteht aus zahlreichen zumeist kollagenen Bindegewebsfasern, die eine parallel zur Hautoberfläche ziehende Orientierung besitzen (SCHWARZ et al. 1979, GEYER 2008). Vereinzelt sind auch Fettzellen in dieser Schicht vorhanden. Im

Rumpfbereich ist die Subkutis von einem sehr fest gewobenen Charakter und beherbergt den Musculus cutaneus trunci (GEYER 2008).

In beiden Lagen der Hypodermis befinden sich zahlreiche Blut- und Lymphgefäße sowie Nervenfasern (SCHWARZ et al. 1979, PALVETIC 1991).

2.1.1.4 Blutversorgung der Haut

Die Blutversorgung der Haut des Rumpfes wird durch segmental angeordnete Stammgefäße des jeweilig korrespondierenden Dermatomes gesichert. Hierbei variiert der makroskopisch erkennbare Verlauf individuell sehr stark, die mikroskopische Anordnung der Hautblutgefäße folgt jedoch einem sehr konstanten Schema (HUGHES 1960). Arterien und Venen weisen einen parallelen Verlauf auf (HUGHES 1960).

Beim Hund sind drei Ebenen von miteinander kommunizierenden Gefäßplexus zu unterscheiden. Das am tiefsten gelegene Gefäßnetz liegt im Rumpfbereich zu beiden Seiten des Hautmuskels unmittelbar unterhalb der Dermis und wird daher als **subdermalen Plexus** bezeichnet. Die Gefäße sind mit bloßem Auge sichtbar und versorgen mit absteigenden Ästen das Stratum adiposum hypodermis sowie mit aufsteigenden Ästen die tieferen Anteile der Haarfollikel, die Talgdrüsen und die Mm. arrectores pilorum. Im weiteren aufsteigenden Verlauf bilden diese Gefäße das zweite, **mittlere Gefäßnetz** der Haut. Dieses befindet sich in der Dermis im Bereich der Talgdrüsen und besitzt wiederum auf- und absteigende Äste. Die prominenteren absteigenden Gefäße stehen mit den Kapillarschlingen des subdermalen Plexus in Verbindung und speisen weitere Anteile der Haarfollikel, Talgdrüsen und Mm. arrectores pilorum. Die aufsteigenden Anteile des kutanen Plexus versorgen die Schweißdrüsen sowie die proximalen Haarschäfte. Ein **oberflächliches Gefäßnetz** befindet sich im proximalen Teil des Stratum papillare. Von diesem Plexus werden Kapillarschlingen geformt, die das Stratum papillare selbst sowie die Epidermiszapfen mit Blut versorgen (KRISTENSEN 1975, HUGHES 1960, PALVETIC 1991).

Betrachtet man den arteriellen Zufluss zu den genannten Plexus, so gibt es bei Mensch und Schwein muskulokutane und direkte kutane Arterien. Direkte kutane Arterien verlaufen parallel zur Haut, geben vereinzelt Äste an die unterlagerte Muskulatur ab und versorgen ein größeres Hautgebiet als die muskulokutanen Arterien, deren Aufgabe in erster Linie darin besteht, die Muskulatur zu versorgen. Da beim Hund alle Arterien parallel zur Haut verlaufen, werden die zufließenden Arterien als direkte kutane Arterien bezeichnet (PALVETIC 1991).

Arteriövenöse Anastomosen existieren in großer Zahl in allen Regionen der Haut und übernehmen die Aufgabe der Thermoregulation (AFFOLTER u. MOORE 1994).

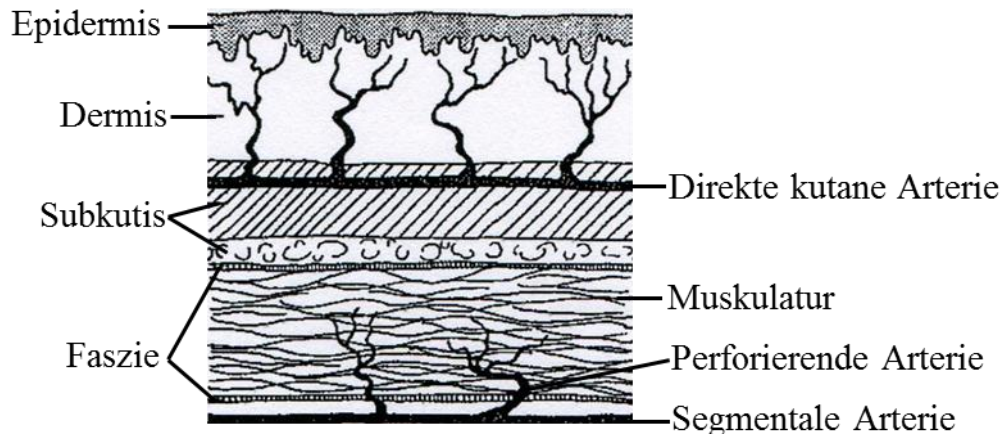


Abb. 2.2 Arterien der Haut, Hund (modifiziert nach PALVETIC 1980)

2.1.1.5 Die Rezeptoren der Haut des Hundes

Da die Haut als äußere Körperhülle der Umwelt direkt ausgesetzt ist, muss sie in der Lage sein, eine Vielzahl von Reizen aufzunehmen und weiterzuleiten. Hierfür besitzt sie neben freien Nervenendigungen als einfachste Form von Rezeptoren für die Nozizeption auch diverse spezialisierte Endorgane.

Für die *Temperaturwahrnehmung* sind in der Haut zwei Rezeptorarten vorhanden, die einerseits einen Temperaturabfall, andererseits steigende Temperaturen registrieren können. Die **Kälterezeptoren** führen ihre Reize über unmyelinisierte C-Fasern sowie myelinisierte A δ -Fasern in Richtung Rückenmark. Die Endigungen stellen jeweils ein kleines myelinisiertes A δ -Axon in Form einer Invagination im Stratum basale der Epidermis dar (HENSEL et al. 1974). **Steigende Temperaturen** werden ebenfalls über C- und A δ -Fasern zentripetal geleitet, ein morphologisches Korrelat einer spezialisierten Nervenendigung wurde bisher jedoch nicht beschrieben. Interessanterweise führen Temperaturen über 45°C bei diesen Kälterezeptoren zu einer sogenannten „paradoxen“ Erregung (DODT u. ZOTTERMAN 1952).

Es lassen sich grundsätzlich vier Hauptarten von *Mechanorezeptoren* in der Haut unterscheiden. Druck und hochfrequente Vibrationen werden von **Vater-Pacini-Lamellenkörperchen** aufgenommen und über A β -Fasern weitergeleitet. Sie sind mit 4-mm-Größe mit bloßem Auge sichtbar und liegen in tieferen Schichten der Hypodermis (LIEBICH 2009). **Meißner-Tastkörperchen** sind schnell adaptierende Rezeptoren für Berührungsreize, sie befinden sich subepidermal im Stratum papillare dermidis (LIEBICH 2009). Die Axone dieser Endkörperchen können je nach Unterklasse A β -, A δ - oder B-Fasern darstellen (JÄNIG et al. 1972, DORNETTE 1975). Mechanorezeptoren mit unmyelinisierten C-Faseraxonen liegen in Form von **Ruffini-Körperchen** und **Merkel-Tastzellen** vor. Ruffini-Körperchen liegen bevorzugt in der Subkutis, aber auch entlang dermalen Gefäße und

antworten vor allem auf Dehnungsreize der Haut (CHAMBERS et al. 1972). Eine Rolle bei Kälte- und Schmerzwahrnehmungen wird jedoch diskutiert (LIEBICH 2009). Merkel-Tastzellen sind modifizierte freie Nervenendigungen und liegen vor allem im Stratum basale der Epidermis. Sie antworten auf stärkere Druckveränderungen (IGGO u. MUIR 1969, JÄNIG et al. 1972).

Ein zusätzlicher Mechanorezeptor mit einer C-Faserafferenz und einer freien Nervenendigung wird von einigen Autoren diskutiert. Dieser Rezeptor soll äußerst empfindlich auf sehr langsam stattfindende Deformationen der Hautoberfläche reagieren (LEEM et al. 1993, BIRDER u. PERL 1994).

Die *Schmerzwahrnehmung* der Haut wird über zwei Arten von Rezeptorklassen mit einigen Untertypen beantwortet. Der Begriff des Nozizeptors wurde erstmals von SHERRINGTON (1903) geprägt. Er klassifizierte solche Reize, die in der Lage sind, Gewebe zu schädigen, als „noxious“ und daher Schmerzrezeptoren als „noci-ceptors“. Alle Nozizeptorklassen sind bis in die lebenden Zellschichten der Epidermis zu finden. Rezeptoren mit einem hohen Schwellenwert und angeschlossenen A δ -Fasern vermitteln einen schnell einsetzenden, gut lokalisierbaren und oft brennenden Schmerz (SALOMON et al. 2008). Die Endigung dieser A δ -Nozizeptoren stellt eine von einer Schwannzelle eingehüllte Erweiterung einer A δ -Faser dar, die jedoch distal ihre Myelinschicht verloren hat (KRUGER et al. 1981). Auf der anderen Seite existieren sogenannte **polymodale Rezeptoren** in der Haut (LAWSON 1996). Die Reaktion dieser Rezeptoren kann durch intensive mechanische und thermische Reize oberhalb oder unterhalb der Schmerzschwelle, aber auch durch irritierende Substanzen erfolgen (BESSOU u. PERL 1969, SZOLCSANYI 1988). Der Reiz wird durch langsam leitende C-Fasern vermittelt. Durch die Freisetzung von vasoaktiven Substanzen sind die polymodalen Rezeptoren auch für die Hyperalgesie und Rötung sowie den Juckreiz bei verschiedenen Erkrankungen der Haut verantwortlich (TUCKETT u. WEI 1987). Eine weitere Eigenschaft der polymodalen Rezeptoren ist die Möglichkeit der Sensibilisierung (BESSOU u. PERL 1969).

Tab. 2.1 Die Rezeptoren der Haut

Rezeptorklasse	Wahrnehmung	Faserklasse	Endigung
Thermorezeptoren	Kälte	A δ C	Freie Nervenendigung
	Wärme	A δ C	Freie Nervenendigung
Mechanorezeptoren	Hochfrequente Vibration	A β	Vater-Pacini-Lamellenkörperchen
	Berührung	A β A δ B	Meißner-Tastkörperchen
	Dehnung	C	Ruffini-Körperchen
	Stärkere Druckveränderungen	C	Merkel-Tastzellen
	Langs. Deformation	C	Freie Nervenendigung
Nozizeptoren	Scharfer, gut lokalisierbarer Schmerz	A δ	Mod. freie Nervenendigung
	Polymodal Dumpfer, verzögerter Schmerz	C	Freie Nervenendigung

2.1.2 Faszienverhältnisse im Rückenbereich des Hundes

Die Faszien des Rumpfes gliedern sich bei allen Säugetieren in eine äußere und eine innere Körperfaszie.

Die **Fascia trunci superficialis** stellt das *oberflächliche Blatt der äußeren Rumpffaszie (Fascia externa)* dar. Sie ist bei den Fleischfressern relativ dünn und eng mit der äußeren Haut verbunden. In einigen Lehrbüchern wird die Fascia superficialis mit zwei Blättern beschrieben, die den Hautmuskel umhüllen (REESE et al. 2012). Das *tiefe Blatt der äußeren Rumpffaszie, Fascia trunci profunda*, bildet im Dorsalbereich die kräftige **Fascia thoracolumbalis**. Da beim Hund bisweilen große Mengen an Fettgewebe zwischen beide Blätter der äußeren Körperfaszie eingelagert sind, wird eine enorme aktive und passive Verschieblichkeit der Haut gewährleistet. Die Fascia thoracolumbalis kann beim Hund in drei Blätter unterteilt werden, zwischen denen mitunter große Fettpolster angelegt sein können (SALOMON et al. 2008).

Die *innere Körperfaszie* oder **Fascia interna** kleidet die Körperhöhlen von innen aus und verschmilzt in der Bauchhöhle zu großen Teilen mit dem Peritoneum.

Die Körperfaszieren werden in segmentalen Abschnitten von Gefäß-Nerven-Bündeln durchbrochen, die in Richtung Körperoberfläche ziehen. An diesen Durchtrittsstellen weichen die sich überkreuzenden kollagenen Faserbündel auseinander und ordnen sich hinter dem Gefäß-Nerven-Bündel wieder in

ihrem Fasernetzwerk ein (LANG 1962). Auch SCHALLER (1956) beschrieb bei seinen Untersuchungen zur Innervation der Haut am Rumpf des Rindes Bereiche unter der Haut, an denen sensible Hautnerven die oberflächliche Körperfaszie durchbrechen.

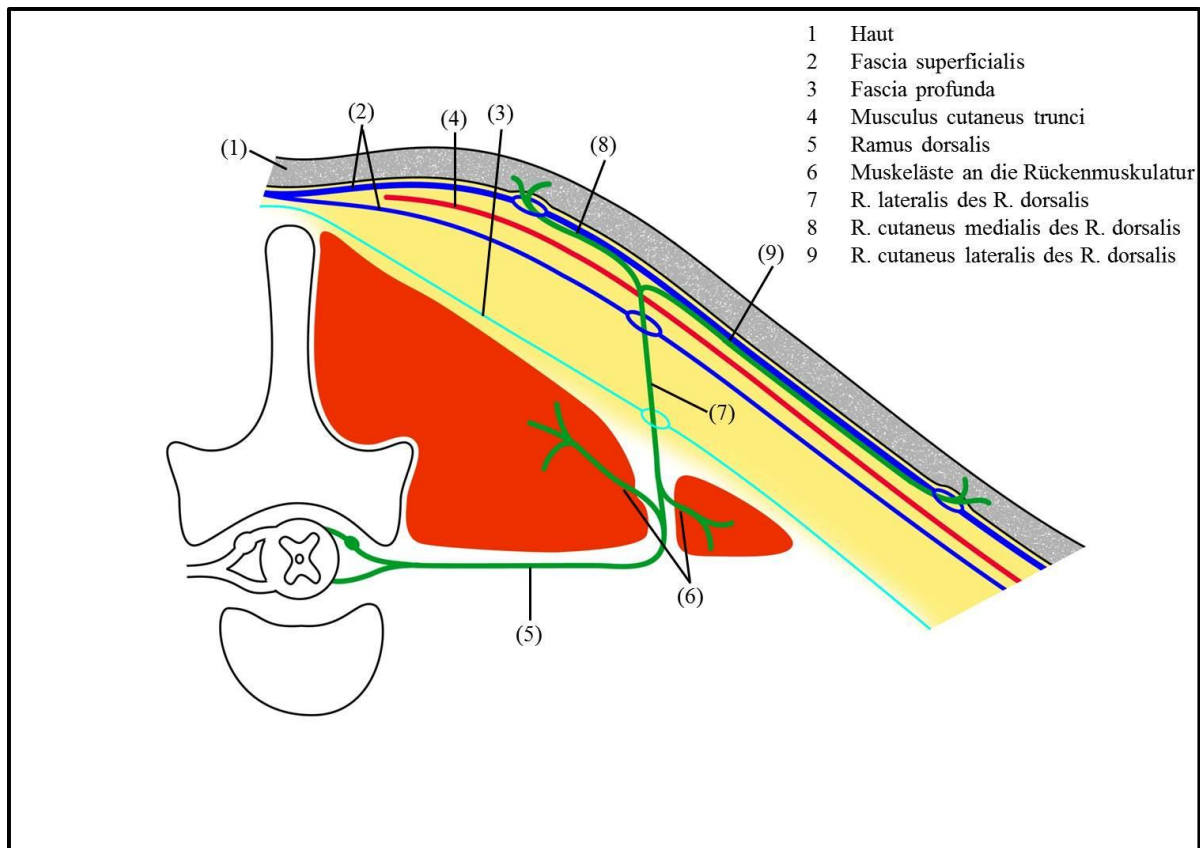


Abb. 2.3 Querschnitt durch die Regio lumbalis des Hundes, schematisch

2.1.3 Die Rückenmuskulatur des Hundes im Lumbalbereich

Da sich die vorliegende Arbeit mit der makroskopischen Anatomie des Lendenbereiches des Hundes beschäftigt, soll im Folgenden kurz auf die Muskulatur eingegangen werden.

Der **Musculus latissimus dorsi** hat seinen Ursprung beim Hund im oberflächlichen Blatt der Fascia thoracolumbalis, die ihrerseits an den Dornfortsätzen der Brust- und Lendenwirbel entspringt. Mit kranioventral konvergierendem Faserverlauf setzt er an der Crista tuberculi minoris des Humerus an. Der breite Rückenmuskel beteiligt sich bei fixierter Gliedmaße an der dorsalkonkaven Durchbiegung des Rückens (SEIFERLE u. FREWEIN 1996). Die Innervation des M. latissimus dorsi erfolgt durch den N. thoracodorsalis.

Die *langen Rückenmuskeln* setzen sich aus dem **Musculus longissimus lumborum** und dem **Musculus iliocostalis lumborum** zusammen. In der Systematik der NAV werden diese beiden Muskeln zum *Musculus erector spinae* zusammengefasst, da sie bei beidseitiger Kontraktion eine Streckung und Feststellung der Wirbelsäule zur Folge haben. Eine Seitwärtsbewegung der Wirbelsäule erfolgt durch einseitige Kontraktion dieser Muskeln. Der M. longissimus lumborum liegt überdeckt von der Fascia thoracolumbalis und entspringt am Darmbein und den Dornfortsätzen der Lendenwirbel. Mit kranioventralem Faserverlauf setzt er sich kopfwärts in den M. longissimus thoracis fort (SCHALLER 2007). Kleine, nach medial abzweigende Muskelzacken inserieren an den Processus accessorii der Lendenwirbel (SALOMON et al. 2008). Lateral des M. longissimus lumborum befindet sich der M. iliocostalis lumborum. Dieser bei Fleischfressern und Wiederkäuern selbständige Muskel entspringt am Darmbeinflügel und den Querfortsätzen der Lendenwirbel und geht mit einem kraniolateralen und ventralen Faserverlauf in den M. iliocostalis thoracis über (SALOMON et al. 2008).

Zu den *kurzen Rückenmuskeln* werden die **Mm. multifidi, interspinales** und **intertransversarii** gerechnet. Ihre Funktion besteht in der Aufrichtung, Seitwärtsbiegung sowie Drehung der Wirbelsäule, insbesondere können Feinbewegungen mit diesen Muskeln abgestimmt werden. Die Mm. multifidi entspringen an den Procc. mammillares, transversi und articulares der Wirbel und ziehen an die Dornfortsätze der weiter kranial gelegenen Wirbel. In ihrem Verlauf werden zwei bis fünf Wirbel übersprungen. Zwischen den Dornfortsätzen der kaudalen Halswirbel, der gesamten Brustwirbelsäule und den kranialen Lendenwirbeln verlaufen die Mm. interspinales (SALOMON et al. 2008). Die Mm. intertransversarii stellen nicht immer gut voneinander isolierbare Muskelbündel dar, die zwischen den Procc. transversi der einzelnen Wirbel und zwischen den Procc. mammillares und den Querfortsätzen verlaufen (SEIFERLE u. FREWEIN 1996).

Die Innervation aller langen und kurzen Rückenmuskeln wird über die jeweiligen Dorsaläste der Spinalnerven gewährleistet (siehe Kap. 2.1.4).

2.1.4 Die Rami dorsales der Nervi lumbales, ihre Verzweigung und das Innervationsgebiet

Um die Innervation der dorsalen Körperpartien im Detail zu verstehen, ist es erforderlich, sich mit der Verzweigung der Rami dorsales (Rr. dorsales) der Spinalnerven auseinanderzusetzen.

Die Rr. dorsales übernehmen die Innervation der epaxialen Muskulatur und Hautpartien des Körpers. Die Abzweigung des Ramus dorsalis vom jeweiligen Spinalnerven erfolgt unmittelbar nach Austritt desselben aus dem Foramen intervertebrale. Die weitere Aufzweigung der Rr. dorsales betreffend gibt es unterschiedliche Ansichten. Die gängige Lehrmeinung der veterinärmedizinischen Lehrbücher beschreibt die Verzweigung des Ramus dorsalis in zwei Hauptäste (PEDERSON et al. 1956,

SALOMON et al. 2008). Ein Ramus medialis wird zur Innervation der kurzen Rückenmuskulatur abgegeben. Die Innervation der langen Rückenmuskeln und der Haut übernimmt der Ramus lateralis. Dieser teilt sich nach Durchtritt durch die Fascia superficialis in einen Ramus cutaneus medialis zur sensiblen Innervation der Haut dorsal der epaxialen Stammuskulatur und in einen Ramus cutaneus lateralis, der die Haut ventral bis etwa zur Mitte der Rumpfes innerviert (BAILEY et al. 1984, SALOMON et al. 2008, KÖNIG u. LIEBICH 2011).

BOGDUK (1976) untersuchte die Aufzweigung der Rr. dorsales bei der Katze und fand erstmalig heraus, dass sich die Mehrzahl der Rami dorsales im lumbosakralen Bereich nicht in zwei sondern in drei Hauptäste aufspaltet. Er bezeichnete die drei Äste als lateralen, intermediären und medialen Ast. Seither hat sich eine Vielzahl von Arbeitsgruppen ebenfalls mit der Präparation der Rr. dorsales auseinandergesetzt. Die von BOGDUK (1976) beschriebene Dreiteilung der Dorsaläste wurde für die Ziege und den Delphin (NOMIZO et al. 2005) sowie den Menschen (BOGDUK et al. 1982, NOMIZO et al. 2005, STEINKE et al. 2009) bestätigt. Tabelle 2.2 zeigt das Innervationsgebiet dieser drei Nervenäste.

Tab. 2.2 Innervationsmuster der Rr. dorsales bei einer Dreiteilung bei der Katze (nach BOGDUK 1976)

R. dorsalis	Muskulatur	Haut
Ramus lateralis	M. iliocostalis lumborum	+ / (-)
Ramus intermedius	M. longissimus lumborum	-
Ramus medialis	Kurze Rückenmuskeln, Facettengelenke	-

Lediglich FORSYTHE und GHOSHAL (1984) stellten in ihren Präparationen beim Hund lediglich eine Zweiteilung der Rr. dorsales in einen medialen und einen lateralen Ast fest.

Eine detaillierte Präparation der Rr. dorsales unter besonderer Berücksichtigung der Hautinnervation wurde bisher nur spärlich durchgeführt. So haben sich SCHALLER (1956) und ARNOLD und KITCHELL (1957) mit der Innervation des Rumpfes beim Rind und BAILEY et al. (1984) mit der Hautinnervation des Thorax und Abdomen beim Hund beschäftigt. In ihren Untersuchungen stellten BAILEY et al. (1984) fest, dass bestimmte Rr. dorsales keinen Hautast aufwiesen. So fehlten Hautäste aus den Segmenten C1, C7, Th1 sowie L4-L7. In diesen Untersuchungen fand eine Innervation der Abdominalregion durch Spinalnerven bei allen untersuchten Hunden aus den Segmenten Th12 bis L3 (gelegentlich L4) statt. Makroskopisch-anatomische Betrachtungen der Hautinnervation des Rückens bei Mensch und Tier im Hinblick auf neuraltherapeutische Methoden fehlen in der Literatur gänzlich.

2.2 Die segmentale Innervation der Haut und der Muskulatur

Der segmentalen Innervation des Körpers liegt die embryonale Einteilung in Metamere zugrunde. Jedes dieser Metamere besteht aus einem zentralnervösen Abschnitt (Neurotom), einem Skelettabschnitt (Sklerotom), einem muskulären Abschnitt (Myotom) sowie einem Hautabschnitt (Dermatom) (EDINGER 1904, VAN RIJNBERK u. TEN CATE 1933). Des Weiteren gehören zu jedem spinalen Segment die sympathischen Nervenfasern, welche die Eingeweide innervieren. Dieser Teil wird auch als Viszerotom bezeichnet. Durch das unterschiedliche Längenwachstum speziell der Extremitäten ist im adulten Organismus das segmentale Bauprinzip am ehesten noch am Rumpf erhalten geblieben.

Auf der Suche nach „westlichen“ Erklärungsansätzen zur Akupunktur haben sich besonders in den letzten zwei Jahrzehnten einige Arbeitsgruppen mit der Segmentanatomie in Bezug auf die Akupunktur auseinandergesetzt. Die erste Arbeit, die sich mit der Akupunktur und der Segmentanatomie beschäftigte, stammt von WANCURA und KÖNIG (1974). Sie stellen den segmentalen Körperaufbau als den entscheidenden Schlüsselpunkt für die Belegbarkeit der Akupunktur heraus. Ebenso weist MACDONALD bereits 1983 darauf hin, dass es für einen Akupunkteur von großer Wichtigkeit ist, genaues Wissen über die segmentalen Verschaltungen des Körpers zu haben. Den wohl bedeutendsten Beitrag zur Erklärung der Akupunktur, Neuraltherapie und Manualtherapie im Hinblick auf die Segmentanatomie leistete WANCURA-KAMPIK im Jahr 2010. Die Autorin betont in ihrem Buch unter anderem, dass die angestellten Untersuchungen zur Wirksamkeit der sogenannten Sham-Akupunktur (d.h. das Einstechen von Akupunkturnadeln in ein dem Akupunkturpunkt benachbartes Hautareal) simpel damit erklärt werden können, dass bei der Nadelung das entsprechende Rückenmarkssegment erreicht wird (siehe auch Kap. 2.6.1). Das Wissen aus der Segmentlehre wird gewiss nicht jedes Detail der Akupunkturwirkung erklären können, hilft aber, das Wirkprinzip der unterschiedlichen neuraltherapeutischen Methoden mit wissenschaftlich fundierten Hintergründen zu belegen und im Sinne evidenzbasierter Medizin zu erklären (SANDNER-KIESLING 2009).

2.2.1 Die pränatale Entwicklung der sensiblen Anteile der Nervi spinales

Für den sich entwickelnden Embryo ist es bereits in sehr frühen Stadien essentiell, auf taktile Reize von außen reagieren zu können (WANG et al. 2012). Aus diesem Grund erreichen sensible Nerven die Dermis der Fingerspitzen des menschlichen Embryos bereits ab der siebten Woche post conceptionem (MOORE u. MUNGER 1989). Die sensiblen Axone wachsen ausgehend vom bereits vorhandenen Spinalganglion einerseits in Richtung Neuralrohr, also zentripetal. Andererseits müssen sie oft sehr lange Strecken in ihrem zentrifugalen Wachstum zurücklegen, um das periphere Zielgebiet Haut zu erreichen. Bis heute sind die genauen molekularen Mechanismen für das zielgerichtete Nervenfaserverwachstum noch nicht vollständig aufgeklärt (DICKSON 2002). Das sich entwickelnde

Axon besitzt an seinem Ende eine kleine Auftreibung, den sogenannten Wachstumskegel (HUBER et al. 2003, LARRIVEE et al. 2009, RAJASEKHARAN u. KENNEDY 2009). Auf dessen Oberfläche wird eine Vielzahl von Rezeptoren exprimiert, die mit einer Reihe von Signalmolekülen zu kommunizieren vermögen und somit das gerichtete Wachstum der Nervenfasern bewirken. Bis heute sind vier Hauptgruppen von Signalmolekülen bekannt, dies sind die Gruppen der *Netrine*, *Semaphorine*, *Ephrine* sowie der *Slits* (CARMELIET u. TESSIER-LAVIGNE 2005, LARRIVEE et al. 2009, HANCOCK et al. 2011). Diese Wachstumsfaktoren können auf die Nervenfasern anziehend oder abstoßend wirken. Dabei können die Moleküle entweder einen der beiden oder aber beide Effekte auf das Zielgewebe haben. In den meisten Fällen ist die Reaktion der sich entwickelnden Axone jedoch von dem gerade auf ihrem Wachstumskegel exprimierten Rezeptor abhängig (DICKSON 2002, LARRIVEE et al. 2009, RAJASEKHARAN u. KENNEDY 2009). Die Signalwege des Nervenwachstums können in zwei Gruppen eingeteilt werden. Es gibt lokale Wachstumsreize, die als sog. *short-range* Signalwege bezeichnet werden. Die Expression der Faktoren über den lokalen Signalweg erfolgt dabei zellmembranassoziiert (TESSIER-LAVIGNE u. GOODMAN 1996, RAJASEKHARAN u. KENNEDY 2009). Andererseits sind beispielsweise Zellen der Dermis in der Lage, Wachstumsfaktoren zu sezernieren, die über lange Strecken auf die Axone wirken. In diesem Fall spricht man von sog. *long-range* Signalwegen (CARMELIET u. TESSIER-LAVIGNE 2005, LARRIVEE et al. 2009, RAJASEKHARAN u. KENNEDY 2009). Der Stimulus für das gerichtete Wachstum über lange Strecken wird stets über Konzentrationsgradienten des Signalmoleküls gegeben, an dem entlang das Wachstum stattfindet (CUI u. YUAN 2007). Um fehlerhaftes Auswachsen der Nerven zu vermeiden, wird bei den *long-range* Signalwegen die zurückzulegende Strecke in kleinste Etappen eingeteilt (TESSIER-LAVIGNE u. GOODMAN 1996, CARMELIET u. TESSIER-LAVIGNE 2005). So werden in Abständen von einigen hundert Mikrometern Wachstumsfaktoren von den entsprechenden Zellen sezerniert, welche die Axone anlocken. Haben die Nervenfasern diese Zellen erreicht, so wirkt das bis dahin anziehende Molekül nun abstoßend, damit das Wachstum nicht persistiert, sondern gerichtet fortgeführt werden kann (TESSIER-LAVIGNE u. GOODMAN 1996, CARMELIET u. TESSIER-LAVIGNE 2005, LARRIVEE et al. 2009). Hierfür muss der Wachstumskegel in der Lage sein, in kurzen Abständen alternierend auf anziehende und abstoßende Moleküle zu reagieren, wofür ein häufiger Wechsel der Rezeptorexpression auf der Oberfläche stattfinden muss (CUI u. YUAN 2007).

Bisher ist noch nicht sicher bekannt, was der eigentlich primäre Stimulus für die Expression von nervalen Wachstumsfaktoren, insbesondere für sensible Nerven, ist. Da die Nerven in Richtung Körperoberfläche bis in weite Teile gemeinsam mit zumeist einer Arterie und einer Vene in einem Gefäß-Nerven-Bündel verlaufen, geht man davon aus, dass die Angiogenese und Neurogenese embryonal eng zusammenhängen (AUTIERO et al. 2005, LARRIVEE et al. 2009). So benutzen Neurone und Gefäße häufig dieselben Botenstoffe und verwandte Rezeptorklassen für ihre Migration

(FANTIN et al. 2009, LARRIVEE et al. 2009). Des Weiteren findet die Entwicklung der sensiblen Nervenfasern und der Gefäße annähernd parallel statt (CARMELIET u. TESSIER-LAVIGNE 2005). Axone selbst sind außerdem in der Lage, Moleküle zu exprimieren, die in Wechselwirkung mit anderen Axonen treten können (TESSIER-LAVIGNE u. GOODMAN 1996). Eine wichtige Schlüsselrolle für die embryonale Entwicklung der sensiblen Nerven scheint das Ektoderm zu spielen. Nach O'BRIEN et al. (2012) finden die Entwicklung der sensiblen Axone und der Haut parallel statt. Entfernt man das Ektoderm jedoch, so wachsen die sensiblen Nervenfasern überhaupt nicht bis in die Haut oder das Wachstum wird fehlgeleitet (MARTIN et al. 1989, HONIG et al. 2004). In diesem Zusammenhang konnten WANG und SCOTT (1999) feststellen, dass die sensiblen Neurone in ihrer Entwicklung fehleranfälliger sind, als beispielsweise die Motoneurone. Die segmentale Herkunft der Hautnerven kann unter bestimmten Umständen geringgradig variieren (HONIG u. RUTISHAUSER 1996, WANG u. SCOTT 1999).

2.2.2 Das Dermatome

Per definitionem ist ein Dermatome das Hautgebiet, das durch eine Spinalnervenwurzel versorgt wird (PSCHYREMBEL 2012). Die einzelnen Dermatome überlappen sich gegenseitig, besonders stark zeigt sich diese Überlappung am Rumpf. Die Verschiebung der Dermatome von annähernd transversal nach schräg kaudal wird in kaudaler Richtung größer, was mit der Kaudalverschiebung der Spinalnerven zu erklären ist (FLETCHER 1966). Die ersten Dermatomekarten wurden ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts z.B. von BOLK (1898), FOERSTER (1933) oder KEEGAN und GARRETT (1948) für den Menschen und von TÜRCK (1856) für den Hund angefertigt. Prinzipiell wurden von den Autoren der damaligen Zeit zwei verschiedene Erscheinungsformen der Dermatome unterschieden: Der sogenannte *Haymaker-Typ* von FOERSTER, der die Dermatome bandstreifenförmig darstellt und der sog. *Keegan-Typ*. Hier werden die Dermatome inselförmig dargestellt (NITTA et al. 1993). Die unterschiedlichen Formen gehen auf eine unterschiedliche Auffassung des embryonalen Auswachsens der Extremitäten zurück (NITTA et al. 1993). Die z.T. leicht variierende Dermatomeverteilung hängt unter anderem mit den unterschiedlichen Versuchsansätzen der Arbeitsgruppen zusammen (GREENBERG 2003, MAYOR 2008, DOWNS u. LAPORTE 2011).

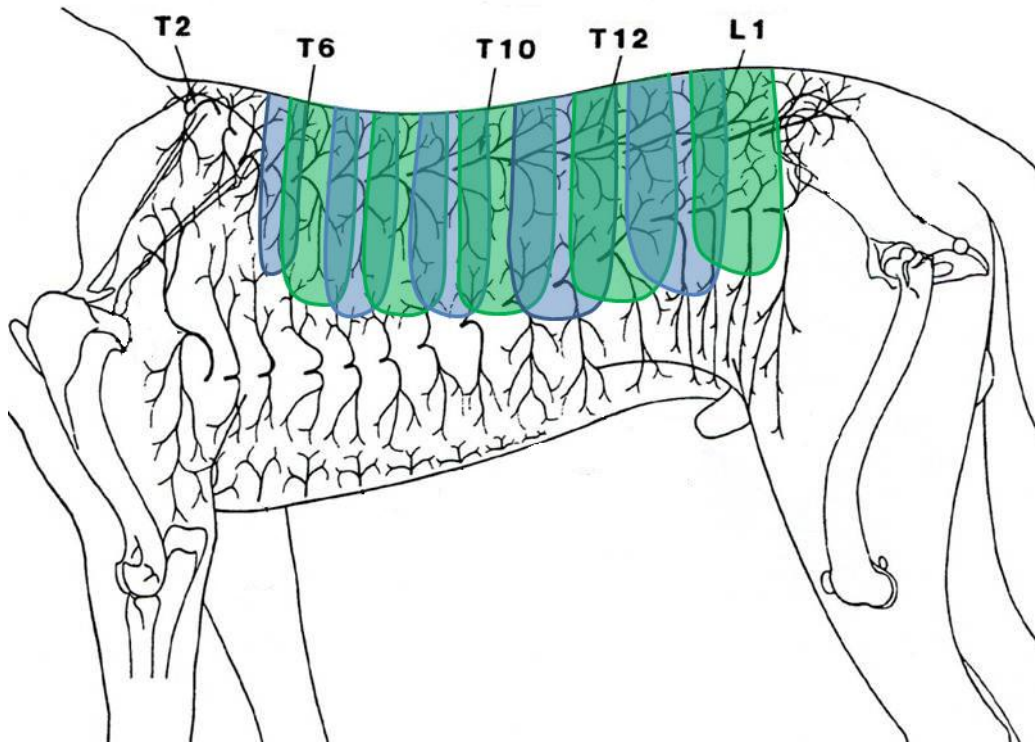


Abb. 2.4 Dermatomen der Rami dorsales des Hundes, schematisch (modifiziert nach BAILEY et al. 1984)

Im Hinblick auf die Akupunktur haben sich ZHANG und ZHU (1998) mit den Dermatomen nach FOERSTER auseinandergesetzt. Sie stellten fest, dass fast alle Akupunkturpunkte auf dem Überlappungsbereich zweier Dermatome liegen und folgerten daraus, dass bei einer Nadelung immer mindestens zwei Dermatome gereizt werden. Untersuchungen zur Übereinstimmung von Dermatomen, Myotomen und Viszerotomen zu den entsprechenden Zustimmungspunkten der Akupunktur ergaben, dass aufgrund zum Teil erheblicher individueller Variationen des Innervationsmusters keine reproduzierbare segmentale Korrespondenz zu Akupunkturpunkten zu finden ist (MAYOR 2008).

2.2.3 Das Myotom

Das Innervationsgebiet eines Spinalnerven(astes) innerhalb der Muskulatur wird als Myotom bezeichnet (SALOMON et al. 2008). Bei einer Störung der Innervation durch einen Spinalnerven kann der betreffende Muskel aufgrund seiner mindestens bisegmentalen Innervation trotzdem noch kontrahieren, lediglich die Kontraktionskraft verringert sich (MAYOR 2008). Gerade im Rückenbereich kann es aber durchaus vorkommen, dass segmental begrenzte Verhärtungen in der langen Muskulatur auf eine Schädigung des betreffenden Spinalnerven bzw. einer übertragenen Symptomatik im Sinne der *HEAD'schen Zonen* zurückzuführen sind.

2.2.4 HEAD und MACKENZIE Zonen, übertragener Schmerz

Die in der Veterinärmedizin erste und zugleich bekannteste Beschreibung einer **HEAD'schen Zone** wurde von KALCHSCHMIDT im Jahr 1954 vorgenommen. Die von ihm geschilderte Fremdkörperprobe bei traumatischer Retikuloperikarditis beim Rind beruht auf dem Prinzip, dass viszerale Afferenzen in dasselbe Rückenmarkssegment projizieren, wie die kutanen Afferenzen eines bestimmten Hautareals. Die eintreffenden Afferenzen aus den Organen werden auf Rückenmarksebene fehlinterpretiert und in die Peripherie geleitet. So reagieren die entsprechenden Hautareale mit einer Hypersensibilität meist noch bevor das betreffende Organ zugeordnet werden kann (HENKE u. BEISSNER 2011). Gleichzeitig wird an den Thalamus und den Cortex die Information geleitet, dass der Schmerzreiz aus der Peripherie stammt (VAN GELDEREN 1948). Im Gegensatz zu den Dermatomen überlagern sich die HEAD'schen Zonen nicht (ELZE 1961). Der Name *HEAD-Zone* beruht auf dem Erstbeschreiber solcher viszerokutanen Phänomene, Sir Henry HEAD (1893). Im englischsprachigen Raum ist jedoch der Begriff „referred pain“ gebräuchlicher, sodass man auch im Deutschen mehr und mehr von übertragenem Schmerz spricht (HENKE u. BEISSNER 2011). Innerhalb der kutanen Hyperalgesie-Zonen existiert stets ein von HEAD beschriebener Maximalpunkt, an dem der Patient einen erhöhten und manchmal innerhalb der HEAD'schen Zone auch einzigen Schmerz wahrnimmt (HENKE u. BEISSNER 2011).

Fast zeitgleich zu HEAD (1893) untersuchte der Physiologe Sir James MACKENZIE (1906) die gleichen Phänomene, jedoch auf etwas andere Weise. Zusätzlich beschrieb er eine Hyperalgesie oder –sensibilität in tieferen Schichten, namentlich der Muskulatur (DRUSCHKY 1950, HENKE u. BEISSNER 2011). Nach MACKENZIE (1906) erscheint bei einer Organalteration oft zunächst ein lokaler Spasmus der Muskulatur, ohne dass eine Hyperalgesie in der HEAD'schen Zone selbst auftritt. Häufig bleibt diese lokale Muskelverhärtung auch das einzige Symptom in der Körperperipherie. Im heutigen anatomischen Sprachgebrauch wird der Begriff der *MACKENZIE-Zone* oft ein wenig ungenau für eine Überempfindlichkeit nur der Muskulatur verwendet (SALOMON et al. 2008). Die Untersuchungen von MACKENZIE (1906) haben jedoch, wie bereits erwähnt, zusätzlich zu der Hypersensibilität der Haut wie bei HEAD beschrieben die Komponente Muskulatur herausgearbeitet.

Bezugnehmend auf neuraltherapeutische Verfahren im Zusammenhang mit übertragenem Schmerz findet man in der Literatur nur wenig. MATSUMOTO stellte 1972 fest, dass die meisten Akupunkturpunkte mit den HEAD'schen wie auch den MACKENZIE-Zonen korrespondieren. Weiterführend erarbeiteten WANCURA und KÖNIG (1974), dass die Mehrheit der sog. Alarm- und Zustimmungspunkte mit den Maximalpunkten nach HEAD übereinstimmt. In einer Publikation von 2011 bestätigten HENKE und BEISSNER eine große Übereinstimmung von Alarm- und Zustimmungspunkten der Akupunktur mit den HEAD'schen Maximalpunkten.

2.3 Die Neuraltherapie und verwandte Therapiemethoden

Die Neuraltherapie kann als eine Form der zur Schulmedizin komplementären Therapieverfahren angesehen werden. Als Begründer dieser Therapieform gilt der Humanmediziner Huneke, der erstmals in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts den Begriff der Neuraltherapie verwendete. Grundlegend bezeichnet diese Therapiemethode die Injektion kleiner Mengen eines Lokalanästhetikums in verschiedene Stellen des Körpers mit dem Ziel, insbesondere chronische Schmerzzustände zu beheben (FISCHER 2007, MERMOD et al. 2008). Eine weit verbreitete und auch in der Veterinärmedizin des Öfteren angewandte Methode der Neuraltherapie ist das Setzen kleiner intradermaler Flüssigkeitsdepots, das Quaddeln. Die Wirkung soll in diesem Fall sowohl lokal als auch segmental über das periphere sowie autonome Nervensystem vermittelt werden (FISCHER 2007). So soll mit einer Neuraltherapie einerseits der sympathisch efferente Schenkel und andererseits der sensorisch afferente Schenkel der Schmerzweiterleitung unterbrochen werden (MICHELS et al. 2011).

Neben der Neuraltherapie gibt es eine Vielzahl von Therapiemethoden, die ihrem postulierten Wirkprinzip nach eng mit der Neuraltherapie verwandt sind. So lassen sich prinzipiell alle segmental angewandten Therapietechniken, welche die Körperperipherie zu stimulieren vermögen, in den Bereich der neuraltherapeutischen Verfahren einordnen. Hierzu können somit im weitesten Sinne auch die Transkutane Elektrische Nerven Stimulation (TENS) sowie die Stimulation myofaszialer Triggerpunkte als Therapieverfahren der Schulmedizin aber auch Techniken aus der traditionellen Medizin wie beispielsweise die Akupressur und Akupunktur gezählt werden. Auch in der Veterinärmedizin besteht in den letzten zwei Jahrzehnten mehr und mehr Nachfrage nach zur Schulmedizin komplementären Therapiemethoden vor allem im Bereich der Schmerztherapie. Daher sind verschiedene neuraltherapeutische Verfahren, insbesondere das sogenannte Quaddeln und die Akupunktur heute Bestandteil des Leistungskataloges zahlreicher Tierarztpraxen.

2.4 Traditionelle Chinesische Medizin und Akupunktur

Die sogenannte Traditionelle Chinesische Medizin (TCM) umfasst eine Vielzahl von verschiedenen Techniken bei Mensch und Tier. Neben Herbalmedizin, verschiedenen Schröpf- und Massagetechniken stellen die Akupressur und die Akupunktur ein wichtiges Teilgebiet in der TCM dar. Besonders die Akupunktur hat in den letzten Jahrzehnten in großem Umfang Einzug in die westliche Medizin gefunden.

Die Übersetzung des aus dem Lateinischen stammenden Wortes Akupunktur bedeutet so viel wie „in einen Punkt stechen“ (acus = der Punkt, pungere = stechen).

Bei einer Akupunkturbehandlung werden sehr dünne Nadeln in einen sogenannten Akupunkturpunkt des Körpers eingestochen und entweder ohne weitere Stimulation zehn bis zwanzig Minuten dort

belassen oder auf verschiedene Arten stimuliert. Die häufigste und zugleich älteste aus der TCM bekannte Stimulationstechnik von Akupunkturpunkten ist die Moxibustion, bei der kleine Mengen von getrockneten Beifußfasern (*Artemisia vulgaris*) auf die eingestochenen Akupunkturnadeln gesteckt und anschließend angezündet werden.

In den letzten Jahrzehnten hat das Akupunkturverfahren eine Vielzahl von Abwandlungen erfahren. Hierzu zählen die Elektroakupunktur (EA) und die Laserakupunktur (LA). Bei der EA werden Körperbereiche über Stromimpulse stimuliert, die über die eingestochenen Akupunkturnadeln ins Gewebe übertragen werden. Man unterscheidet hierbei niederfrequente EA (mit Frequenzen ≤ 10 Hz) und hochfrequente EA (Frequenzen ≥ 100 Hz) (HAN u. TERENIUS 1982). Die LA verzichtet auf die eigentliche Nadelung, hier werden die Akupunkturpunkte mit stark gebündeltem Licht im roten oder nah-infraroten Spektralbereich stimuliert (STUX et al. 2008).

Eine erst in den siebziger Jahren in die Schulmedizin eingeführte Art der elektrischen Schmerztherapie stellt die Transkutane Elektrische Nerven Stimulation (TENS) dar. Hier werden oberflächlich auf die Haut aufgebrachte Elektroden mit Wechselstromimpulsen niedriger Frequenzen stimuliert (NNOAHAM u. KUMBANG 2008). Auch diese Methode kann im weitesten Sinne zu den neuraltherapeutischen Verfahren gezählt werden.

Durch die steigende Nachfrage nach Akupunktur-Therapien hat die Akupunktur besonders in den letzten Jahren viele weitere Variationen erfahren. So wird heute neben dem trockenen Nadeln auch die Injektion verschiedener Stoffe in Akupunkturpunkte angewandt. Bei der Injektion von Wasser spricht man von Aquakupunktur, die sogenannte Pharmakupunktur bezeichnet das Einspritzen von verschiedenen Substanzen, z.B. Vitaminen, steriler Kochsalzlösung oder Anästhetika in bestimmte Hautpunkte. Durch die Injektion eines von Wasser oder eines Pharmakons in den Akupunkturpunkt soll eine länger anhaltende stimulierende Wirkung erzielt werden. Diese Formen der Akupunktur können mit dem Quaddeln gleichgesetzt werden.

2.4.1 Zur Geschichte der Akupunktur

Die genaue Rückdatierung der Anfänge der Human- und Veterinärakupunktur ist schwer möglich. Für die Humanakupunktur werden zumeist Angaben von 3000 (JOECHLE 1978), 5000 (JAGGAR 1992) bis hin zu 8000 (XIE u. PREAST 2007) Jahren gemacht. Es gibt jedoch keinerlei schriftliche Nachweise über die Anwendung von Akupunktur aus dieser Zeit, sodass ein so hohes Alter eher nicht zu vermuten ist (KIENITZ 2011). Vielmehr deuten archäologische Nadelfunde darauf hin, dass diese Nadeln, wie damals üblich, für einen Aderlass verwendet wurden (KIENITZ 2011). Obwohl viele Veterinärakupunkteure die Anfänge der Tierakupunktur mit denen der Humanakupunktur gleichsetzen (z.B. JAGGAR 1992), kann KIENITZ (2011) diese direkten Zusammenhänge aus überlieferten Texten nicht nachweisen. Der Gebrauch der Akupunktur beim Menschen wird erstmals im sogenannten

Huangdi Neijing (Buch des gelben Kaisers, 200 v.Chr. bis 200 n.Chr.) erwähnt, während erste gesicherte schriftliche Belege für die Anwendung der Veterinärakupunktur beim Pferd erst in der Bibliographie der Sui-Zeit 581 bis 618 n.Chr. existieren (KIENITZ 2011).

Die Akzeptanz der Akupunktur in der westlichen Welt variierte in den letzten Jahrhunderten stark und war abhängig vom gerade herrschenden Denkstil. So war sie zu Zeiten von Franz Anton Mesmer (18./19. Jh.) als Teil der konventionellen Medizin sehr populär, wohingegen sie mit Aufkommen der Zellulärpathologie durch Virchow fast komplett aus der Medizin verbannt wurde. Erst etwa ab Mitte des 20. Jahrhunderts gewann die Akupunktur durch die auch im westlichen Raum beginnenden ganzheitlichen Denkansätze zunehmend an Bedeutung (SANDNER-KIESLING 2009).

2.4.2 Der Akupunkturpunkt

In der TCM gilt es als essentiell, bei einer Akupunkturtherapie exakt den für die Indikation ausgewählten Akupunkturpunkt zu treffen, da nach traditioneller Ansicht nur in diesen Fällen ein positiver Einfluss auf die Lebensenergie „Qi“ ausgeübt werden kann (BIRCH 2003). In diesem Zusammenhang stellt sich immer wieder die Frage, wie ein Akupunkturpunkt wissenschaftlich definiert werden kann und ob er überhaupt reproduzierbar genau zu lokalisieren ist.

2.4.2.1 Definition Akupunkturpunkt

Nach der Definition von MANN (1973) ist ein Akupunkturpunkt ein Hautareal erhöhter Sensibilität. Diese gesteigerte Sensibilität tritt mit Beginn der Krankheitssymptome auf und verschwindet mit dem Abklingen der Symptome wieder. Die Punkte können entweder spontan schmerzhaft sein oder nur durch genaue Palpation anhand einer Druckempfindlichkeit aufgefunden werden. Palpatorisch erscheinen die Akupunkturpunkte als kleine subkutane Vertiefungen oder auch kleine Schwellungen, können aber auch als Verhärtungen innerhalb eines Muskels ertastbar sein (MANN 1973).

Einige Autoren vertreten den Standpunkt, dass sich die Akupunkturpunkte durch einen deutlich verminderten messbaren Hautwiderstand im Vergleich zu direkt benachbarten Hautbezirken auszeichnen (BOSSY 1973, COLBERT et al. 2008, AHN et al. 2010). Andere bestreiten diese Hypothese und stellen fest, dass veränderte elektrische Phänomene in keiner Weise mit den Akupunkturpunkten, sondern beispielsweise mit der Anhäufung von Schweißdrüsen oder dem Verlauf oberflächlicher Blutgefäße in einem bestimmten Hautabschnitt in Verbindung stehen (PEARSON et al. 2007, KRAMER et al. 2009) (Zu den elektrischen Charakteristika siehe Kap. 2.4.2.5).

Die Größe der Akupunkturpunkte variiert einerseits je nach Spezies, sie ist aber auch innerhalb eines Individuums von der Lokalisation auf der Körperoberfläche abhängig. Für den Menschen werden beispielsweise je nach Lage am Körper Durchmesser von einem bis fünf Millimetern für Akupunkturpunkte angegeben (BOSSY 1984).

Viele Akupunkturpunkte können anhand prominenter anatomischer Strukturen leicht aufgefunden werden. So liegen zum Beispiel Akupunkturpunkte in der Vertiefung zwischen zwei Muskeln, in unmittelbarer Nähe von Knochenvorsprüngen, aber auch oft direkt über dem Verlauf eines peripheren Nerven (GUNN et al. 1976).

2.4.2.2 Zum Begriff der Meridiane

Laut traditioneller Auffassung befinden sich die meisten Akupunkturpunkte auf Meridianen oder Leitungsbahnen. Dies sind Linien auf der Körperoberfläche, die zumeist vom Kopf in longitudinaler Richtung bis zum Körperende verlaufen und auch an den Extremitäten von proximal nach distal zu finden sind (STUX et al. 2008).

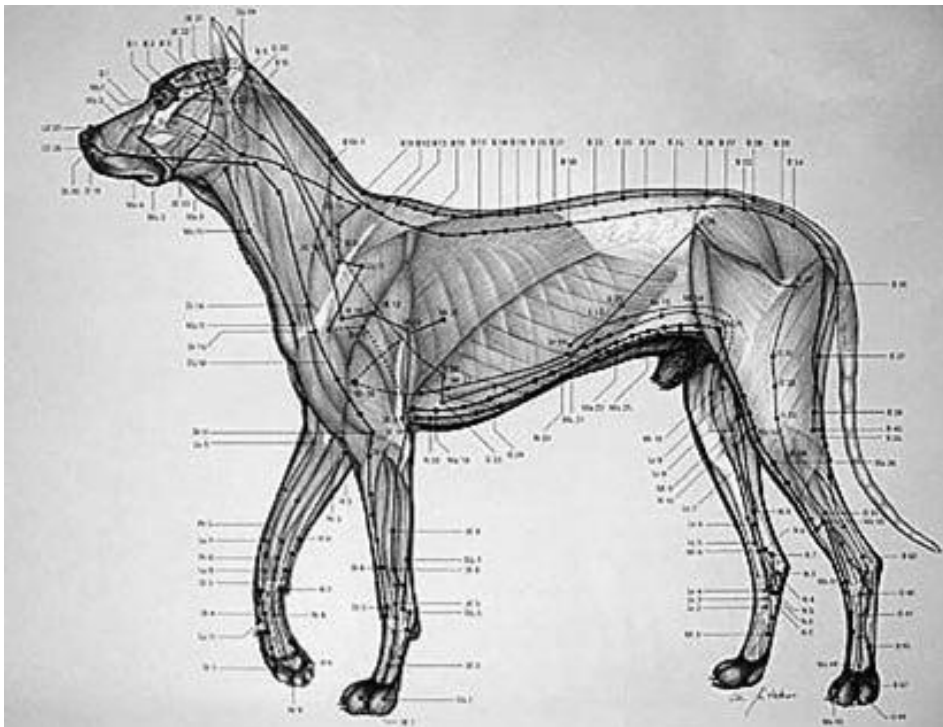


Abb. 2.5 Beispiel einer Meridiankarte des Hundes
(Quelle: <http://www.que.at/html/kleintiere/allgemeines/akupunktur.html>)

Die Theorie der TCM fußt auf drei wesentlichen Bestandteilen: dem Energiefluss „Qi“, der innerhalb der Meridiane verläuft sowie den gegensätzlichen Kräften „Yin“ und „Yang“. Ist das Gleichgewicht von Yin und Yang gestört, resultiert ein veränderter Fluss des „Qi“ und der Organismus erkrankt (PERLOW 1973).

Die meisten Meridiane sind in der TCM einem bestimmten inneren Organ oder Organsystem zugeteilt. Es gibt sechs Yin-Meridiane zugehörig zu den Organen Lunge, Milz, Herz, Niere, Perikard und Leber und sechs Yang-Meridiane, namentlich Magen, Dünndarm, Dickdarm, Blase, Gallenblase und der sog.

Dreifacherwärmer. Neben diesen zwölf Leitungsbahnen existieren des Weiteren sogenannte *Außerordentliche Gefäße*, zum Beispiel das Konzeptions- sowie das Lenkergefäß, die in der Medianebene des Körpers verlaufen. Einige Akupunkturpunkte auf diesen Leitungsbahnen sollen in der chinesischen Medizin von besonderer therapeutischer Bedeutung sein (STUX et al. 2008).

Aus sinologischer Sicht eignet sich der Begriff „Meridian“ eher schlecht dazu, die chinesischen Schriftzeichen adäquat zu übersetzen. Inhaltlich beziehen diese Schriftzeichen sich nämlich auf Wasserläufe bzw. Bewässerungssysteme und wären daher korrekter mit Begriffen wie „Akupunkturgefäße“ oder „Leit(ungs)bahnen“ zu übersetzen. Im englischen Sprachgebrauch werden richtigerweise Worte wie „channels“ oder „vessels“ herangezogen (KIENITZ 2011).

Die Frage nach der Existenz eines morphologischen Substrates für die Meridiane ist aus wissenschaftlicher Sicht zu verneinen. Ausführlich setzt sich die Dissertation von KIENITZ (2011) mit dem Meridianbegriff auseinander. Die auf der Akupunktur fußenden Theorien der TCM sind nach KIENITZ (2011) ein Ergebnis historisch und soziokultureller Umstände zwischen ca. 500 v.Chr. und 200 n.Chr. Diese Grundsätze wurden in den nächsten 1700 Jahren auch nie in Frage gestellt. KIENITZ (2011) verdeutlicht, dass im alten China die Darstellung von Leitbahnen nicht vorgenommen wurde, sondern eher eine Einteilung in Körperregionen stattfand. Bezüglich der Meridiane beim Tier herrscht eine Reihe kontroverser Meinungen. Obwohl in den meisten heute erhältlichen Akupunkturbüchern für Tiere die Meridiane analog zu denen des Menschen beschrieben sind (DRAEHMPAEHL u. ZOHMANN 2009), wurden laut Auffassung einiger Autoren Meridiane bei Tieren von den Chinesen nie beschrieben (DESPEUX 1981, HEERDE 1999, KIENITZ 2011).

2.4.2.3 Spezielle Akupunkturpunkte

Alarm- oder „Ashi“-Punkte befinden sich nach traditionell chinesischer Auslegung nicht auf den Meridianen, sondern können überall auf der Körperoberfläche lokalisiert sein (STUX et al. 2008). Sie sollen nur bei einem pathologischen Prozess durch erhöhte Sensibilität in Erscheinung treten und können aus schulmedizinischer Betrachtungsweise am ehesten mit myofaszialen Triggerpunkten gleichgesetzt werden (VANDERSHOT 1976, MELZACK et al. 1977, MELZACK 1981, SIMONS u. DOMMERHOLT 2007). (Myofasziale Triggerpunkte siehe Kap 2.5).

Zustimmungs- oder „Shu“-Punkte zählen zu den wichtigsten Akupunkturpunkten und werden am häufigsten für eine Diagnose und/oder Therapie herangezogen. Es handelt sich um Punkte in paramedianer Lage entlang der Wirbelsäule, die nach der TCM auf dem inneren Verlauf des Blasenmeridianes lokalisiert sind (CHIEN et al. 2007, MAYOR 2008). Jeder Punkt ist in der TCM wiederum einem inneren Organ zugeordnet. Bei einer Erkrankung eines inneren Organes soll dieser Punkt aufgrund seiner erhöhten Druckempfindlichkeit leicht aufgefunden werden können. Auch für

eine Akupunkturtherapie eignen sich diese Zustimmungspunkte äußerst gut und werden daher in der Praxis oft herangezogen.

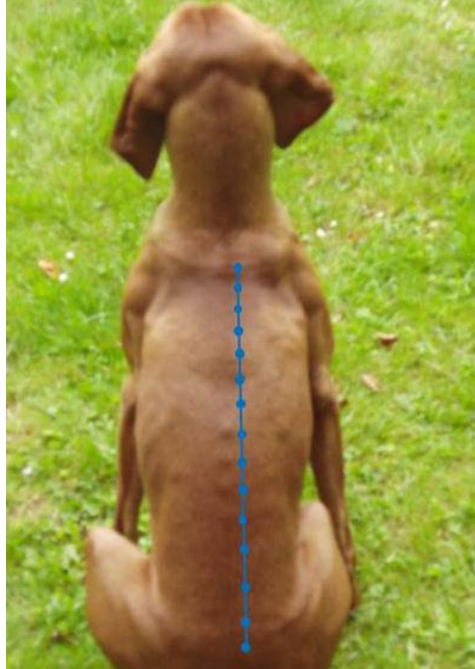


Abb. 2.6 Lage der thorakolumbalen Zustimmungspunkte des Hundes auf dem inneren Verlauf des Blasenmeridians

2.4.2.4 Die Morphologie der Akupunkturpunkte

Schon in den 60er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts begann man intensiv nach möglichen morphologischen Hintergründen für die Akupunktur zu suchen, um eine wissenschaftliche Erklärung ihrer Wirksamkeit und dadurch eine Steigerung der Akzeptanz auf diesem Gebiet innerhalb schulmedizinischer Kreise zu erreichen. Dass eine mögliche Wirkung der Akupunktur letztendlich auf einer Reizung des peripheren Nervensystems beruht, ist nicht umstritten. Zahlreiche Autoren haben sich in diesem Zuge mit der makroskopischen und mikroskopischen Untersuchung von Akupunkturpunkten beschäftigt.

In Bezug auf den allgemeinen histologischen Aufbau der Haut konnten mehrheitlich keine Unterschiede im Bereich von ausgewählten Akupunkturpunkten im Vergleich zu Nichtakupunkturpunkten festgestellt werden (ZERLAUTH et al. 1992, DRAEHMPAEHL et al. 1993). Lediglich eine Untersuchung von CROLEY und CARLSON (1991) zeigte an Akupunkturpunkten der menschlichen Hand eine doppelt so große Anzahl dermalen Papillen im Vergleich zu Kontrollpunkten auf.

Das Vorhandensein von Hautnerven bzw. deren Endigungen im Bereich von Akupunkturpunkten wurde schon von 1962 postuliert (KELLNER 1966 zitiert nach SEREBRO 1962). Eine erhöhte Dichte freier Nervenendigungen an Akupunkturpunkten im Vergleich zu Kontrollpunkten beschrieben CISZEK et al. (1985). Bei ihren Untersuchungen am Menschen stellten sie des Weiteren eine erhöhte Anzahl an Schweißdrüsen an zwei klassischen Akupunkturpunkten fest. KELLNER (1966) soll eine vermehrte Anzahl Hoyer-Grosser'scher Organe sowie Meissner Tastkörperchen in ausgewählten Akupunkturpunkten nachgewiesen haben.

2.4.2.4.1 Perforationen von Gefäß–Nerven–Bündeln durch die oberflächliche Körperfaszie

Bereits 1961 stellte KOTHBAUER einen Zusammenhang zwischen bekannten Akupunkturpunkten und Hautnerven, die durch die oberflächliche Körperfaszie in die Haut ziehen, fest. Viele weitere Veröffentlichungen stellten sowohl beim Menschen (HEINE 1987, 1988a und 1988b, ZERLAUTH et al. 1992) als auch bei verschiedenen Tierarten (DRAEHMPAEHL 1992, DRAEHMPAEHL et al. 1993, EGERBACHER 1993, EGERBACHER u. LAYROUTZ 1996) eine Korrelation zwischen definierten Akupunkturpunkten und einem unter den Punkten liegenden Gefäß–Nerven–Bündel (GNB) fest. Diese GNB perforieren die oberflächliche Körperfaszie nahezu senkrecht zur Körperoberfläche und bestehen in der Regel aus ein bis zwei Venen, einer Arterie und einem begleitenden Nervenbündel (HEINE 1987, EGERBACHER 1993).

Charakteristisch für das GNB ist die Einbettung in eine Manschette kollagenen Bindegewebes. Diese kollagenen Fasern gehen unmittelbar an der Perforationsstelle in die Fasern der Körperfaszie über (HEINE 1987, EGERBACHER 1993). Die Gefäße und der Nerv sind von einer lamellenartigen Hülle lockeren Bindegewebes umhüllt, die untereinander in losem Kontakt stehen (EGERBACHER 1993) (Abb. 2.7).

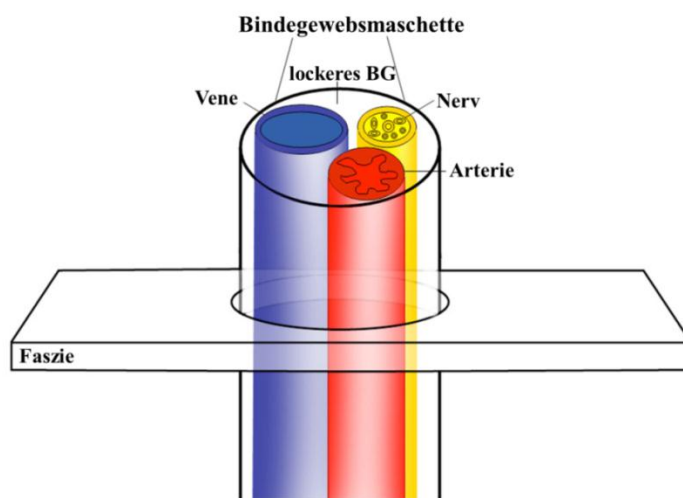


Abb. 2.7 Schematische Darstellung eines perforierenden Gefäß–Nerven–Bündels (modifiziert nach EGERBACHER 1993)

Tab. 2.3 Übersicht über einige durchgeführte Untersuchungen zur Morphologie der Akupunkturpunkte (AP: Akupunkturpunkt, GNB: Gefäß-Nerven-Bündel)

Spezies	Lokalisation der AP	Anzahl AP	Korrelation mit GNB	GNB	Autor
Mensch (n=4)	Medialseite Unterschenkel, Lateralseite Oberarm, Sulcus deltoideopectoralis, Mitte Rectusscheide	4 2 2 4	Alle Punkte stellen Durchtrittsstellen eines GNB durch die Faszie dar	2 Venen (1mm, 5mm) 1 Arterie (1-2mm) 1 Nervenfaserbündel (0,5-1mm)	HEINE 1987
Mensch (n=2)	Präparation aller makroskopisch sichtbaren Durchtrittsstellen	359	298 AP (83%) Durchtrittsstellen (2-8mm) eines GNB durch die Faszie	2 Venen (0,5-1mm, 5-7mm) 1 Arterie (0,5-1mm) 1 Nerv (0,85-1,5mm)	HEINE 1988a
Mensch (n=6)	Vergleich von Durchtrittsstellen mit AP	15	80% der AP im Bereich von Durchtrittsstellen eines GNB durch die Faszie	Nicht weiter beschrieben	HEINE 1988b
Mensch (n=3)	Hand, Oberarm, Ellbogen, Unterschenkel, Hüfte	10	In Höhe Subkutis in allen Fällen Durchtrittsstelle eines GNB durch die Faszie	1 Vene untersch. Größe 1 Arterie 1 Nerv (0,1-0,5mm)	ZERLAUTH et al. 1992
Pferd (n=2)	Vorder- und Hintergliedmaße	15	Alle Punkte über Durchtrittsstellen (3-8mm) eines GNB durch die Faszie	Nicht weiter beschrieben	DRAEHMPAEHL et al. 1992
Katze (n=7) Hund (n=5)	Dorso- und ventromedian zw. Apertura thoracis cran. und Apertura pelvis cran.	Nicht bekannt	Alle ermittelten AP liegen über Durchtrittsstellen eines GNB durch die Fascia trunci superf.	Arterien (100-175µm) Nervenfasern (50µm)	DRAEHMPAEHL et al. 1993
Rind (n=2) Hund (n=1)	AP dorsomedian zw. Schulterblatt u. Hüfthöcker (innerer + äußerer Blasenmeridian)	27	19 AP (70%) entsprechen in der Tiefe Durchtrittsstellen (5-10 x 2-3mm) eines GNB durch die Fascia trunci superf.	1 Vene (4mm) 1 Arterie (2mm) 1 Nerv (mehrere Faserbündel)	EGEBACHER 1993
Rind (n=2)	Zitzenbasis, Punkte mit ↓ elektr. Hautwiderstand	6	Durchtrittsstellen von GNB durch die Faszie sowohl an AP als auch an Kontrollpunkten	Nicht weiter beschrieben	LUDEWIG u. SHEDEWI 2001

2.4.2.5 Elektrische Eigenschaften von Akupunkturpunkten

Nach traditioneller Ansicht haben die Akupunkturpunkte besondere elektrische Eigenschaften. Aus diesem Grund werden von traditionellen Akupunkteuren oft Akupunktursuchstifte zur Punktlokalisierung verwendet (AHN et al. 2005). Diese Geräte sollen einen erniedrigten Hautwiderstand an Akupunkturpunkten anzeigen. Untersuchungen zu den elektrischen Charakteristika von Akupunkturpunkten weckten bereits ab Mitte der 1950er Jahren großes Interesse. Kaum ein anderes Forschungsgebiet innerhalb der Akupunktur wurde seither so kontrovers diskutiert.

Nach einigen Autoren können Akupunkturpunkte anhand ihrer elektrischen Eigenschaften auf der Körperoberfläche aufgefunden werden. So beschrieben NIBOYET und MERY (1958) und REICHMANIS et al. (1975) als erste Autoren eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit (und demzufolge einen erniedrigten Hautwiderstand) der Haut im Bereich von Akupunkturpunkten im Vergleich zu Kontrollpunkten. Auch in den letzten Jahren haben einige Veröffentlichungen einen messbaren Unterschied in der elektrischen Leitfähigkeit bzw. dem Hautwiderstand bei Akupunkturpunkten erbracht (AHN et al. 2005, COLBERT et al. 2008, AHN et al. 2010). Die Untersuchungen von AHN et al. (2005, 2010) arbeiten jedoch klar heraus, dass erniedrigte Hautwiderstände immer in Bereichen festgestellt wurden, in denen intermuskuläre Bindegewebssepten existieren. An manchen Körperstellen konnten diese Muskelsepten mit dem Verlauf von Meridianen gleichgesetzt werden. Es ist zu erwähnen, dass die Mehrzahl der auf diesem Gebiet durchgeführten Untersuchungen von geringer Probenzahl ist (AHN et al. 2005, AHN et al. 2008). Die von den verschiedenen Arbeitsgruppen verwendeten unterschiedlichen Messapparaturen machen die Ergebnisse überdies schlecht miteinander vergleichbar (LEWITH 2003).

NOORDERGRAAF u. SILAGE (1973) stellten im Gegensatz dazu als erste keine Unterschiede in den elektrischen Charakteristika von Akupunkturpunkten im Vergleich zum umliegenden Gewebe fest. Die von ihnen erbrachten verschiedenen Messwerte erklärten sie lediglich durch unterschiedlich aufgebrachten Druck während der Messung. Auch in weiteren Publikationen wurde kein erniedrigter Hautwiderstand an Akupunkturpunkten im Vergleich zum Nachbargewebe festgestellt (MCCARROLL u. ROWLEY 1979, PEARSON et al. 2007, KRAMER et al. 2009).

WIEGELE et al. (2006) entwickelten in ihren Versuchen eine Messtechnik, die es erstmalig möglich machte, Hautwiderstände reproduzierbar zu messen. Ob diese Ergebnisse jedoch mit Akupunkturpunkten korrespondieren, ist nicht geklärt.

Die Messung von elektrischen Eigenschaften der Haut ist einer Reihe von Fehlerquellen unterworfen. Fehler entstehen durch das Instrument selber (Größe der Sonde, aufgebrachter Druck), oder durch individuelle Unterschiede der Haut (Dicke, Wassergehalt, Behaarung, Intaktheit der Str. corneum usw.) (LEWITH 2003, COLBERT et al. 2004). Des Weiteren erbringen unterschiedlich lange Messzeiten ebenfalls differierende Ergebnisse (COLBERT et al. 2008). KALIA und GUY (1995)

stellten fest, dass der größte Anteil des Hautwiderstandes durch das Stratum corneum entsteht. Dieses Ergebnis wurde von KRAMER et al. (2009) bestätigt. In ihren Untersuchungen haben die Autoren das Stratum corneum mit Tesafilm abgetragen und einen signifikant niedrigeren Hautwiderstand festgestellt. Auch ist es möglich, dass erhöhte Leitfähigkeiten in Hautbereichen gemessen werden, die eine große Anzahl Schweißdrüsen enthalten oder aber an Stellen, an denen ein Gefäß oberflächlich unter der Haut verläuft (WIEGELE et al. 2006).

Die herkömmlich erhältlichen Akupunktursuchstifte unterliegen alle den genannten Störgrößen und können somit keine validen und reproduzierbaren Ergebnisse liefern (WIEGELE et al. 2006).

2.5 Myofasziale Triggerpunkte

Der Begriff des myofaszialen Triggerpunktes (MTrP) wurde erstmals 1952 von TRAVELL und RINZLER geprägt. Bei MTrPs handelt es sich um hypersensible knotenförmige Verhärtungen vor allem der oberflächlichen Skelettmuskulatur. Diese Knötchen befinden sich entlang eines verhärteten Muskelstranges und können in vielen Fällen leicht palpirt werden (TRAVELL u. RINZLER 1952, HONG et al. 1997, SIMONS u. DOMMERHOLT 2007). MTrPs müssen bestimmte Eigenschaften besitzen, um als solche charakterisiert zu werden. Diese Eigenschaften sind lokaler Schmerz bzw. Verspannung am Punkt selber, übertragender Schmerz spontan oder auf Druck sowie die sog. „local twitch response“ (HONG 2000). Letztere beschreibt eine lokal auftretende Muskelzuckung z.B. bei Nadelung des entsprechenden Triggerpunktes (HONG u. SIMONS 1998). Bezüglich der Ausstrahlung des Schmerzes auf andere Teile des Körpers ist zu erwähnen, dass diese im Falle des myofaszialen Schmerzsyndromes selten mit der sensiblen Versorgung eines Spinalnerven im Sinne des Dermatomes übereinstimmt (TOUGH et al. 2009). Es wird davon ausgegangen, dass ein verhärteter Muskelstreifen die Grundlage für die Bildung von MTrPs ist (TRAVELL u. RINZLER 1952). Abb. 2.9 zeigt schematisch die Entstehung und den Fortbestand eines MTrP.

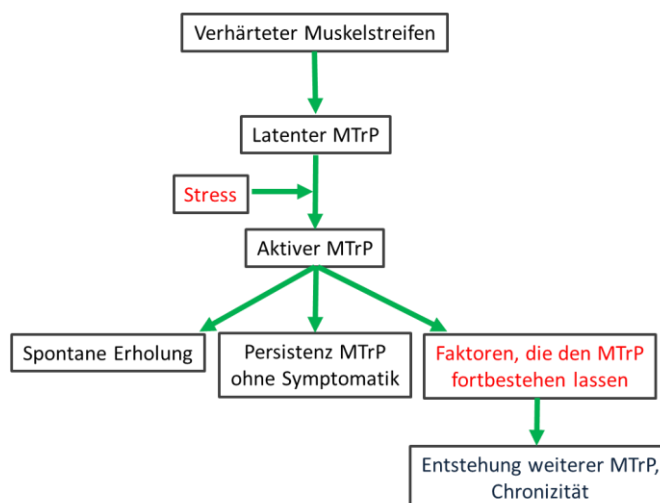


Abb. 2.8 Entstehung eines MTrP (modifiziert nach SIMONS 1995)

Das Endstadium eines myofaszialen Schmerzsyndroms bildet letzten Endes ein Teufelskreis auf molekularer Ebene, aus dem eine krampfartige Verkürzung der Sarkomere resultiert. Diese Kontraktion wird von Nozizeptoren in der Muskulatur wahrgenommen und weitergeleitet. Eine in den MTrP eingestochene Nadel vermag diesen Prozess zu beenden (SIMONS u. TRAVELL 1981).

Bereits in der Publikation von TRAVELL und RINZLER (1952) erwähnen die Autoren, dass eine gute therapeutische Technik zur Behandlung des myofaszialen Schmerzsyndroms in der sogenannten „trockenen Nadelung“ liegt. Diese Methode kann mit einer Akupunkturbehandlung gleichgesetzt werden (BALDRY 1995).

MELZACK et al. (1977) stellten als erste einen Vergleich von Akupunkturpunkten und MTrPs an und fanden heraus, dass eine über 70%ige Übereinstimmung von Akupunkturpunkten und MTrPs besteht. Außerdem stellten sie fest, dass alle MTrP im Prinzip mit den Alarmpunkten der TCM gleichzusetzen sind, die ja ebenfalls nur bei einer entsprechenden Symptomatik und unabhängig von Meridianverläufen zu lokalisieren sind. Bei dem Vergleich anatomischer Lagebeziehungen von MTrPs und klassischen Akupunkturpunkten konnte eine Übereinstimmung von 93% nachgewiesen werden (DORSHER u. FLECKENSTEIN 2008). In zwei weiteren Veröffentlichungen wird betont, dass sowohl die Prinzipien der Schmerzausstrahlung in die Peripherie als auch die physiologischen Wirkprinzipien der Triggerpunkt-Therapie mit denen der Akupunktur gleichzusetzen sind (DORSHER 2008, DORSHER u. FLECKENSTEIN 2009). DORSHER und FLECKENSTEIN (2009) fanden sogar eine 91%ige Übereinstimmung von Meridianverläufen zu den Ausstrahlungsgebieten des übertragenen Schmerzes der MTrPs. Im Gegensatz dazu betont BIRCH (2003), dass Akupunkturpunkte keinesfalls mit MTrPs vergleichbar seien. Seiner Meinung nach dürften maximal nur diejenigen Akupunkturpunkte zu einem Vergleich herangezogen werden, die per definitionem nur bei einer Erkrankung in Erscheinung treten. Namentlich sind dies nach der Meinung von BIRCH (2003) nur die sogenannten Alarmpunkte.

2.6 Theorien des Wirkmechanismus bei neuraltherapeutischen Methoden

Verschiedene Verfahren aus dem Bereich der segmentalen Therapie werden mittlerweile bei einer Vielzahl von Symptomen sowohl beim Menschen als auch beim Tier angewendet. Dabei steht die Linderung von akuten und chronischen Schmerzzuständen klar im Vordergrund. In zahlreichen Tierarztpraxen werden heute verschiedene Methoden angewandt, die aber letzten Endes alle auf denselben Grundlagen aufbauen und als Ziel vorrangig die Linderung von Schmerzen haben. Zu diesen Methoden zählen u.a. das Quaddeln als eine Form der Neuraltherapie, die Transkutane Elektrische Nerven Stimulation (TENS) sowie traditionell chinesische Techniken wie die Akupressur oder die Akupunktur. Aus diesem Grund soll im folgenden Kapitel eine kurze Übersicht über die gängigsten Erklärungsansätze zur Wirksamkeit der Analgesie bei Anwendung dieser Verfahren

gegeben werden. Anschließend werden die lokalen Effekte bei einer solchen Therapie angesprochen. Des Weiteren soll auf die Problematik der Placebo kontrollierten Akupunkturstudien eingegangen werden.

2.6.1 Theorien zur Erklärung der neuraltherapeutischen Analgesie

Im Jahr 1965 veröffentlichten MELZACK und WALL die „**Gate-Control-Theorie**“. Sie beschreibt die Schmerzwahrnehmung sowie die Entstehung von körpereigenen Schmerzhemm-Mechanismen. Vereinfacht gesagt, fungiert nach dieser Theorie die Substantia gelatinosa des Dorsalhorns als „Tor“, das ankommende Reize aus der Peripherie filtert, bevor sie an das Gehirn weitergeleitet werden. Dabei nimmt die Substantia gelatinosa Reize sowohl von großkalibrigen A β -Fasern (mechanische Stimuli) als auch von kleinkalibrigen A δ - und C-Fasern (Schmerzfasern) auf. Durch einen mechanischen Stimulus auf A β -Fasern werden Neurone in der Substantia gelatinosa über Interneurone gehemmt. So wird das „Tor“ für ankommende Schmerzstimuli geschlossen und der Schmerz folglich nicht in Richtung Gehirn weitergeleitet. Dieser Mechanismus wird auf supraspinaler Ebene kontrolliert und hat nur einen kurzzeitigen Effekt, der meist mit dem Wegfall des mechanischen Reizes endigt. Überträgt man diese Theorie auf die Akupunktur, so kann Folgendes gesagt werden: Der an sich nicht schmerzhaft Reiz der Akupunkturadel wird über A β -Fasern in die Substantia gelatinosa geleitet. Hier wird nun das „Tor“ geschlossen und die schmerzhaften Stimuli erreichen das Gehirn nicht mehr (MAN u. CHEN 1972, OMURA 1975). Um einen starken mechanischen Stimulus zu erzeugen, ist das Hin- und Herdrehen der Akupunkturadel vor allem innerhalb der Dermis (höchste Dichte an Mechanorezeptoren) hilfreich (OMURA 1975). Basierend auf der Tatsache, dass sowohl der Thalamus, die Großhirnrinde als auch eine Reihe anderer Gehirnabschnitte eine entscheidende Rolle in der Schmerzwahrnehmung haben, wurde in verschiedenen Publikationen die ursprüngliche Gate-Control-Theorie auf diese Areale ausgeweitet und kann übergreifend als „Multi-Gate-Control-Theorien“ bezeichnet werden (MAN u. CHEN 1972, OMURA 1975). Der Schwachpunkt all dieser Theorien liegt in der Tatsache, dass sie lediglich die neuronalen Verschaltungen in Bezug auf Schmerz beleuchten und lokale Effekte der Akupunktur (auf das direkt benachbarte Gewebe) ignorieren (OMURA 1975).

Das Prinzip der „**Counter-Irritation**“ beruht auf der Grundlage, durch einen mechanischen Reiz (z.B. das Reiben einer schmerzhaften Stelle des Körpers) die „Aufmerksamkeit des Gehirnes vom Schmerz“ abzulenken. Erneut war es MACKENZIE (1909), der die Grundlagen der Counter-Irritation beschrieb. Betrachtet man diese Reaktion genauer, so kann auch in diesem Fall die Gate-Control-Theorie Gültigkeit finden, denn durch den mechanischen Stimulus werden wiederum A β -Fasern angesprochen, die ihrerseits das „Tor“ auf Rückenmarksebene für den Schmerzreiz schließen. Im Hinblick auf die Akupunkturanalgesie wird zumindest ein Teil der Effektivität auf dieses Prinzip der Counter-Irritation zurückgeführt (LANGEVIN u. VAILLANCOURT 1999, ENDRES 2008).

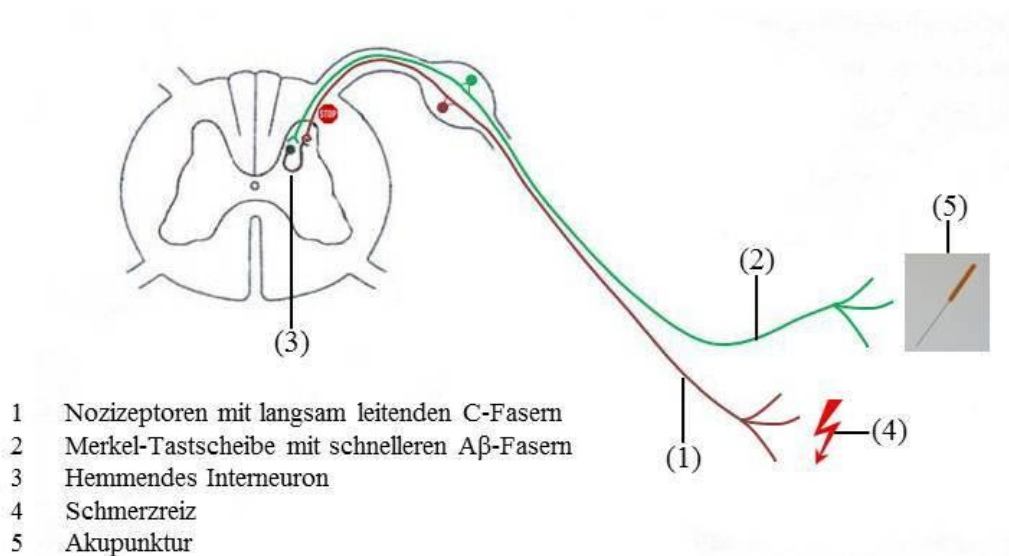


Abb. 2.9 Akupunkturanalgesie in Anlehnung an die Gate-Control-Theorie (modifiziert nach SALOMON 2006)

Ein weiteres Erklärungsmodell für eine (akupunkturinduzierte) Analgesie liefert die „**Diffuse-Noxious-Inhibitory-Control**“ (DNIC) (ENDRES 2008). Nach dem Prinzip „Schmerz hemmt Schmerz“ wird hier davon ausgegangen, dass ein bestehender Schmerz von einem zweiten Schmerzreiz gehemmt werden kann, und zwar unabhängig von der Lokalisation des zweiten gesetzten dolenten Stimulus. Dabei werden konvergierende Neurone im Dorsalhorn des Rückenmarks gehemmt und leiten den ursprünglichen Schmerz nicht mehr zentral weiter. Die konvergierenden Neurone stellen die Mehrheit der Neurone im Dorsalhorn dar und sind für die Fortleitung von sowohl mechanischen, als auch schmerzhaften Reizen in das Gehirn verantwortlich (VILLANUEVA et al. 1986). Es wird davon ausgegangen, dass die Hemmung in Bereichen des Hirnstammes im Nucleus raphe magnus generiert wird (BING et al. 1990, YARNITSKY 2010). Vom Hirnstamm aus verläuft die absteigende inhibitorische Bahn im ipsilateralen dorsolateralen Funiculus des Rückenmarks (VILLANUEVA et al. 1986, SCHLIESSBACH et al. 2012). Die DNIC wird ausschließlich über Aδ- und C-Faserreize vermittelt, das heißt, dass ein Reiz oberhalb der Schmerzschwelle von Nöten ist (VILLANUEVA et al. 1986, MURASE u. KAWAKITA 2000, SCHLIESSBACH et al. 2012). Als Rezeptoren werden polymodale Rezeptoren verantwortlich gemacht, die auf mechanische, thermische und chemische Reize reagieren (MURASE u. KAWAKITA 2000). Ob eine Akupunktur Mechanismen der DNIC auslöst, ist bisher wenig beschrieben. BING et al. (1990) sowie MURASE und KAWAKITA (2000) stellten gleichstarke inhibitorische Effekte bei sowohl DNIC als auch bei einer Akupunktur fest. BING et al. (1990) verglichen das Nadeln von klassischen Akupunkturpunkten und Nicht-Akupunkturpunkten (sog. Sham-Akupunktur) und konnten keinen Unterschied feststellen. Gleichermäßen ergaben die Untersuchungen von SCHLIESSBACH et al. (2012) keinen signifikanten

Unterschied zwischen klassischer Akupunktur und „Sham-Akupunktur“. Sie betonen jedoch, dass bei einer Akupunkturtherapie der Nadelreiz nicht schmerzhaft genug ist, um die Mechanismen einer DNIC auszulösen, sodass nach ihrer Meinung die Analgesie bei einer Akupunktur nicht mit der einer DNIC gleichgesetzt werden sollte.

Unmittelbar nach der Erstbeschreibung der endogenen Opiode Enkephalin (1975) und β -Endorphin (1976) wurde nachgewiesen, dass der Opioidantagonist Naloxon die analgetischen Effekte der Elektroakupunktur (EA) aufhebt (POMERANZ u. CHENG 1979, MAYER et al. 1977). Somit war die sogenannte **Endorphin-Hypothese** als Erklärungsmodell für die Akupunkturanalgesie geboren. In diesem Zuge bestätigten HAN und TERENIUS (1982) die Naloxonreversibilität für die EA, jedoch nur für niederfrequente Elektroakupunktur bei 2Hz. Die Autoren stellten dabei die Hypothese auf, dass die Endorphine sowohl im Hirnstamm als auch auf spinaler Ebene ausgeschüttet werden. In nachfolgenden Untersuchungen wurde gezeigt, dass eine niederfrequente EA (Frequenzen bis 10Hz) die Ausschüttung von Enkephalin, β -Endorphin und Endomorphin (alle μ - und δ -Rezeptor vermittelt) steigert, wohingegen eine hochfrequente EA mit 100Hz die Freisetzung von Dynorphin (κ -Rezeptor assoziiert) erhöht (HAN 2004, LIN u. CHEN 2008, WANG 2008). Mittlerweile ist erwiesen, dass die Opiode Enkephalin, Endomorphin sowie β -Endorphin auf supraspinaler und Dynorphin auf spinaler Ebene freigesetzt werden (PIERCEY et al. 1982, HAN 2004). Opioidrezeptoren befinden sich an zahlreichen Stellen des Körpers und sind häufig in der Haut an C-Faserendigungen assoziiert (LIN u. CHEN 2008). Endorphinerge Neurone spielen des Weiteren eine Rolle sowohl bei der Gate-Control-Theorie als auch der DNIC (CARLSSON 2002).

Im Jahr 1974 legten WANCURA und KÖNIG den Grundstein für die Erklärung der Akupunktur mit Hilfe der **Segmentanatomie**. Nach diesen Autoren wird bei einer Akupunktur prinzipiell immer eine auf der Körperoberfläche befindliche algetische Zone (also HEAD'sche Zone) stimuliert. Dabei liegen die Akupunkturpunkte stets an den Dermatogrenzen der entsprechenden Rückenmarkssegmente. In ihrem Buch „Segmentanatomie – der Schlüssel zu Akupunktur, Neuraltherapie und Manualtherapie“ ist es Ingrid WANCURA-KAMPIK (2010) auf hervorragende Weise gelungen, einen Großteil der Wirkmechanismen von verschiedenen neuraltherapeutischen Herangehensweisen mit den segmentanatomischen Grundlagen zu erklären. Der Aufbau des Körpers in Segmente bzw. Metamere wird nach Auffassung der Autorin als Grundlage für die Erklärbarkeit der verschiedenen Therapiemethoden angesehen. Im Speziellen spielen dabei die Interaktionen der einzelnen Segmentabschnitte (also Dermatome, Myotome, Sklerotome, Neurotome und Viszerotome) sowohl über die Spinalnerven als auch über das sympathische Nervensystem die Schlüsselrolle. So entstehen beispielsweise bei einer Erkrankung eines inneren Organes durch viszerokutane Reflexbögen algetische Zonen auf der Körperoberfläche, die als HEAD'sche Zonen bezeichnet werden. Die Maximalpunkte der HEAD'schen Zonen können mit einem Großteil von in der TCM definierten Akupunkturpunkten gleichgesetzt werden. Diese sensiblen Hautareale können umgekehrt für eine

positive Beeinflussung innerer Organe herangezogen werden. Die Stimulation eines bestimmten Segmentanteiles über die Körperperipherie bewirkt einen afferenten Impuls zum nervösen Zentrum des gleichen Segmentes. Von hier aus bestehen nun zwei Möglichkeiten: Einerseits werden Efferenzen zum Reizort zurückgesandt und bewirken somit die lokalen Effekte beispielsweise bei einer Akupunktur. In diesem Fall kann von einem Eigenreflex gesprochen werden. Andererseits können Efferenzen auch zu einem anderen Anteil des betreffenden Segmentes, beispielsweise zum Viszerotom oder Myotom gesandt werden, wodurch die Beeinflussung der inneren Organe oder der Muskulatur bei einer Therapie erklärt werden kann. Die Reizleitung zwischen den Segmentabschnitten gilt als Fremdreflex. In jedem Fall werden selbstverständlich über aufsteigende Bahnen Impulse in Richtung Gehirn geleitet. Das sympathische Nervensystem wird von WANCURA-KAMPIK (2010) dafür verantwortlich gemacht, dass der Effekt des in der Peripherie gesetzten Stimulus in weite Bereiche des Körpers auszustrahlen vermag. Grund hierfür sind Kollateralverbindungen innerhalb des Grenzstranges, sodass ein Reiz auf bis zu sieben benachbarte Grenzstrangganglien übertragen werden kann.

Die bisher dargestellten Theorien bei einer Akupunkturanalgesie können z.T. nur unzureichend erklären, warum es nach einer erfolgten Akupunktur zu *länger andauernden Effekten* kommen kann. In vielen Fällen reichen einige wenige Akupunktursitzungen aus, um ein chronisches Schmerzleiden für die Dauer von einigen Monaten zu lindern (KLIDE 1989). Einerseits werden für den Langzeiteffekt nach erfolgter Akupunktur negative feedback-Mechanismen auf supraspinaler Ebene (v.a. Nucleus raphe magnus) verantwortlich gemacht (SHEN et al. 1978, LIU et al. 1986). KLIDE (1989) vergleicht die Akupunktur mit einer Art Training des Körpers, ähnlich einem autogenen Training. So wird der Körper durch die wiederholte Stimulation von körpereigenen Schmerzhemmsystemen konditioniert, diese Mechanismen von alleine für eine über die Therapie hinausgehende Dauer beizubehalten. Eine weitere Erklärung für eine mögliche Langzeitwirkung lieferten LIU et al. (1998). Sie fanden heraus, dass eine elektrische Stimulation von A δ -Fasern (z.B. gemäß einer EA) eine Langzeitunterdrückung der C-Faserpotentiale bei Ratten bewirkt. Es wird auch von einem inhibitorischen Effekt auf den Sympathikus ausgegangen, der zeitverzögert zur Nadelung einsetzt und bis zu mehreren Wochen andauern kann (ERNST u. LEE 1985). Eine lokale Freisetzung von verschiedenen Neuropeptiden (Substance P, Calcitonin gene-related peptide, Neurokinin A, Vasoaktives Intestinales Polypeptid) über einen Axonreflex wird ebenfalls für länger andauernde Wirkungen bei einer Akupunktur diskutiert (CARLSSON 2002). Diese Neuropeptide könnten über dichotomisierende Nervenfasern in tiefere Gewebeschichten oder hämatogen in entfernte Gewebe transportiert werden und auch dort ihre Wirkung erzielen. Als weiteren möglichen Aspekt für eine Langzeitwirkung sehen CARLSSON et al. (2002) eine Langzeitdepression von A δ -assoziierten Dorsalhornneuronen, welche die Mechanismen einer zentralen Sensibilisierung bei chronischen Schmerzzuständen unterdrücken.

2.6.2 Lokale Effekte

Der Einstich einer feinen Akupunkturnadel löst innerhalb von wenigen Sekunden lokale Effekte aus. So findet nach einer kurzen Phase der Vasokonstriktion, wahrscheinlich bedingt durch den anfänglichen Schmerzreiz, eine über einen längeren Zeitraum andauernde Vasodilatation statt (OMURA 1975). Dabei wird von einer Hemmung sympathischer Nervenfasern ausgegangen (ERNST u. LEE 1985). Der Stimulus bewirkt die lokale Ausschüttung einer Vielzahl von Neuropeptiden wie Substance P (SP), Calcitonin gene-related peptide (CGRP), Neurokinin A (NKA) oder Vasoaktives Intestinales Polypeptid (VIP). Eine erhöhte Durchblutung am Reizort fördert den hämatogenen Abtransport dieser Neuropeptide (CARLSSON 2002). Von den genannten Neuropeptiden haben Substanz P und CGRP die potentesten vasodilatatorischen Eigenschaften. Außerdem fördern sie die Degranulation von Mastzellen und haben eine chemotaktische Wirkung auf Leukozyten (KAPTSCHUK 2002, BÄCKER et al. 2004). Des Weiteren besitzt CGRP in niedrigen Dosen eine antiinflammatorische Wirkung (KASHIBA u. UEBA 1991, BÄCKER et al. 2004). JULIUS und BASBAUM (2001) beschrieben eine Freisetzung von ATP aus Nervenzellendigungen von A β -Fasern bei mechanischer Stimulation derselben.

Auch die Suche nach dem Rezeptor, der den Stimulus einer Akupunkturnadel aufnimmt und fortleitet, ist Gegenstand einiger Publikationen. KUMAZAWA und MIZUMURA (1977) waren die ersten, die den *polymodalen Rezeptor* (PMR) für den wahrscheinlichsten hielten. Dieser Typ des Nozizeptors findet sich sowohl in der Haut als auch in der Muskulatur und reagiert auf mechanische, thermische sowie chemische Reize im Bereich jenseits der Schmerzschwelle. Er kann jedoch auch durch nichtschmerzhafte Stimuli aktiviert werden. Ein weiteres Charakteristikum des PMR ist die Möglichkeit zur Sensibilisierung durch endogene chemische Substanzen. Folglich wird die Reizschwelle des Rezeptors gesenkt (KAWAKITA 1993, KAWAKITA et al. 2006, ZHAO 2008). Die PMR ihrerseits sind befähigt, Substanz P, CGRP und andere Neuropeptide freizusetzen, die über einen Axonreflex lokale Wirkungen (Vasodilatation, Extravasation) verursachen. Außerdem aktivieren die PMR fast ausschließlich die Konvergenzneurone des Rückenmarks (KAWAKITA et al. 2006). In seiner Arbeit betont ZHAO (2008), dass die PMR die Hauptrolle in der Vermittlung des Akupunkturreffektes spielen.

2.7 Neuraltherapeutische Verfahren und Placebo

Wissenschaftlich fundierte und aussagekräftige Untersuchungen müssen ganz bestimmte Kriterien erfüllen. Studien sollten randomisiert, verblindet und Placebo kontrolliert (RCT-Studien) sein, um die Qualitätskriterien evidenzbasierter Medizin zu erfüllen. Eine wichtige Rolle spielt hierbei die Auswahl des geeigneten Placebos. Dieses darf vom Patienten nicht als solches erkannt werden (STREITBERGER u. KLEINHENZ 1998). Des Weiteren müssen die spezifischen Aspekte des zu

testenden „Mediums“ von den unspezifischen des Placebo zu differenzieren sein (WHITE 2003). Die Prüfung der Wirksamkeit von Medikamenten gegenüber einem Placebo wird seit vielen Jahrzehnten auf der Basis der RCT-Studien durchgeführt. Während das Design und die Auswahl des Placebos hier relativ einfach sind, entstehen bei der Planung von randomisierten und Placebo kontrollierten Untersuchungen zu neuraltherapeutischen Verfahren zahlreiche Schwierigkeiten. Nach VINCENT und LEWITH (1995) gibt es beispielsweise kein überzeugendes Placebo für die Akupunktur. Die sogenannte „Sham-Akupunktur“, also das Einstechen von Akupunkturnadeln in „Nicht-Akupunkturpunkte“, löst immer starke physiologische Reaktionen aus, die kaum von denen einer „Verum-Akupunktur“, also das Nadeln von klassischen Akupunkturpunkten, zu unterscheiden sind (STREITBERGER u. KLEINHENZ 1998, KLEINHENZ et al. 1999, LUNDEBERG et al. 2011). Die mit über 2000 Patienten bisher umfangreichste RCT-Studie zur Wirksamkeit der Akupunktur wurde 2007 von HAAKE et al. publiziert. In diesen sog. *GERAC-Studien* (German Acupuncture Trials) wurde die Verum-Akupunktur mit der Sham-Akupunktur sowie einer pharmakologischen Medikation bei chronischen Kniegelenks- und Rückenschmerzen verglichen. Die Ergebnisse waren für viele überraschend. So war die Wirksamkeit der Verum-Akupunktur gleichzusetzen mit der Wirkung der Sham-Akupunktur. Beide waren der Medikamententherapie um das Doppelte überlegen. Dieses Ergebnis veranlasste die Krankenkassen sogar, die Kosten für eine Akupunktur bei den oben genannten Indikationen zu übernehmen.

Nicht zuletzt sollte eine Placeboakupunktur an demselben Punkt durchgeführt werden, wie die „echte“ Nadelung (STREITBERGER u. KLEINHENZ 1998, KLEINHENZ et al. 1999). 1998 entwickelten STREITBERGER und KLEINHENZ eine Placebonadel für den Einsatz in Akupunkturstudien und versuchten damit, die Kriterien für ein gutes Akupunkturplacebo zu erfüllen. Diese Nadel ist optisch zunächst nicht von einer Akupunkturnadel zu unterscheiden. Mit einer abgestumpften Spitze berührt sie die Haut, penetriert sie jedoch nicht, sondern zieht sich in ihren Schaft zurück. Bei der ersten Studie zur Akzeptanz dieser sogenannten Streitbergernadel berichteten alle Patienten von dem Gefühl, dass die Nadel die Haut penetriert, einige empfanden sogar das für die TCM wichtige Gefühl des Kribbelns und der Schwere am Einstichort, das sogenannte „Deqi-Gefühl“ (STREITBERGER u. KLEINHENZ 1998). Einzig die Schmerzintensität wurde bei der Streitbergernadel geringer eingestuft, als bei der „echten“ Akupunkturnadel. In weiterführenden Untersuchungen wurde herausgestellt, dass die Streitbergernadel das bisher am besten geeignete Placebo für Akupunkturstudien darstellt und eine Wirkung der Akupunktur belegen kann (KLEINHENZ et al. 1999, WHITE 2003). Die Penetration der Akupunkturnadel durch die Haut scheint somit den Haupteffekt für eine Akupunkturwirkung auszulösen (KLEINHENZ et al. 1999). In der Studie von WHITE et al. (2003) gaben 40% der Patienten an, dass sie einen Unterschied zwischen den beiden Nadeln spürten. Interessanterweise konnte jedoch ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden behandelnden Therapeuten identifiziert werden. Die Autoren geben zu bedenken, dass dieser Aspekt in weiteren Untersuchungen zu

berücksichtigen ist. Beim Einsatz aller oben genannten Placebovarianten ist es nicht möglich, den Behandelnden für die Studie zu verblinden, sodass die bisher durchgeführten Untersuchungen lediglich für den Patienten verblindet waren. Aus diesem Grund entwarfen TAKAKURA und YAJIMA (2008) eine modifizierte Streitbergernadel, die es möglich macht, Doppelblindstudien durchzuführen. Diese Nadel ist optisch identisch zu der Konstruktion mit einer echten Akupunkturadel und besitzt wie bereits die Streitbergernadel eine kleine Plastikkappe, die auf die Hautoberfläche aufgesetzt wird. Diese dient dazu, dass weder der Patient noch der Therapeut die Nadelspitze verfolgen können. Bewegt nun der Therapeut das Nadelende in Richtung Haut, so schiebt sich nach Hautkontakt im Falle der modifizierten Placebonadel die Spitze unmerklich in den Schaft zurück. In der Pilotstudie konnte weder von den Patienten noch den Therapeuten ein Unterschied zwischen Placebonadel und Akupunkturadel festgestellt werden. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die von TAKURA und YAJIMA (2008) entwickelte Placebonadel sehr gut für weitere RCT-Studien in der Akupunktur geeignet ist (KRÄHMER 2008).

In der Veterinärmedizin existieren nur wenige Placebo kontrollierte Akupunkturstudien. In einer Doppelblindstudie von JAEGER et al. (2006) zur Goldakupunktur bei Hunden mit Hüftgelenksdysplasie war die Goldimplantation in Akupunkturpunkte der Sham-Akupunktur signifikant überlegen. Dabei korrelierten die Einschätzungen der Besitzer sehr gut mit der Folgeuntersuchung des Tierarztes. Trotzdem muss diese Studie mit Vorsicht interpretiert werden, da es sich bei der eingesetzten Placeboakupunktur gewissermaßen um ein doppeltes Placebo handelt. Einerseits wurden die Hunde in Nicht-Akupunkturpunkte genadelt. Wie bereits beschrieben, löst auch diese Nadelung Mechanismen aus, die mit der Verum-Akupunktur zu vergleichen sind. Andererseits wurde bei der Placebobehandlung kein Gold implantiert, wodurch sich für die unterschiedlichen Wirkungen zwei Möglichkeiten ergeben. Eine vom Studiendesign her gleiche Untersuchung zur Wirkung der Goldakupunktur ergab im Gegensatz zu den Ergebnissen von JAEGER et al. (2006) keine statistischen Unterschiede zwischen der Goldakupunktur und der Sham-Akupunktur (HIELM-BJORKMANN et al. 2001).

Nicht zuletzt bleibt in der Veterinärmedizin immer fraglich, inwiefern man überhaupt von einem Placebo sprechen kann. Nach LUNDEBERG et al. (2011) werden vielen Faktoren dem Placeboeffekt beim Menschen zugeschrieben. Neben der dem Patienten gewidmeten Zeit und Aufmerksamkeit spielt die Erwartungshaltung des Patienten für die Effektivität des Placebo eine entscheidende Rolle (LUNDEBERG et al. 2011). Für die Veterinärmedizin stellt sich die Frage, ob diese Reaktionen des Besitzers eine Bedeutung auf die Placebowirkung ihrer Tiere haben oder ob die Besitzer selber die Symptome ihrer Tiere aufgrund ihrer Erwartungshaltung geringer einschätzen.

2.8 Akupunktur beim Tier

Da in den letzten Jahren Therapieformen aus der traditionell chinesischen Medizin, vor allem die Akupunktur, in vielen Tierarztpraxen Einzug gehalten haben, wird im Folgenden näher auf die Anwendung der Akupunktur beim Tier (speziell beim Hund) eingegangen.

Die Akupunktur hat beim Tier eine lange Tradition, ihre Anwendung beruht hauptsächlich auf der empirischen Erfahrung der Therapeuten auf diesem Gebiet (JAGGAR 1992). In den westlichen Ländern wird die Veterinärakupunktur vor allem seit den 1970er Jahren hauptsächlich additiv bei einer Vielzahl von Indikationen eingesetzt. Zu diesen zählen unter anderem Erkrankungen im Bereich Gynäkologie und Andrologie der Wiederkäuer, Lahmheiten des Hundes und des Pferdes sowie die Behandlung von schmerzhaften Prozessen unterschiedlicher Genese im Rückenbereich bei Pferd und Hund (CHAN et al. 2001). Außerdem wird die Akupunktur bisweilen als zusätzliche analgetische Komponente in der Chirurgie bei Rind und Hund praktiziert. In der Literatur sind Publikationen zum klinischen Einsatz der Akupunktur beim Tier jedoch meist auf eine sehr kleine Patientenzahl oder sogar lediglich Fallberichte eines einzelnen Tieres beschränkt. Es fällt zudem auf, dass es kaum aktuelle Arbeiten gibt. Die Mehrzahl dieser Veröffentlichungen berichtet über den positiven Einsatz der Akupunktur. Die meist behandelten Tierarten stellen dabei Pferde und Hunde dar, es gibt aber auch einige wenige Berichte über eine erfolgreiche Akupunkturbehandlung beim Rind (LIN et al. 2002, KIM et al. 2004) und sogar einer Schildkröte (SCOGNAMILLO-SZABO et al. 2009).

Beim *Pferd* wird eine Akupunktur hauptsächlich bei Erkrankungen des Bewegungsapparates (GIDEON 1977, LANDHOLM u. MILLS 1981, KLIDE 1984, MARTIN u. KLIDE 1987) und bei Koliksymptomen (GIDEON 1977, FENG 1981) erfolgreich eingesetzt. Lediglich eine Studie zum Einsatz von Elektroakupunktur bei der Obstipation konnte keine signifikante Besserung der Symptome aufzeigen (MERRITT et al. 2002). In einem Übersichtsartikel von SCHOFIELD (2008) werden positive Effekte der Akupunktur bei Reproduktionsproblemen der Stute zusammengefasst.

Für den *Hund* gibt es in der Literatur ebenfalls nur wenige klinische Studien zum Einsatz der Akupunktur. Vereinzelt sind Fallberichte einzelner Tiere, beispielsweise der positive Effekt einer Ohrakupunktur bei idiopathischer Epilepsie (PANZER u. CHRISMAN 1994), idiopathischer Fazialisparese (JEONG et al. 2001) oder idiopathischem Horner-Syndrom (CHO u. KIM 2008) zu finden. In einer randomisierten Placebo kontrollierten Untersuchung zur unterstützenden Wirkung einer Akupunktur bei 25 Hunden mit Otitiden erbrachten SANCHEZ-ARAUJO und PUCHI (1997) signifikant bessere Ergebnisse der akupunktierten Hunde im Vergleich zur Sham-Gruppe und folgerten daraus, dass die Akupunktur einen positiven Effekt auf das Immunsystem der Hunde hat. Muskuloskelettale Erkrankungen des Hundes können nach der Aussage von SCHOEN (1992) sehr effektiv mit einer Akupunkturtherapie behandelt werden. Interessanterweise tritt eine positive Wirkung jedoch meist erst nach zwei bis sechs Sitzungen auf. Des Weiteren scheint die Therapie von

Bandscheibenvorfällen mit Akupunktur gute Erfolge zu erzielen. Sowohl Elektroakupunktur (HAYASHI et al. 2007) als auch die manuelle Akupunktur (STILL 1990, JANSSENS 1992) kommen dabei zum Einsatz. CHOI und HILL (2009) berichteten über eine gute Wirkung der Akupunktur bei einem Bandscheibenvorfall einer Katze. Es wurden immer sowohl lokale als auch entfernte Akupunkturpunkte ausgewählt, wobei mehrere Punkte gleichzeitig genadelt wurden. Die Wirkung der Akupunktur hing in den durchgeführten Studien stets mit dem Schweregrad der Symptomatik zusammen. So besserten sich über 90% der Hunde mit nur geringgradigen Ausfallerscheinungen, während die Effektivität bei Tieren mit mittelgradiger Symptomatik geringer war, bei sehr hochgradigen Fällen auch ganz ausblieb. Die Angaben für die Intervalle zwischen den einzelnen Sitzungen variieren von einmal täglich (JANSSENS 1992) bis einmal wöchentlich (HAYASHI et al. 2007), oft werden hierzu jedoch keine genauen Angaben gemacht.

Was die Lokalisation der Akupunkturpunkte betrifft, so sind die erhältlichen Akupunkturkarten der einzelnen Tierarten durch sog. Transposition, d.h. Übertragung der humanen Akupunkturpunkte auf das Tier entstanden (PANZER u. CHRISMAN 1994). Diese Methode sollte jedoch kritisch betrachtet werden, da es grundlegende anatomische Unterschiede einerseits von Mensch zu Tier (z.B. Rippenanzahl), andererseits aber auch zwischen den Tierarten gibt, sodass schon alleine bei der Transposition die Punkte fehlerhaft übertragen werden können (YIN et al. 2008).

3 Material und Methoden

3.1 Tiere

Als Untersuchungsmaterial standen insgesamt 18 Hunde verschiedener Rassen, verschiedenen Alters und Geschlechtes zur Verfügung. Alle Tiere wurden aufgrund von veterinärmedizinischen Indikationen mit infauster Prognose tierschutzkonform in Tierarztpraxen in Leipzig und Umgebung euthanasiert und unmittelbar post mortem in das Veterinär-Anatomische Institut verbracht. Die Hunde hatten laut Vorbericht keine dermatologische, neurologische, orthopädische oder muskuläre Rückenerkrankung. Die Fixierung der Tierkörper erfolgte durch eine arterielle Perfusion mit 4%igem Formalin über die A. femoralis. Hierfür wurde A. femoralis im Schenkelspalt aufgesucht und mit einem Skalpell angeschnitten. Über einer Knopfkanüle, die mit einem Faden an der Arterie fixiert wurde, erfolgte im Anschluss die Perfusion mit fünf bis zehn Litern Fixationslösung. Unmittelbar nach Beginn der Perfusion wurden die Hunde in Seitenlage verbracht, sodass der Rücken gerade und in gestreckter Position zu liegen kam. Um ein gleichmäßiges Durchdringen des Fixanz zu gewährleisten, fand in den darauffolgenden Stunden regelmäßig ein Wenden des Tierkörpers statt. Die Haare der Hunde wurden im gesamten Rückenbereich und der seitlichen Bauchwand mit einer elektrischen Schermaschine (Firma Oster) entfernt. Die Tiere wurden vor und zwischen den einzelnen Präparationsschritten bei 4°C im Kühlraum aufbewahrt.

3.2 Die Präparation

Die für diese Dissertation relevante vollständige Präparation konnte bei vier Tieren nicht beendet werden, da entweder aufgrund von unzureichender Fixation eine frühzeitige Verwesung des Tierkörpers stattfand (n=1) oder bei der schichtweisen Präparation in die Tiefe Nervenäste nicht weiter verfolgt werden konnten (n=3). Dies war zumeist bedingt durch eine unzureichende Darstellbarkeit der Nerven in der dicken Fettschicht bei Tieren mit gutem bis sehr gutem Ernährungszustand. Bei zwei weiteren Tieren gelang lediglich die Präparation der subkutanen Schicht, sodass für die Präparation des Verlaufes der Lendennerven von der Haut bis zur Wirbelsäule insgesamt zwölf Hunde zur Verfügung standen (Tab. 3.1).

3.2.1 Verlauf der Lendennerven in verschiedenen Schichten

Der Verlauf der Spinalnervenäste der Regio lumbalis des Hundes wurde bei zwölf Hunden zwischen dem elften Brustwirbel und dem Beginn des Kreuzbeines von der Haut bis zum Eintritt in das jeweilige Foramen intervertebrale verfolgt. Bei acht Tieren erfolgte die Präparation der linken Seite, vier Hunde wurden auf der rechten Seite präpariert. Die Wahl der Seite war abhängig von der Qualität der Fixierung. Hier wurde zunächst die Seite ausgewählt, die besser durchfixiert war. Bei keinem Tier

gelang eine nachfolgende Präparation der Nerven der kontralateralen Seite, da das Gewebe durch das Absacken der Fixierlösung schwammig wurde und dadurch keine weitere Präparation möglich war.

Tab. 3.1 Hunde für die vollständige Präparation der Nervenverläufe in allen Schichten;
m=männlich, mk=männlich-kastriert, w=weiblich

Nr.	Rasse	Gewicht (kg)	Widerristhöhe (cm)	(Alter Jahre)	Geschlecht	Präparierte Seite
1	Bologneser	10	36	14	m	links
2	Schnauzer-Mix	10	32	10	mk	rechts
3	Mischling	13	42	12	w	links
4	Whippet	15	47	8	w	rechts
5	Mischling	19	56	9	w	links
6	Mischling	23	48	12	w	links
7	Shar-Pei	24	55	13	m	rechts
8	Kan. SH	30	72	10	mk	links
9	Dalmatiner	30	64	9	m	rechts
10	Rottweiler	35	64	10	m	links
11	Dobermann	39	64	13	mk	links
12	Riesenschnauzer	45	74	11	m	links

Die Präparation der Nerven erfolgte schrittweise von der Körperoberfläche bis in die Tiefe. Um die Nervenverläufe bei den einzelnen Tieren vergleichen zu können, fand eine Dokumentation der Präparationsschritte in drei Schichten statt (Abb. 3.2):

1. **Oberflächliche Schicht** (Schicht a) auf Niveau der Fascia thoracolumbalis
2. **Mittlere Schicht** (Schicht b) im Bereich der langen Rückenmuskulatur: Mm. longissimus lumborum und iliocostalis lumborum
3. **Tiefe Schicht** (Schicht c) auf Niveau des Foramen intervertebrale

Die Zuordnung der einzelnen Nerven fand in der tiefen Schicht zu dem entsprechenden For. intervertebrale, das heißt zum jeweiligen Rückenmarkssegment statt. Für die Dokumentation der Lage der Nerven in der mittleren und oberflächlichen Schicht sowie bei Eintritt in die Haut wurden sogenannte **Rückenbereiche** definiert. Der entsprechende Rückenbereich wurde in dieser Arbeit vom

Kranialende des jeweils vorderen bis zu Kranialende des darauffolgenden Dornfortsatzes festgelegt (Abb. 3.1).

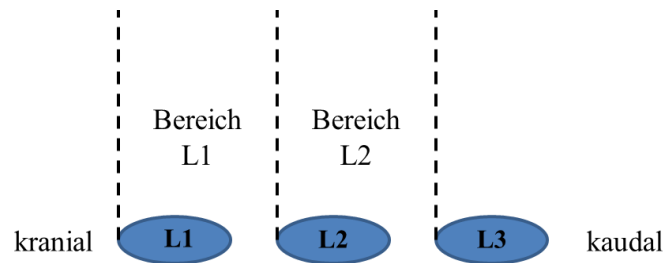


Abb. 3.1 Schema zur Erläuterung der definierten Rückenbereiche

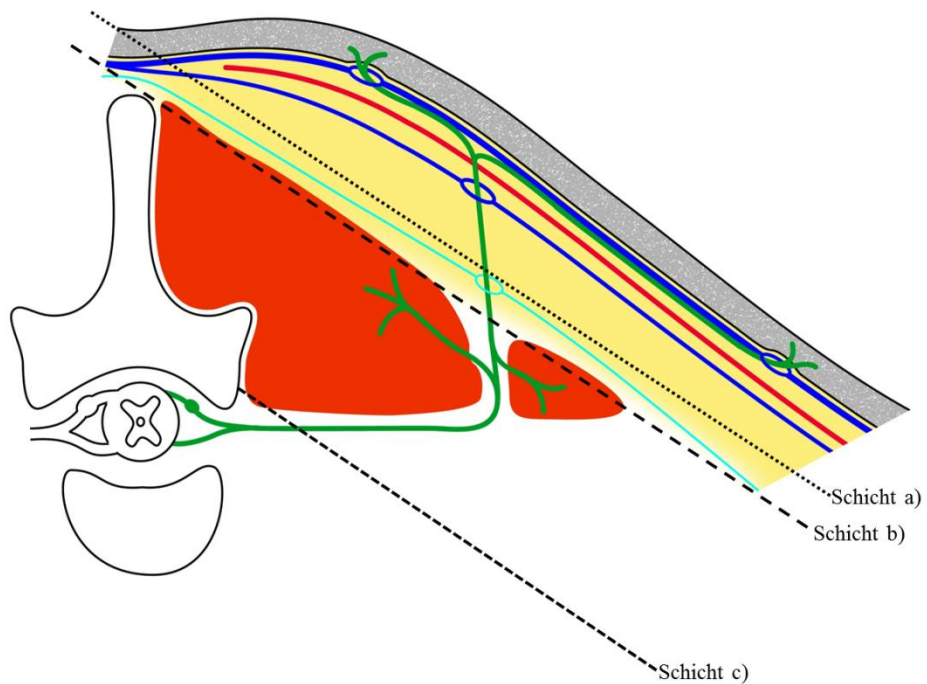


Abb. 3.2 Schematische Darstellung der drei Präparationsschichten, (a=Fascia thoracolumbalis, b=lange Rückenmuskulatur, c=For. intervertebrale)

3.2.1.1 Oberflächliche Schicht

Für die zunächst **oberflächliche Präparation der Schicht a** wurde die Haut mit einem Skalpell in Längsrichtung über den Processus spinosi der kaudalen drei bis vier Brustwirbel bis zum Beginn des Os sacrum durchtrennt. Unter Erhaltung aller sichtbaren Hautnerven erfolgte nun eine schrittweise vorsichtige Abtragung der Haut mit Skalpell und Pinzette. Hierbei konnten einige Nerven aufgrund ihrer Elastizität und Länge mit der Haut in Verbindung gehalten werden. An Stellen, wo dies nicht möglich war, erfolgte eine Durchtrennung der Nerven eng an der Kutis, sodass später eine weitere Nachverfolgung in die Tiefe möglich wurde, jedoch weiterhin eine Zuordnung des Nerven zum entsprechenden Hautbereich vorgenommen werden konnte. Zusätzlich erfolgte bei jedem Hund die Dokumentation des Rückenbereiches, in dem die Nerven in die Haut eintraten.

Der sehr dünne M. cutaneus trunci und das tierartlich unterschiedlich ausgeprägte subkutane Fettgewebe wurde zusammen mit der Haut bis auf die Fascia profunda der äußeren Rumpffaszie (entspricht der Fascia thoracolumbalis) abgetragen und die Nerven bis zu ihrem Durchtritt durch diese Faszie dargestellt.

Eine farbliche Markierung der Nerven erfolgte mit grüner Acrylfarbe (Firma Royal Talens, Niederlande) und einem dünnen Pinsel, um die Nerven bei der folgenden fotografischen Dokumentation mit einer digitalen Spiegelreflexkamera (Canon EOS 400D) deutlicher vom umliegenden Gewebe abheben zu können. Zur besseren Orientierung wurden die Dornfortsatzkappen der einzelnen Wirbel sowie in manchen Fällen das Tuber coxae und in den nachfolgenden Schichten die letzte(n) Rippe(n) ebenfalls mit Acrylfarbe (blau) markiert.



Abb. 3.3 Präparation der oberflächlichen Schicht a, Hund 5, linke Seite

3.2.1.2 Mittlere Schicht

Für die weitere Präparation der **mittleren Schicht b** wurden die einzelnen Nerven in ihrem Verlauf verfolgt und nach Entfernung der Fascia thoracolumbalis und dem darunter liegenden Fettgewebe bis an ihre Durchtrittsstellen durch die lange Rückenmuskulatur (M. longissimus lumborum und M. iliocostalis lumborum) dargestellt.

Auch in dieser Schicht erfolgte eine Anfärbung und fotografische Dokumentation aller sichtbaren Nerven.



Abb. 3.4 Präparation der mittleren Schicht, Hund 5, linke Seite

3.2.1.3 Tiefe Schicht

Die Darstellung der **tiefen Schicht c** erfolgte, indem jeder einzelne Nervenast vorsichtig mit Präparation unter einer Präparationslupe durch die Rückenmuskulatur hindurch verfolgt wurde. Hierfür galt es zunächst den M. longissimus lumborum und M. iliocostalis lumborum faserweise Schicht für Schicht abzutragen. Dabei wurden alle auffindbaren Nervenstümpfe in der Muskulatur erhalten und markiert. Durch weiteres faserweises Abpräparieren der gesamten tiefen Rückenmuskulatur wurden schließlich die Spinalnervenäste bis zu ihrem Eintritt in das Foramen intervertebrale dargestellt und dem entsprechenden Rückenmarkssegment zugeordnet. Die Nerven der tiefen Schicht wurden ebenfalls wie oben beschrieben markiert und fotografiert. In der tiefen Schicht fand zusätzlich bei allen Hunden eine Längenmessung der Lendenwirbelsäule statt.

Nachdem die Präparation der tiefen Schicht beendet war, erfolgte anschließend eine Zuordnung der innervierten Hautbereiche der oberflächlichen Schicht zu den entsprechenden Ursprüngen der Nervenäste aus dem jeweiligen Foramen intervertebrale.

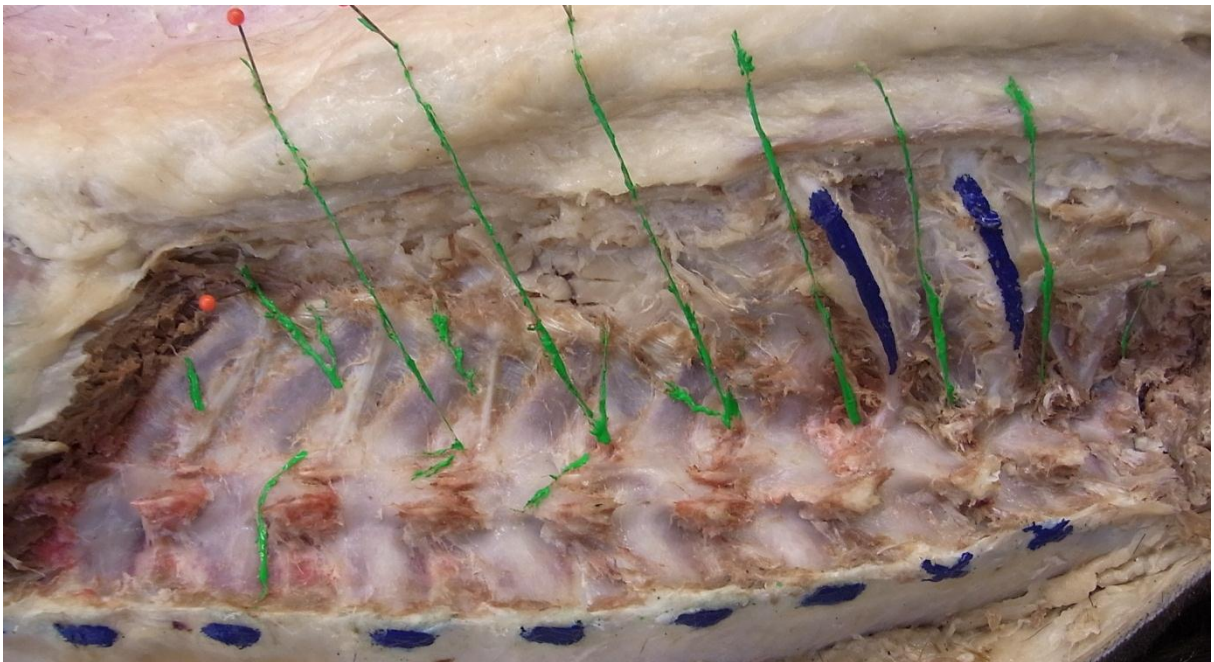


Abb. 3.5 Präparation der tiefen Schicht, Hund 5, linke Seite

3.2.1.4 Indizes zur Berechnung der Kaudalverschiebung der Nerven im Lumbalbereich

Um die Lage der Nerven am Ursprung aus dem For. intervertebrale im Vergleich zur Lokalisation in den darauf folgenden Schichten der langen Rückenmuskulatur, der Faszie sowie beim Eintritt in Haut hinsichtlich ihrer Verschiebung nach kaudal vergleichen zu können, erfolgte die Berechnung sog. Kaudalverschiebungsindizes (*KVI*), die für diese Arbeit speziell entwickelt wurden. Hierfür wurde bei jedem Hund zuerst für jeden Nerven die Kaudalverschiebung (x) errechnet.

Kaudalverschiebung (x):

$$x_{ij} = b_{ij} - \overline{a_{ij}}$$

a_{ij} = Rückenbereich auf Niveau der langen Rückenmuskeln/Fascia thoracolumbalis/Haut, in dem der Spinalnerv (i) bei dem jeweiligen Hund (j) im Lumbalbereich die Haut erreicht.

b_{ij} = Rückenbereich auf Niveau der Processus transversi, in dem der die Haut innervierende Spinalnerv (i) bei dem jeweiligen Hund (j) entspringt.

$i = 1$ (Th12), ... , 9 (L7)

$j = 1, \dots, 12$

Die Bestimmung der *KVI* wurde einzeln für die drei präparierten Schichten lange Rückenmuskulatur (*KVI-M*), Fascia thoracolumbalis (*KVI-F*) und Haut (*KVI-H*) vorgenommen.

Um die Kaudalverschiebung der Nerven der einzelnen Tiere untereinander vergleichen zu können, erfolgte die Berechnung des Kaudalverschiebungsindex für den jeweiligen Hund (*KVI_j*).

Kaudalverschiebungsindex des jeweiligen Hundes (*KVI_j*):

$$KVI_j = \frac{\sum_{i=1}^9 x_{ij}}{y_{ij}}$$

$$x_{ij} = b_{ij} - \overline{a_{ij}}$$

y_{ij} = Anzahl der die Haut im Lumbalbereich innervierenden Spinalnerven (i) bei dem jeweiligen Hund (j)

$i = 1$ (Th12), ... , 9 (L7)

$j = 1, \dots, 12$

Jeder einzelne Nerv wurde interindividuell durch die Ermittlung des Kaudalverschiebungsindex für den jeweiligen Nerven verglichen (*KVI_i*).

Kaudalverschiebungsindex des jeweiligen Spinalnervs (*KVI_i*):

$$KVI_i = \frac{\sum_{j=1}^{12} x_{ij}}{z_{ij}}$$

$$x_{ij} = b_{ij} - \overline{a_{ij}}$$

z_{ij} = Anzahl der Hunde (j), die im Lumbalbereich den jeweiligen die Haut innervierenden Spinalnerv (i) aufwiesen.

$i = 1$ (Th12), ... , 9 (L7)

$j = 1, \dots, 12$

In einem nächsten Schritt wurden die KVI_i im Verhältnis der Länge der Lendenwirbelsäule betrachtet. Des Weiteren fand ein Vergleich der KVI_i mit der Lokalisation der Nerven statt. Abschließend erfolgte eine Beurteilung der KVI_i mit der Anzahl der die Haut innervierenden Nerven. Für die Bestimmung des Grades der Korrelation wurden der Korrelationskoeffizient (r) sowie das Bestimmtheitsmaß (R^2) errechnet. Abb. 3.6 zeigt die Beurteilung der Korrelationen anhand der Werte von r bzw. R^2 .

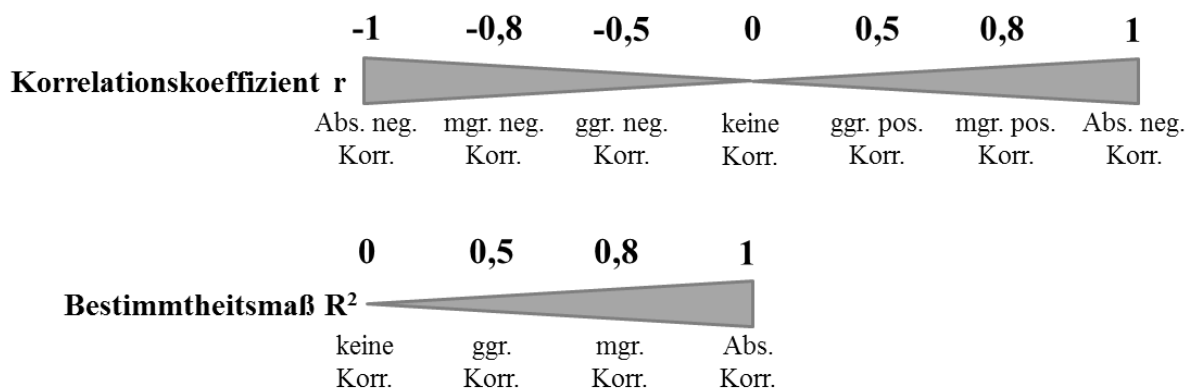


Abb. 3.6 Beurteilung des Maßes der Korrelation anhand des Korrelationskoeffizienten (r) und des Bestimmtheitsmaßes (R^2)

3.2.2 Subkutaner Nervenverlauf

Bei zwei Hunden (Collie, weiblich, 11 Jahre und Deutsche Dogge, männlich, 6 Jahre) war es möglich, den Verlauf der Nerven in der subkutanen Schicht im Bereich des M. cutaneus trunci bzw. der Fascia superficialis vorzunehmen. Hierfür erfolgte beim Collie eine vorsichtige Trennung der Haut von der Faszie. Bei diesem Tier war der Hautmuskel bis auf wenige Fasern, die mit der Dermis verbunden waren, zurückgebildet. Bei der Deutschen Dogge wurde die Haut vom Hautmuskel abpräpariert und die Nerven auf dem Muskel liegend dargestellt.

Alle sichtbaren Nervenäste wurden auch bei diesen Präparationen mit grüner Acrylfarbe markiert und fotografiert.



Abb. 3.7 Präparation der subkutanen Schicht, linke Seite, Dogge

4 Ergebnisse

4.1 Ursprung und Anzahl der Nerven zur Innervation der Haut im Lumbalbereich

Für die Präparation der Spinalnervenäste von ihrer Endverzweigung in der Haut bis zum Austritt aus dem jeweiligen Foramen intervertebrale standen insgesamt zwölf Hunde zur Verfügung. Nach der Beendigung der Präparation wurden alle Nervenäste in der tiefen Schicht c (siehe Abb. 3.2) dem jeweiligen Foramen intervertebrale zugeordnet, aus dem sie den Wirbelkanal verließen. Weiterhin wurde die Lage der Nerven in der mittleren Schicht b (lange Rückenmuskulatur), der oberflächlichen Schicht a (Fascia thoracolumbalis) sowie beim Eintritt in die Haut den in Kapitel 3.2.1 festgelegten Rückenbereichen zugewiesen.

In der folgenden Ergebnisdarstellung wird der Verlauf der Nerven in zur Präparation umgekehrter Reihenfolge, d.h. beginnend in der tiefen Schicht c am Austritt aus dem For. intervertebrale bis hin zum Eintritt in die Kutis beschrieben.

Spinalnervenäste, welche die Haut des Lumbalbereiches innervierten, entsprangen insgesamt aus den Rückenmarkssegmenten Th12 bis L5. Die Anzahl dieser Nervenäste variierte zwischen drei und sieben. So besaßen zwei Tiere sieben Äste (16,7%), vier Tiere sechs Äste (33,3%), drei Tiere fünf Äste (25%), zwei Tiere hatten vier (16,7%) und ein Tier wies drei Äste auf (8,3%). Tab. 4.1 gibt einen Überblick über die Tiere mit den unterschiedlichen Nervenanzahlen und deren Ursprungssegmenten.

Rami dorsales entsprangen aus allen beschriebenen Segmenten (Th12 bis L5). Auch bei den Rr. dorsales variierte die Anzahl von drei bis sieben. Hier besaß ein Tier sieben Rr. dorsales (8,3%), zwei Tiere wiesen sechs Äste auf (16,7%), vier Hunde besaßen fünf Äste (33,3%), zwei Hunde vier (16,7%) und drei Hunde drei Rr. dorsales. (25%).

Rami ventrales (Rr. ventrales) zur Versorgung der Haut des Lumbalbereiches besaßen sechs der zwölf Hunde (50%). Diese stammten aus den Segmenten L3, L4 und L5. Bei zwei Hunden wurden zwei und bei vier Hunden ein R. ventralis aufgefunden.

Tab. 4.1 Anzahl der Nerven und deren Ursprungssegmente bei n=12 Hunden

Anzahl Nerven	Ursprungssegmente	Hund
3	Th13 – L2	7
4	Th12 – L1, L4	9
4	Th13 – L3	6
5	Th12 – L3	3
5	Th12 – L3	5
5	Th12 – L3	11
6	Th12 – L3, L5	12
6	Th13 – L4 (L3 R. dors. und R. ventr.)	8
6	Th13 – L4 (L3 R. dors. und R. ventr.)	10
6	Th13 – L5	2
7	Th12 – L5	1
7	Th12 – L5	4

Was den segmentalen Ursprung der Rami dorsales im Bereich der Procc. transversi betrifft, so wiesen alle zwölf Tiere einen R. dorsalis aus Th13 sowie L1 auf. 91,7% der Hunde besaßen einen R. dorsalis aus L2 (n=9), 75% einen R. dorsalis aus L3, bei 58,3% (n=7) wurde ein R. dorsalis aus Th12 und bei 25% der Tiere ein R. dorsalis aus L4 (n=3) identifiziert. 16,7% der Tiere (n=2) hatten einen R. dorsalis aus dem Segment L5. Der Ursprung der Rr. ventrales entfiel bei je 25% (n=3) auf L3 und L4, 16,7% (n=2) besaßen einen R. ventralis aus dem Segment L5.

Ergebnisse

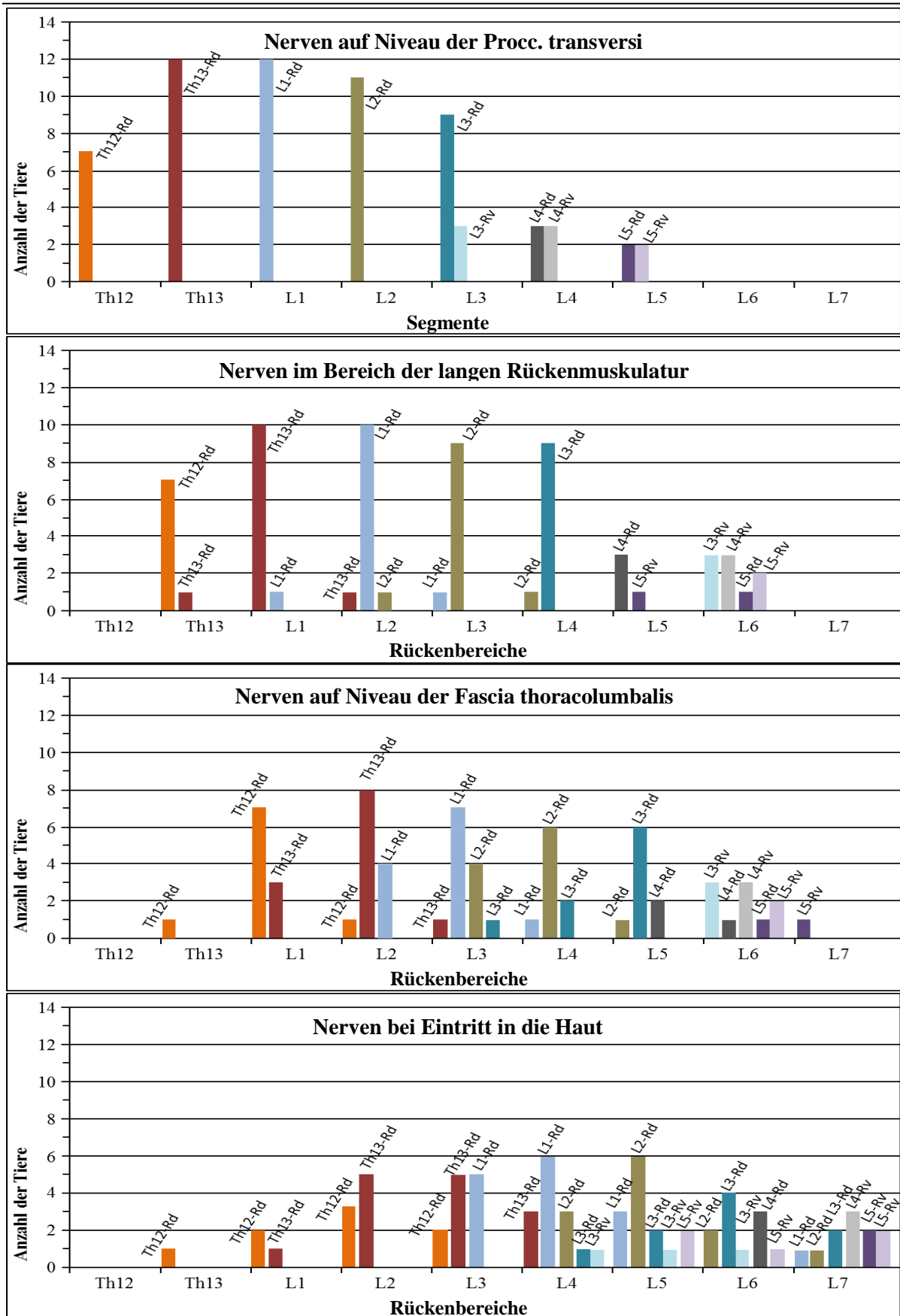


Abb. 4.1 Nervenursprünge und -verläufe in den vier untersuchten Schichten bei n=12 Hunden (Rd=R. dorsalis; Rv=R. ventralis)

4.2 Verlauf der einzelnen Nerven

Abbildung 4.1 zeigt einen Überblick über den Ursprung und den Verlauf der Hautnerven bei den zwölf untersuchten Hunden. Dargestellt sind von oben nach unten folgende Schichten: tiefe Schicht (c) auf Niveau der Procc. transversi, mittlere Schicht (b) im Bereich der langen Rückenmuskulatur, oberflächliche Schicht (a) auf Niveau der Fascia thoracolumbalis und bei Eintritt der Nervenäste in die Haut.

Die oberste Graphik lässt erkennen, wie viele Hunde einen R. dorsalis bzw. einen R. ventralis aus den entsprechenden Rückenmarkssegmenten besaßen. In den folgenden Diagrammen können anhand der unterschiedlichen Farben die einzelnen Nerven in ihrem Verlauf in Richtung Haut verfolgt werden. In jeder Schicht ist ersichtlich, in welchen Rückenbereichen die einzelnen Nervenäste lokalisiert sind. So ist zum einen eine zur Oberfläche zunehmende Verschiebung der Nervenäste in zumeist kaudale Richtung zu erkennen. Des Weiteren wird anhand der Aufteilung der Farbbalken der einzelnen Nerven deutlich, dass die Nerven bei den zwölf untersuchten Hunden nicht an derselben Stelle in den präparierten Schichten lokalisiert sind. Dabei nimmt diese Divergenz in der Lage der Nerven von der Schicht der langen Rückenmuskulatur über die Schicht im Bereich der Fascia thoracolumbalis zu und zeigt bei Eintritt in die Haut die höchste Variabilität.

Da der Verlauf der in dieser Arbeit dargestellten Nervenäste in jedem Segment von der tiefen Schicht c bis zur Aufzweigung in der Haut erheblich variiert, wird im Folgenden jeder Nervenast kurz einzeln beschrieben. In dieser Einzelbeschreibung wird zunächst die Anzahl der Tiere angegeben, die den jeweiligen Nervenast aufwiesen. Darauffolgend wird die z.T. individuell unterschiedliche Lokalisation der Nerven in den nächsten Schichten (Muskulatur, Faszie, Haut) genannt und abschließend auf eine eventuelle Verzweigung vor Eintritt in die Dermis hingewiesen. Eine parallele Betrachtung der Abb. 4.1 ist hier sinnvoll.

4.2.1 Ramus dorsalis Th12

Sieben Hunde wiesen einen R. dorsalis aus dem Segment Th12 auf. Dieser Ast war bei allen sieben Tieren in der nächsten Schicht im Bereich der langen Rückenmuskulatur im Rückenbereich Th13 aufzufinden. Im Bereich der Fascia thoracolumbalis (Schicht a) variierte die Lokalisation des Durchtrittes durch die Faszie. Während bei fünf Tieren der R. dorsalis im Bereich L1 zu liegen kam, perforierte bei je einem Tier der Nerv die Faszie im Rückenbereich Th13 respektive L2. In der Haut verzweigte sich der R. dorsalis aus Th12 bei einem Tier auf Höhe von L1, bei drei Tieren im Bereich von L2 und bei zwei Tieren in L3. Bei einem Hund teilte sich dieser Nerv vor dem Eintritt in die Haut und hatte daher zwei Äste, die in die Haut zogen, namentlich in den Bereichen von Th13 und L1.

4.2.2 Ramus dorsalis Th13

Einen R. dorsalis aus dem Segment Th13 wiesen alle zwölf untersuchten Hunde auf. In der Muskelschicht trat dieser Ast bei zehn Tieren im Bereich von L1 durch die langen Rückenmuskeln, bei je einem Tier befand sich dieser R. dorsalis im Bereich Th13 respektive L2. In der Schicht b perforierte der R. dorsalis die Faszie bei acht Hunden im Bereich L2, bei drei Hunden in L1 und bei einem Hund in L2. In der Haut endete dieser Nervenast bei je drei Tieren in L2 bzw. L3 und bei vier Tieren in L3. Bei zwei Hunden fand vor Eintritt in die Kutis eine Zweiteilung statt. Bei einem Hund traten die beiden Äste in den Bereichen L1 und L2, bei dem anderen in den Bereichen L2 und L3 in die Haut ein.

4.2.3 Ramus dorsalis L1

In allen zwölf Fällen wurde ein R. dorsalis aus dem Segment L1 aufgefunden. Dieser Dorsalast trat bei zehn Hunden durch die lange Rückenmuskulatur im Rückenbereich L2, bei je einem Tier erfolgte der Durchtritt im Bereich von L1 bzw. L3. Auf Niveau der Fascia thoracolumbalis perforierte dieser Dorsalast bei vier Hunden die Faszie im Bereich L2, bei sieben Tieren im Bereich L3 und bei einem Tier im Bereich L4. Der Eintritt in die Haut erfolgte in drei Fällen im Bereich L3, bei vier Tieren im Bereich L4 und bei zwei Tieren im Bereich L5. Bei drei Hunden wies der R. dorsalis aus L1 vor Erreichen der Kutis eine Zweiteilung auf, sodass bei zwei Hunden die zwei Äste im Bereich L3 und L4 und bei einem weiteren Hund im Bereich L5 und L7 in die Haut zogen.

4.2.4 Ramus dorsalis L2

Elf Hunde besaßen einen R. dorsalis aus diesem Segment. Dieser war in Schicht b bei neun Tieren im Bereich von L3 und bei je einem Tier im Bereich L2 bzw. L4 lokalisiert. Durch die Faszie zog dieser R. dorsalis in vier Fällen im Bereich L3, in sechs Fällen im Bereich L4 und in einem Fall im Bereich L5. Die Aufzweigung in der Haut erfolgte bei drei Hunden im Bereich L4, bei fünf Hunden im Bereich L5 und bei je einem Hund im Bereich L6 bzw. L7. Ein Hund wies wiederum vor Eintritt in die Haut eine Zweiteilung des R. dorsalis auf, hier lag der Eintritt in die Haut im Bereich von L5 und L6.

4.2.5 Ramus dorsalis L3

Der R. dorsalis aus dem Segment L3 konnte in neun Fällen dargestellt werden. Bei allen neun Hunden erfolgte der Durchtritt durch die Rückenmuskulatur in L4. Die Perforationsstelle durch die Faszie lag bei einem Hund im Bereich von L3, bei zwei Tieren im Bereich von L4 und bei den übrigen sechs Tieren im Bereich L5. In die Haut zog dieser Dorsalast in einem Fall auf Höhe L4, in zwei Fällen im Bereich L5, bei vier Tieren verzweigte sich der Ast im Bereich L6 und bei zwei Hunden im Bereich L7.

4.2.6 Ramus ventralis L3

Diesen Ventralast wiesen drei Hunde auf. Bei allen drei Tieren erfolgte der Durchtritt sowohl durch die Muskulatur als auch durch die Fascia thoracolumbalis auf Höhe von L6. Die Verzweigung dieses Astes in der Haut war bei je einem Tier im Bereich von L4, L5 bzw. L6 lokalisiert.

4.2.7 Ramus dorsalis L4

Ebenfalls bei drei Tieren wurde ein Dorsalast aus Segment L4 präpariert. Dieser trat einen Bereich weiter kaudal, also auf Höhe von L5 durch die Muskulatur und perforierte die Faszie bei zwei Tieren im Bereich L5 sowie bei einem Tier im Bereich L6. Der Eintritt in die Haut erfolgte bei allen drei Tieren gleichermaßen im Bereich von L6.

4.2.8 Ramus ventralis L4

Auch ein Ramus ventralis aus dem Segment L4 konnte bei drei Tieren nachgewiesen werden. Dieser Ventralast war in der Schicht der Muskulatur und der Faszie im Bereich von L6 aufzufinden. In der Haut endete dieser Ast bei den drei Tieren gleich im Bereich von L7.

4.2.9 Ramus dorsalis L5

Diesen Dorsalast besaßen zwei Hunde. Er trat bei je einem Tier auf Höhe von L5 bzw. L6 durch die Muskulatur und perforierte die Faszie wiederum bei je einem Hund im Bereich von L6 respektive L7. Bei beiden Hunden erfolgte der Eintritt in die Haut auf Höhe von L7.

4.2.10 Ramus ventralis L5

Ebenfalls zwei Hunde wiesen einen Ramus ventralis aus dem Segment L5 auf. Dieser trat in beiden Fällen im Bereich von L6 durch sowohl die Muskulatur als auch die Fascia thoracolumbalis und verzweigte sich im Bereich von L7 in der Haut.

4.3 Kaudalverschiebungsindex für die einzelnen Hunde (KVI_j)

Bei der Berechnung der KVI_j wurden bei den Tieren, bei denen sich Nerven vor Erreichen der Haut in zwei oder mehr Äste aufteilten, die Lokalisation im Mittelwert verwendet.

Tabelle 4.2 zeigt die Kaudalverschiebungsindizes der zwölf untersuchten Hunde in den drei Schichten. Zusätzlich ist die Länge der Lendenwirbelsäule (LWS) angegeben.

Ergebnisse

Tab. 4.2 Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Hunde in den drei Schichten: lange Rückenmuskulatur (KVI_j-M), Faszie (KVI_j-F) und Haut (KVI_j-H); arithmetische Mittelwerte angegeben

Hund	Länge der LWS	KVI_j-M	KVI_j-F	KVI_j-H
1	14,6 cm	1	1,14	2
2	14,9 cm	1	2	1,92
3	14,3 cm	1	2	4
4	16,2 cm	0,86	1	2
5	17,4 cm	1	2,2	3,4
6	18,0 cm	0,75	1,5	2,38
7	21,2 cm	2	3	4,67
8	23,6 cm	1,5	2,17	2,67
9	23,2 cm	1,25	2	2,5
10	25,1 cm	1,5	1,5	2,58
11	24,7 cm	1	2	3
12	25,9 cm	1	1,83	2,92
	$\overline{LWS} = 19,93 \text{ cm}$	$\overline{KVI_j - M} = 1,16$	$\overline{KVI_j - F} = 1,87$	$\overline{KVI_j - H} = 2,84$

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass mit einer Ausnahme (Hund 2) alle Tiere einen von der tiefen zur oberflächlichen Schicht steigenden Kaudalverschiebungsindex aufweisen. Die Werte für die KVI_j-M liegen zwischen 0,75 und 2. In der Schicht auf Niveau der Faszie betragen die Werte für die KVI_j-F zwischen 1,14 und 3. Die KVI_j-H in der Haut liegen zwischen 1,92 und 4,67. Die Kaudalverschiebung der Nerven an ihrem Ursprung im Bereich der Procc. transversi im Verhältnis zur präparierten Schicht im Bereich der langen Rückenmuskeln bei den zwölf Hunden beträgt im Mittel 1,16. Im Bereich der Fascia thoracolumbalis hat die kaudale Verschiebung einen Mittelwert von 1,87. Bei Eintritt in die Haut beträgt der Mittelwert für die Kaudalverschiebung 2,84. Der Mittelwert der Länge der Lendenwirbelsäule beträgt 19,93 cm.

Setzt man die KVI_j der drei Schichten ins Verhältnis zur Länge der Lendenwirbelsäule der untersuchten Hunde, so ergibt sich keine Korrelation der Länge der LWS mit der Kaudalverschiebung der zwölf untersuchten Hunde (Abb. 4.2).

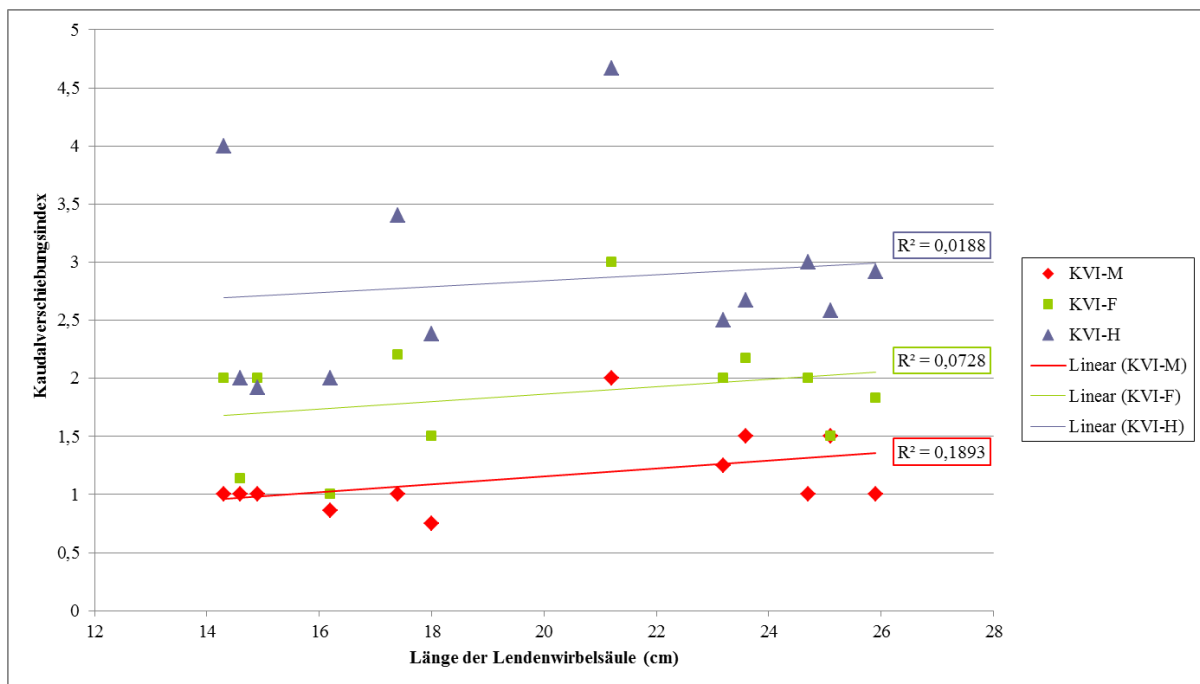


Abb. 4.2 Verhältnis der KVI_j zur Länge der LWS bei $n=12$ Hunden: R^2 =Bestimmtheitsmaß; KVI: Kaudalverschiebungsindex der Schicht der Muskulatur (-M), Faszie (-F) und Haut (-H)

4.4 Kaudalverschiebungsindex der einzelnen Nerven (KVI_j)

Die Errechnung der KVI_j erfolgte einzeln für jeden Dorsal- sowie Ventralast (Tab. 4.3).

Für alle **Rami dorsales** konnte eine steigende Kaudalverschiebung von der Tiefe in Richtung Haut ermittelt werden. Der KVI_j -M lag mit Ausnahme des R. dorsalis aus L5 bei 1. Für den KVI_j -F wurden Werte zwischen 1 und 2 errechnet. Der KVI_j -H lag zwischen 2 und 3,05.

Bei den KVI_j der **Rami ventrales** fällt auf, dass sich die Position der Ventraläste zunächst von der Schicht auf Niveau der Procc. transversi um ein bis drei Rückenbereiche nach kaudal verlagerte. Von der Schicht der langen Rückenmuskulatur bis zur Faszie blieben die Rr. ventrales auf gleichem Niveau. Während die KVI_j der Rr. ventrales aus L4 und L5 für die Schicht der Haut einen höheren Wert der Kaudalverschiebung der Nerven als in der Muskelschicht aufzeigten, so wies der KVI_j vom R. ventralis aus dem Segment L3 als einziger einen niedrigeren Wert in der Haut auf, als in den tiefer liegenden Schichten. In den Fällen, in denen sich der R. ventralis vor Eintritt in die Haut bereits verzweigte, verlief einer der Äste stets weiter nach kaudal, während der andere wieder nach kranial in das Hautareal über dem Ursprungssegment zurücklief.

Tab. 4.3 Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Nerven in den drei Schichten inkl. ihrer arithmetischen Mittelwerte; Rd=R. dorsalis, Rv=R. ventralis

	KVI_i-M	KVI_i-F	KVI_i-H
Th12	1	2	2,93
Th13	1	1,83	2,83
L1	1	1,75	3
L2	1	1,73	3,05
L3-Rd	1	1,56	2,78
L4-Rd	1	1,33	2
L5-Rd	0,5	1,5	2
L3-Rv	3	3	1,5
L4-Rv	2	2	2,5
L5-Rv	1	1	1,5
	$\overline{KVI_i - M} = 1,25$	$\overline{KVI_i - F} = 1,77$	$\overline{KVI_i - H} = 2,61$

Vergleicht man die KVI_i der **Rami dorsales** in den drei präparierten Schichten mit der Lokalisation der Nerven, so ergibt sich ein mittlerer negativ linearer Zusammenhang zwischen der Lage der Nerven und der Kaudalverschiebung auf Niveau der langen Rückenmuskulatur (KVI_i-M , $r=-0,61$). Der KVI_i im Bereich der Fascia thoracolumbalis weist eine hohe negative Korrelation auf ($r=-0,93$). Eine mittlere bis hohe negative Korrelation zwischen der Lokalisation der Rr. dorsales und ihrer Kaudalverschiebung besteht auf Niveau der Haut ($r=-0,79$) (Abb. 4.3).

Abb. 4.4 zeigt das Verhältnis der Kaudalverschiebungen der aufgefundenen **Ventraläste** in den drei Schichten zur Lokalisation der Nerven. Hier zeigen die KVI_i in der Muskulatur sowie der Faszie eine absolut negative Korrelation ($r=-1$), während kein linearer Zusammenhang der Lage der Nerven zur Kaudalverschiebung in der Haut aufgezeigt werden konnte.

Ergebnisse

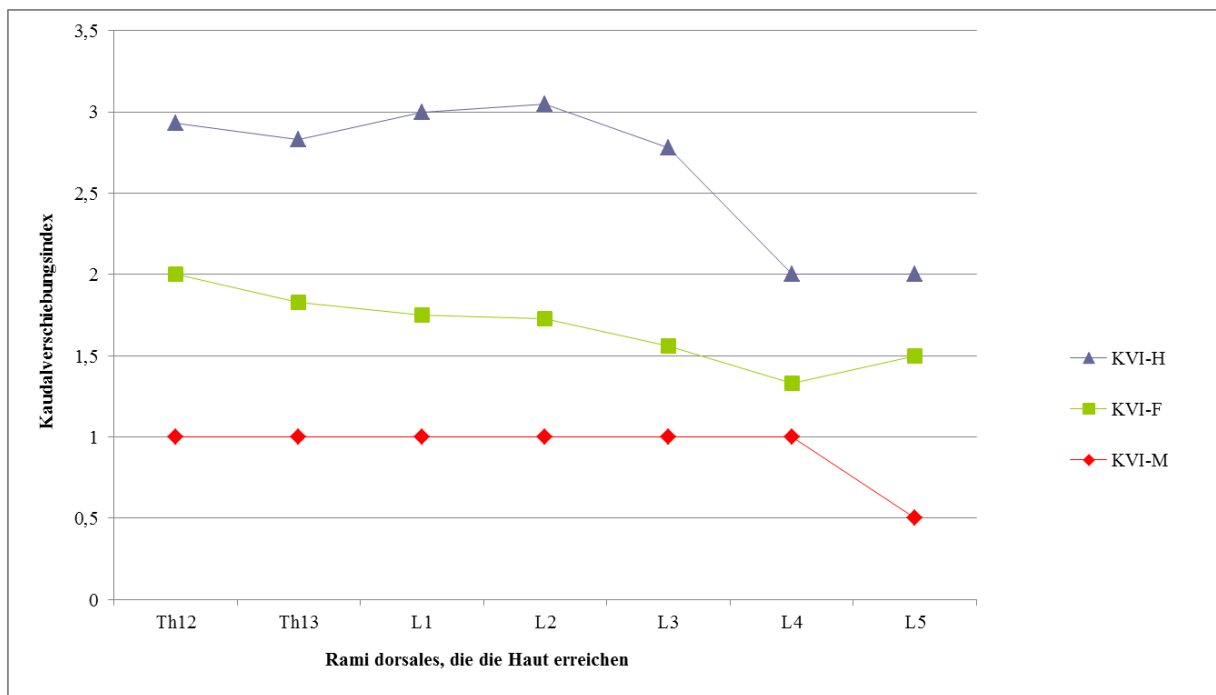


Abb. 4.3 Zusammenhang zwischen dem Kaudalverschiebungsindex (KVI_i) der drei Schichten und der Lage der einzelnen Rr. dorsales, welche die Haut erreichen

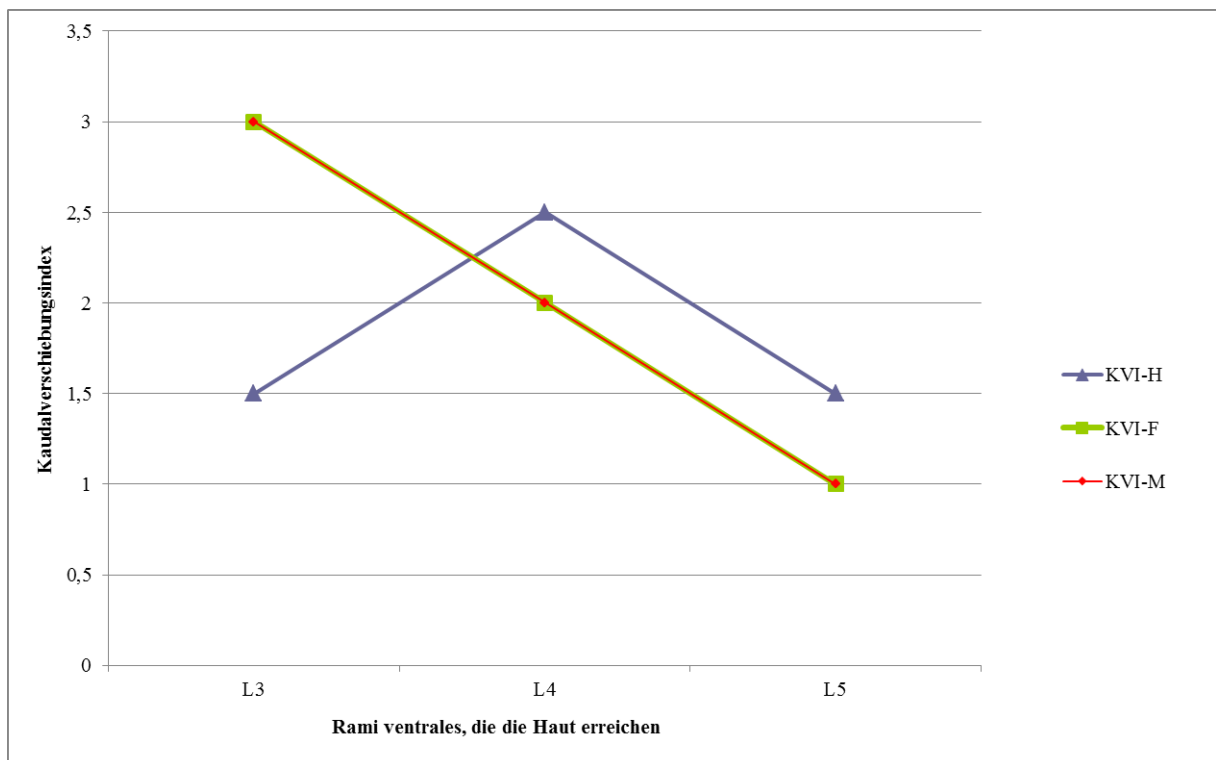


Abb. 4.4 Zusammenhang zwischen dem Kaudalverschiebungsindex (KVI_i) der drei Schichten und der Lage der einzelnen Rami ventrales, welche die Haut erreichen

4.5 Anzahl der Hautnervenäste und ihre Kaudalverschiebung

Die Anzahl der Hautäste der Nervi spinales zur Innervation des Lumbalbereiches variierte bei den zwölf untersuchten Hunden zwischen drei und sieben. Die höchste Nervenzahl mit sieben Ästen hatten Hund 1 (Bologneser, Abb. 4.4) und Hund 4 (Whippet), während die geringste Nervenzahl mit drei Ästen bei Hund 7 (Shar Pei, Abb. 4.5) zu finden war. Die Häufigkeit der Nervenzahl verhielt sich wie folgt:

- 3 Nervenäste n=1 Hund
- 4 Nervenäste n=2 Hunde
- 5 Nervenäste n=3 Hunde
- 6 Nervenäste n=4 Hunde
- 7 Nervenäste n=2 Hunde

Alle Tiere besaßen jeweils drei oder mehr Rami dorsales, bei sechs Tieren wurden zusätzlich Rami ventrales identifiziert. Tabelle 4.4 zeigt die Anzahl der Dorsal- bzw. Ventraläste bei den präparierten Hunden.

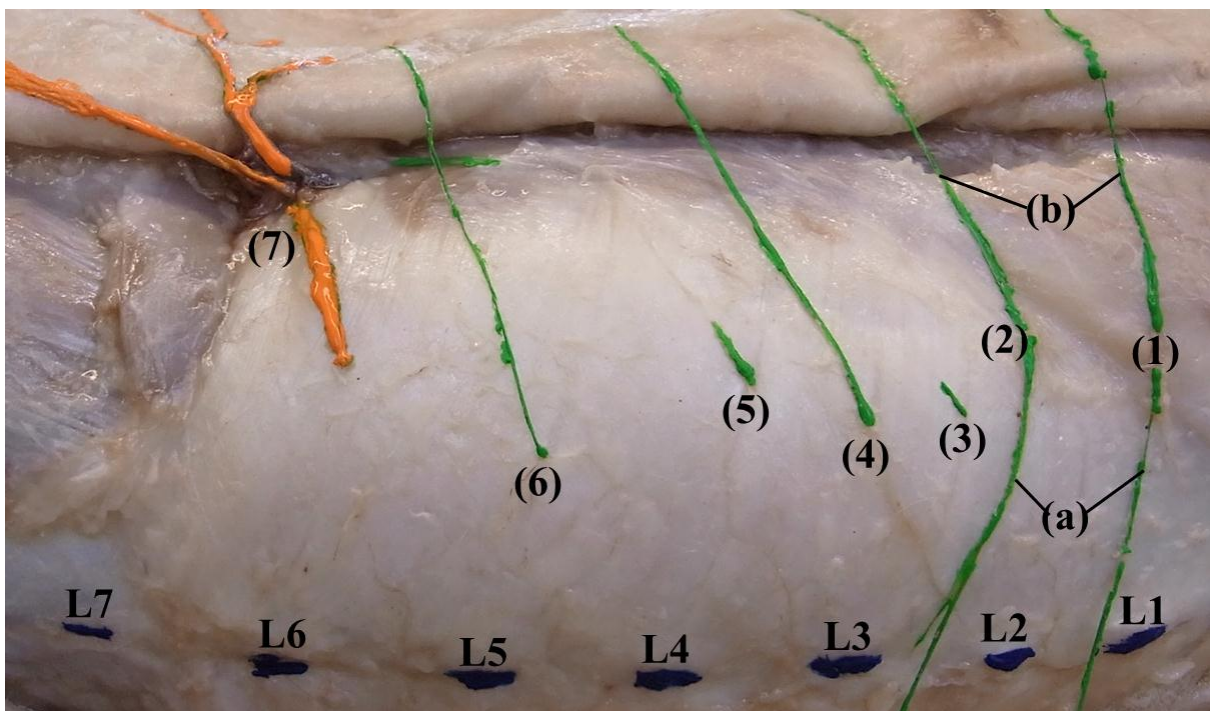


Abb. 4.5 Präparationsschicht auf Niveau der Fascia thoracolumbalis, linke Seite, Hund 1 (Bologneser); bei diesem Hund beteiligen sich sieben Hautnerven an der Innervation der Lendenregion. (1) bis (6) markieren die Rr. dorsales aus den Segmenten Th12 bis L4; (7) stellt den R. ventralis aus dem Segment L5 dar; (a)=R. cut. med. von (1) bzw. (2); (b)=R. cut. lat. von (1) bzw. (2); L1 bis L7 markieren die jeweiligen Lendenwirbeldornfortsätze

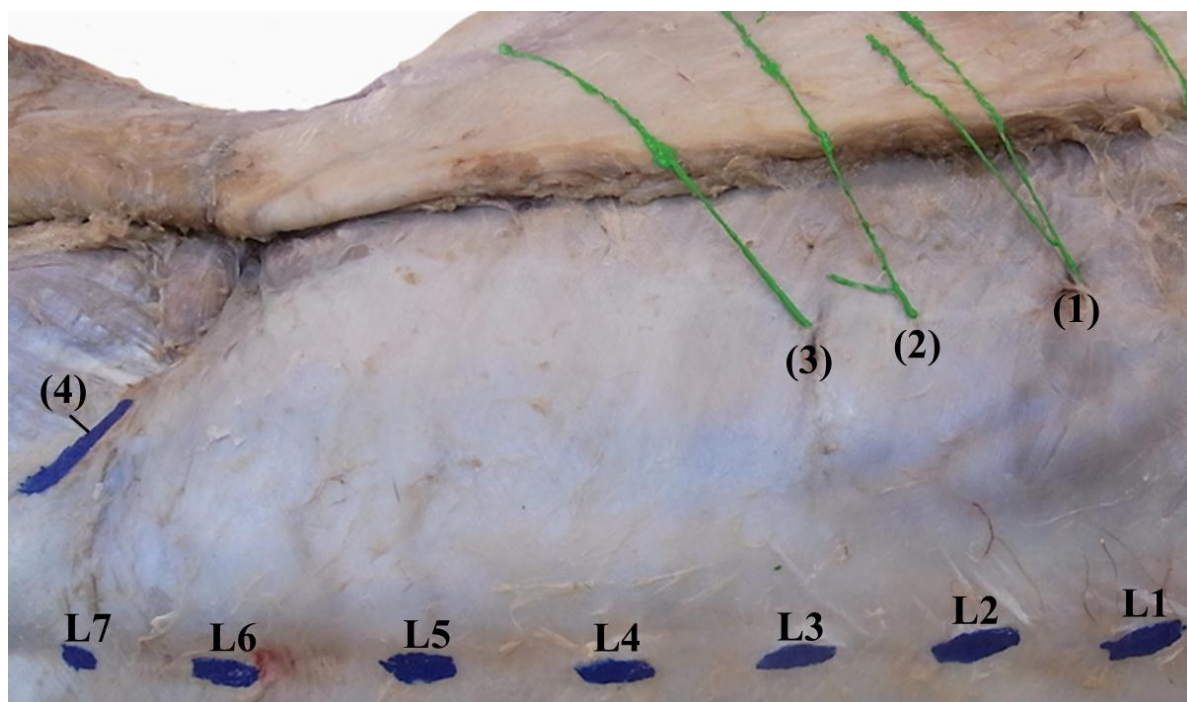


Abb. 4.6 Präparationsschicht auf Niveau der Fascia thoracolumbalis, linke Seite, Hund 7 (Shar Pei); bei diesem Hund beteiligen sich drei Hautnerven an der Innervation der Lendenregion. (1) bis (3) markieren die Rr. dorsales aus den Segmenten Th13 bis L2; (4)=Tuber coxae; L1 bis L7 markieren die jeweiligen Lendenwirbeldornfortsätze

Tab. 4.4 Anzahl der Rr. dorsales bzw. Rr. ventrales bei n=12 Hunden

Hund	Anzahl Rr. dorsales	Anzahl Rr. ventrales
1	6	1
2	6	-
3	5	-
4	7	-
5	5	-
6	3	1
7	3	-
8	4	2
9	3	1
10	4	2
11	5	-
12	5	1

Wie aus Tab. 4.4 zu erkennen ist, kommen Rr. ventrales zur Innervation der Haut bei den untersuchten Hunden unabhängig von der Anzahl der Rr. dorsales vor.

Die Betrachtung des Zusammenhanges zwischen der Anzahl der die Haut innervierenden Spinalnervenäste und ihrer Kaudalverschiebung ergab eine hohe Korrelation auf Niveau der Fascia thoracolumbalis ($R^2=0,72$). Auf Niveau der Haut wurde eine mittlere bis hohe Korrelation festgestellt ($R^2=0,61$). Ein geringer linearer Zusammenhang zwischen der Nervenzahl und ihrer Kaudalverschiebung bestand in der Schicht der langen Rückenmuskulatur ($R^2=0,45$) (Abb. 4.7)

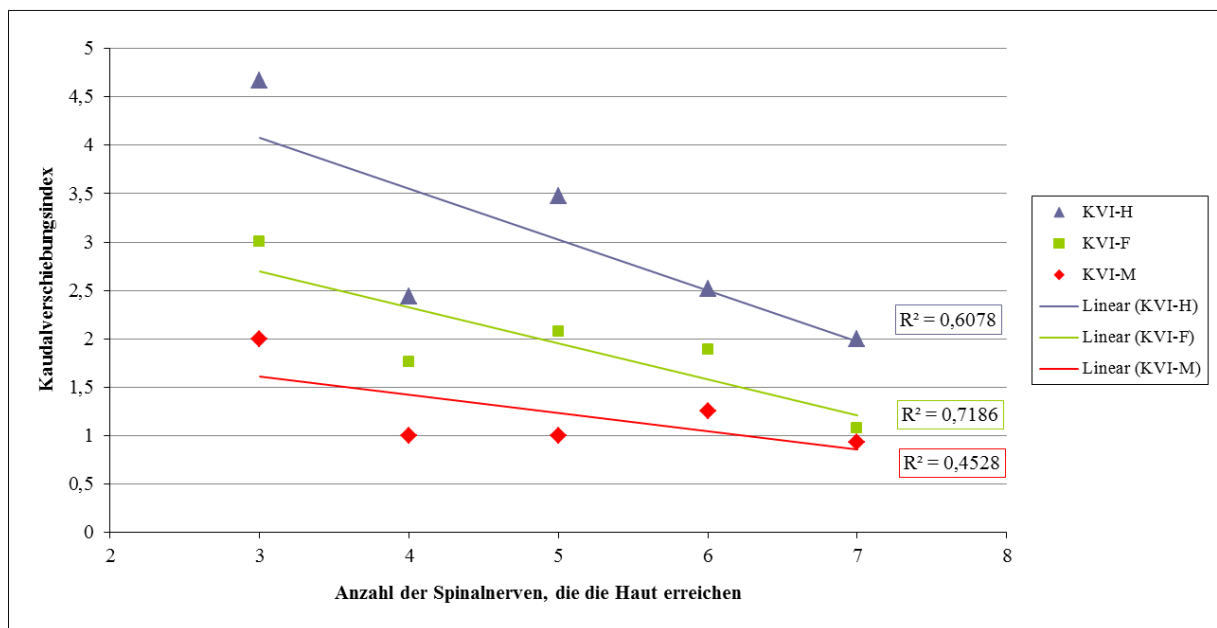


Abb. 4.7 Zusammenhang zwischen der Anzahl der kutanen Nervenäste und ihrer Kaudalverschiebung

4.6 Besonderheiten des Nervenverlaufes und der -verzweigung in den einzelnen Schichten

Im folgenden Kapitel wird auf einige Besonderheiten des Nervenverlaufes und der Nervenverzweigung bei den zwölf untersuchten Tieren eingegangen. Die Betrachtung findet für die präparierten Schichten gesondert statt.

4.6.1 Nervenverlauf im Bereich des Eintrittes in die Haut

Bei den untersuchten Hunden, bei denen ein oder mehrere Rami ventrales die dorsalen Hautpartien des Lendenbereiches versorgte, wurde stets eine mehr oder weniger ausgeprägte Überlappung der einzelnen Hautinnervationsgebiete der kaudalsten Rami dorsales mit denen der Ventraläste beobachtet (Abb. 4.8). Die Innervationsareale der einzelnen Dorsaläste überlappten sich im Gegensatz dazu jedoch bei keinem Tier.

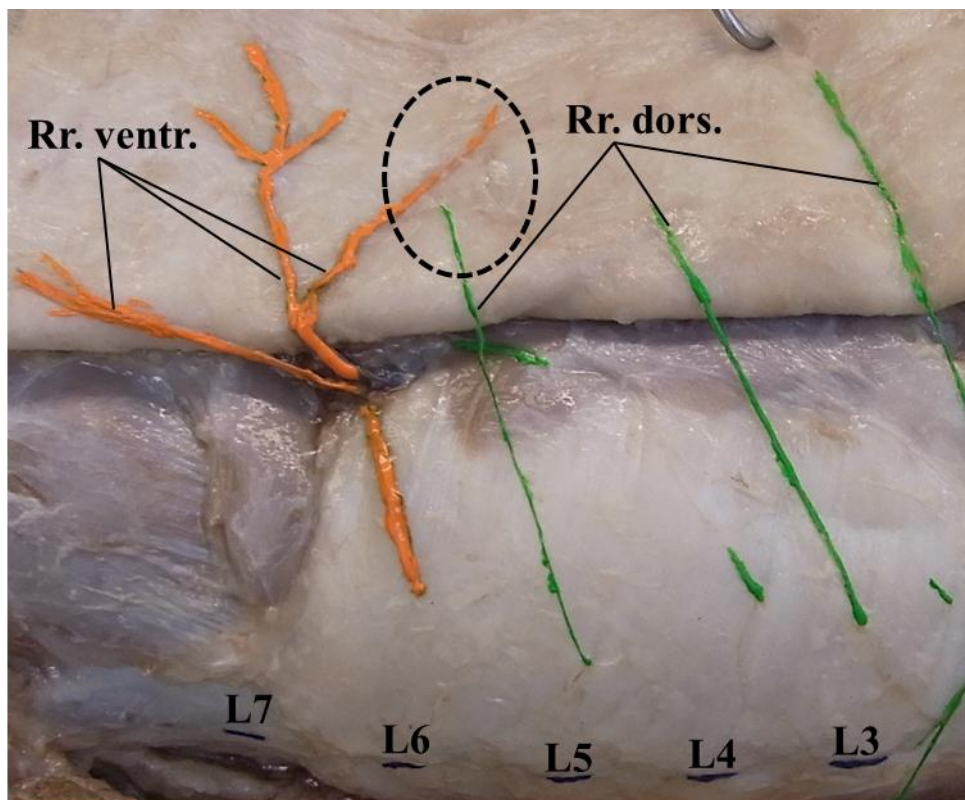


Abb. 4.8 Überlappung der Hautinnervationsgebiete eines R. dorsalis und R. ventralis im Bereich von L5. L3 bis L7 markieren die jeweiligen Procc. spinosi. Hund 1 (Bologneser)

4.6.2 Oberflächliche Schicht (a) im Bereich der Fascia thoracolumbalis

Die Nervenäste perforierten die Fascia thoracolumbalis in einem deutlich vom Proc. transversus paramedianen Abstand etwa am lateralen Rand der unter der Faszie befindlichen langen Rückenmuskulatur. Bei Hund 9 (Dalmatiner) wurde der im Verhältnis zur Körpergröße größte Abstand der Nervenäste zur Wirbelsäule beobachtet. Bei acht Tieren vergrößerte sich der paramediane Abstand der Faszienperforationen in kranialer Ausdehnung (Abb. 4.9). Bei einem Hund (Hund 8) vergrößerte sich der paramediane Abstand zwischen L3 und L1, während der Abstand in kaudaler Richtung von L3 bis L5 ebenfalls größer wurde. Bei drei Tieren traten die Nerven in unregelmäßigen paramedianen Abständen durch die Faszie.

Die Verzweigung der Rr. dorsales oberhalb der Schicht der Faszie verhielt sich variabel. Es fand entweder keinerlei Aufzweigung vor Eintritt in die Haut (n=3) oder eine Aufzweigung in zwei Äste statt (n=9). Mit zwei Ausnahmen (Hund 7 und 8) erfolgte die Zweiteilung der am weitesten kranial gelegenen R. dorsalis (zwischen Th12 und L2).

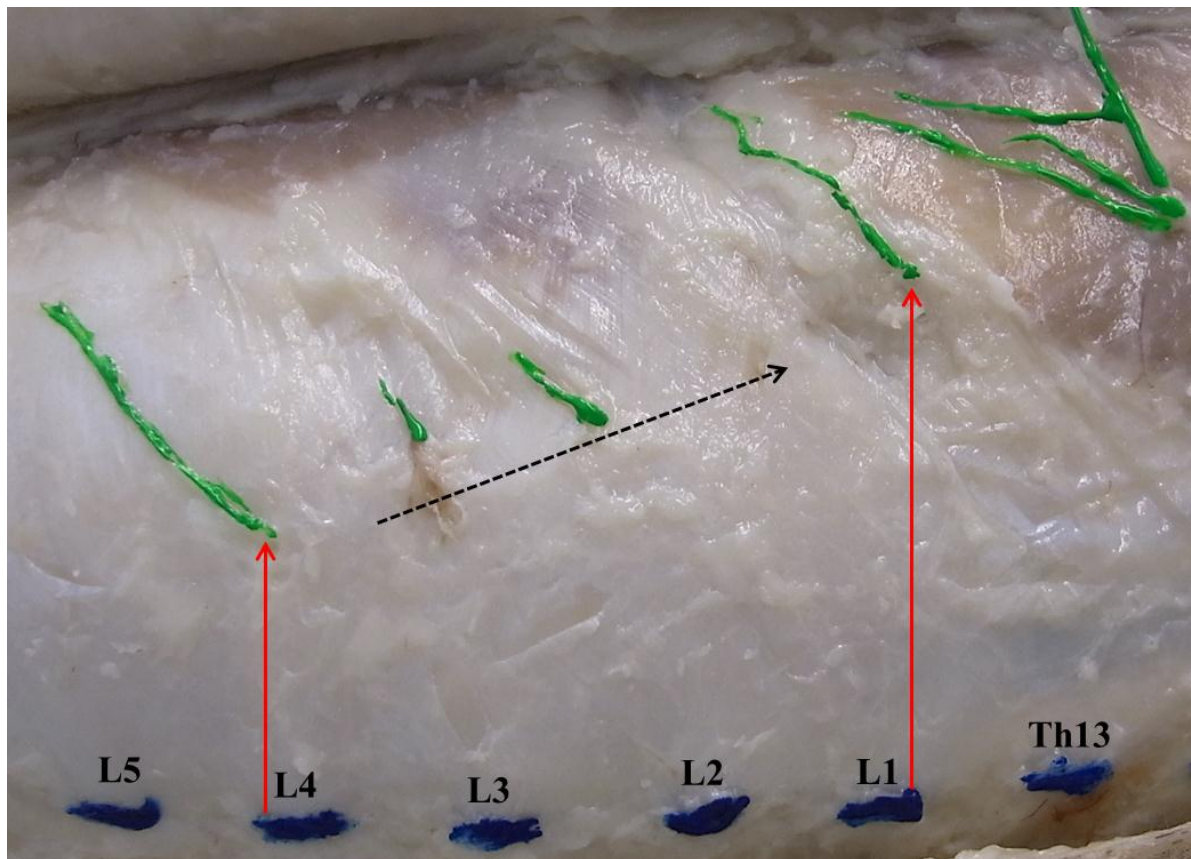


Abb. 4.9 Kranio-kaudale Zunahme (rote Pfeile) des paramedianen Abstandes der Durchtrittsstellen der Rami dorsales durch die Fascia thoracolumbalis, Hund 3 (Mischling)

Diese Aufspaltung befand sich in zwei unterschiedlichen Lokalisationen: einerseits unmittelbar im Perforationsbereich durch die Fascia thoracolumbalis und andererseits etwa auf halber Höhe zwischen der Faszie und dem Eintritt des Nerven in die Haut. Die Zweiteilung der Nerven kam bei den Hunden stets in Kombination mit unverzweigten Nervenästen vor (Abb. 4.10) und betraf bei sieben Hunden zwei und bei jeweils einem Hund drei bzw. vier Rami dorsales. Bei drei Tieren erfolgte eine Zweiteilung der Nerven sowohl direkt auf Faszienebene, als auch auf halber Entfernung zwischen Faszie und Haut, bei den übrigen Tieren trat die Verzweigung stets entweder auf Faszieniveau oder auf halbem Weg in Richtung Haut auf. Von den neun Hunden, die eine Aufspaltung der Rr. dorsales aufwiesen, verliefen bei acht Tieren diese Äste weit lateral, um letztendlich im selben Bereich (n=3), in zwei aufeinanderfolgenden Bereichen (n=4) oder mit einem Bereich Abstand (n=1) in die Haut einzutreten. Bei zwei Hunden verlief ein Ast lateral, wohingegen der andere in Richtung Medianebene strebte. Bei zwei Hunden (Hund 1 und Hund 8) endete der mediale Ast sogar circa zwei Millimeter jenseits der Medianen auf der kontralateralen Körperhälfte in der Haut (Abb. 4.10).

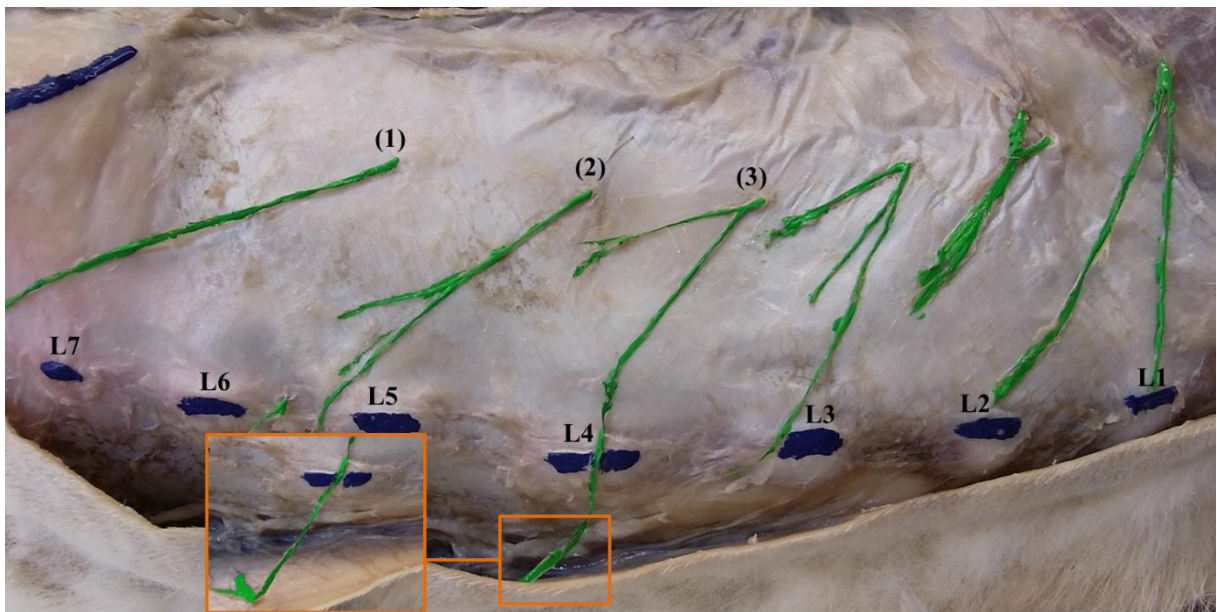


Abb. 4.10 Nervenverzweigung der Rr. dorsales (grün) auf Niveau der Fascia thoracolumbalis. (1): unverzweigter R. dorsalis; (2): Zweiteilung auf halber Strecke zwischen Faszie und Haut; (3): Zweiteilung im Bereich der Faszie. Der R. dorsalis im Rückenbereich L4 zieht auf der kontralateralen Körperseite in die Haut (oranger Kasten). Hund 9 (Kanadischer Schäferhund)

Bei fünf Hunden wurden in der **Medianebene kleine Nervenäste** identifiziert, die unmittelbar neben den Procc. spinosi durch die Faszie hindurchtraten. Die Anzahl dieser Äste lag bei einem (Höhe L6: Hund 8 und 9; Höhe L4: Hund 10), drei (Höhe L5, L6 und L7: Hund 4) und sechs (Höhe L2 bis L7: Hund 5) (Abb. 4.11).

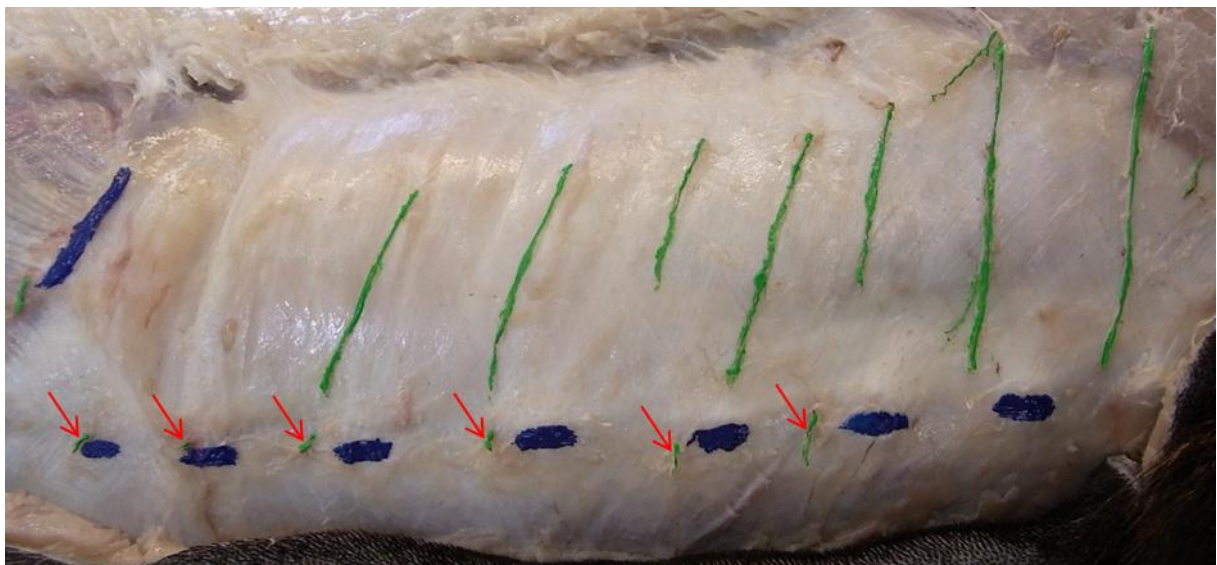


Abb. 4.11 Nervenäste in der Medianebene zwischen L2 und L7. Die Pfeile markieren die Nerven beim Faszien durchtritt in der Medianebene; Hund 6 (linke Seite)

4.6.3 Mittlere Schicht (b) im Bereich der langen Rückenmuskulatur

Bei der schrittweisen Präparation von der Fascia thoracolumbalis aus in Richtung Muskulatur wurde bei einem Hund (Hund 12) ein Nervenast zwischen Faszie und Muskulatur aufgefunden, der offensichtlich keinen Hautast besaß. Dieser Nerv trat durch die Muskulatur im Bereich von L5 (Abb. 4.12). Bei einem weiteren Hund (Hund 1) wurden in gleicher Lage zwei Nervenstümpfe dargestellt, sie befanden sich in den Bereichen L5 und L6.

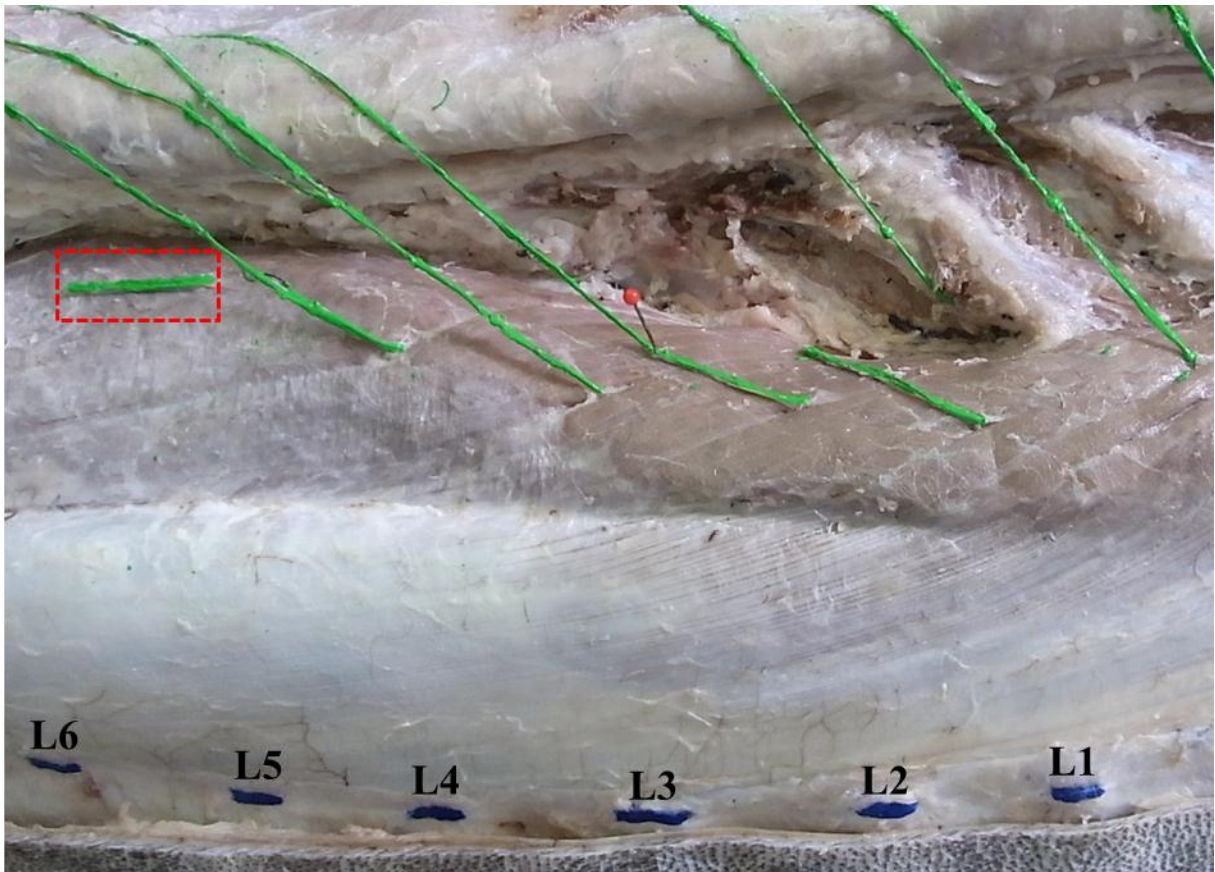


Abb. 4.12 Rr. dorsales auf der Ebene der langen Rückenmuskulatur. Die rote rechteckige Markierung stellt einen Dorsalast dar, der keinen Hautast besaß und zwischen den Präparationsschichten a) und b) aufgefunden wurde. Hund 12 (Riesenschnauzer)

Der Durchtritt der Rami dorsales erfolgte bei allen präparierten Hunden stets durch den M. iliocostalis lumborum und nie durch den M. longissimus lumborum. Auch in dieser Schicht lag der weiteste paramediane Abstand der Nervendurchtritte wie schon in Schicht a) bei Hund 9 (Dalmatiner). Bei diesem Tier traten die Nerven nahe des lateralen Randes des M. iliocostalis lumborum hindurch. Bei allen anderen Hunden erfolgte der Durchtritt etwa mittig in Längsrichtung durch den Muskel (Abb. 4.12).

Was den kranio-kaudalen paramedianen Verlauf betrifft, so zeigten sieben Hunde einen nach kaudal größer werdenden paramedianen Abstand. Bei den anderen fünf Tieren verliefen die Nerven etwa auf gleicher Höhe durch die lange Rückenmuskulatur.

Bei einem Hund (Hund 2) existierten in der Schicht über der langen Rückenmuskulatur in Längsrichtung verlaufende anastomosierende Nervenäste, welche die Rr. dorsales der Segmente Th13, L1 und L2 miteinander verbanden (Abb. 4.13). Auch im Bereich der hinteren Brustwirbelsäule wurden solche in Längsrichtung verlaufenden Nervenverbindungen identifiziert.

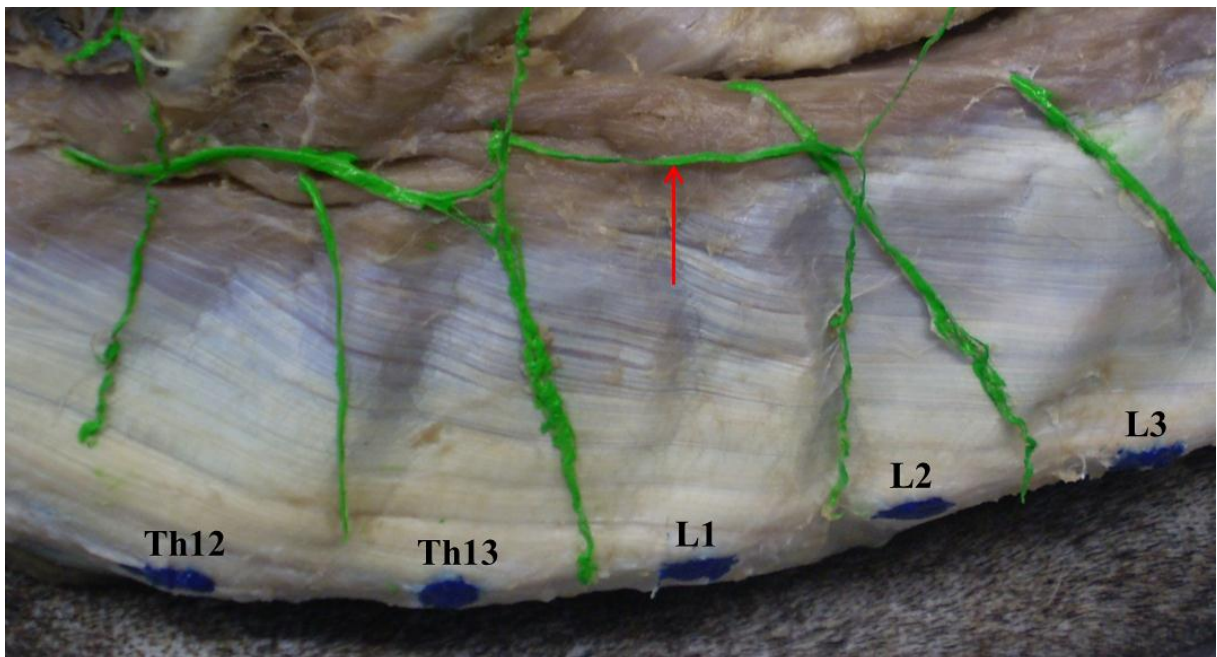


Abb. 4.13 Rr. dorsales auf Niveau der langen Rückenmuskulatur; der rote Pfeil markiert eine longitudinal verlaufende Nervenastomose im Bereich Th13 bis L2; Hund 2 (Mischling)

4.6.4 Tiefe Schicht (c) auf Niveau der Procc. transversi

Beim vorsichtigen Abtragen der langen Rückenmuskulatur wurden bei fast allen Hunden Nervenstümpfe von Dorsalästen in der Tiefe des M. iliocostalis lumborum identifiziert. Diese fehlten lediglich bei Hund 2. Die Anzahl der in der Tiefe aufgefundenen Rami dorsales variierte zwischen einem und vier (Tab. 4.5). Grundsätzlich kann die Aussage getroffen werden, dass Rr. dorsales bis zum Segment L5 (n=6) bzw. L6 (n=5) bei allen untersuchten Hunden vorhanden waren, jedoch diese Dorsaläste individuell unterschiedlich Hautäste ausbildeten.

Tab. 4.5 Anzahl der präparierten Rr. dorsales in der Tiefe der langen Rückenmuskulatur und ihre Ursprungssegmente

Hund	Anzahl unterhalb der langen Rückenmuskulatur	Ursprungssegment(e)
1	0	-
2	0	-
3	2	L4, L5
4	1	L6
5	2	L4, L5
6	4	L3, L4, L5, L6
7	4	L3, L4, L5, L6
8	3	L4, L5, L6
9	4	L2, L3, L4, L5
10	2	L4, L5
11	2	L4, L5
12	1	L5

Bei sieben Hunden wurden in der tiefen Schicht c kleine Nervenäste identifiziert, die unmittelbar nach Austritt aus dem For. intervertebrale in Richtung Proc. spinosus verliefen (Abb. 4.14). Diese Äste zogen entweder kaudal um den Proc. accessorius des jeweiligen Wirbels oder kranial um diesen Fortsatz herum. Tabelle 4.6 gibt eine Übersicht über die Anzahl und die Lokalisation der Nervenstümpfe bei den einzelnen Tieren.

Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, besaßen drei Hunde im Bereich eines Wirbels zwei Nervenäste, die zum selben Dornfortsatz verliefen. In diesen Fällen verlief der eine Ast kranial und der andere kaudal um den Proc. accessorius herum.

Als eine Besonderheit der in Richtung dorsale Medianebene verlaufenden Nerven der tiefen Schicht ist das Vorkommen einer Nerven Anastomose bei einem Hund (Hund 12, Riesenschnauzer) anzusehen. Bei diesem Tier anastomosierte der kranial um Proc. acc. von L1 verlaufende Nervenast mit einem Ast, der aus dem Segment Th13 kommend kaudal um den Proc. acc. von Th13 in Richtung Dornfortsatz strebte (Abb. 4.14).

Ergebnisse

Tab. 4.6 Anzahl und Lokalisation der Nervenäste, die in Richtung Procc. spinosi ziehen sowie ihr Verlauf um den jeweiligen Proc. accessorius

Hund	Anzahl der Nervenäste in Richtung Procc. spinosi	Lokalisation (Segment)	Verlauf um Proc. acc.
1	0	-	-
2	0	-	-
3	0	-	-
4	5	L1, L3, L4, L6 (2x)	kaudal
5	3	L3, L4, L5	kaudal
6	4	L2, L4, L5, L7	kaudal
7	2	L1, L2	kranial
8	3	L3 (2x), L4, L5	kranial
9	5	L1, L3, L4, L5, L6	kaudal
10	0	-	-
11	0	-	-
12	7	L1 (2x), L2 bis L6	kranial

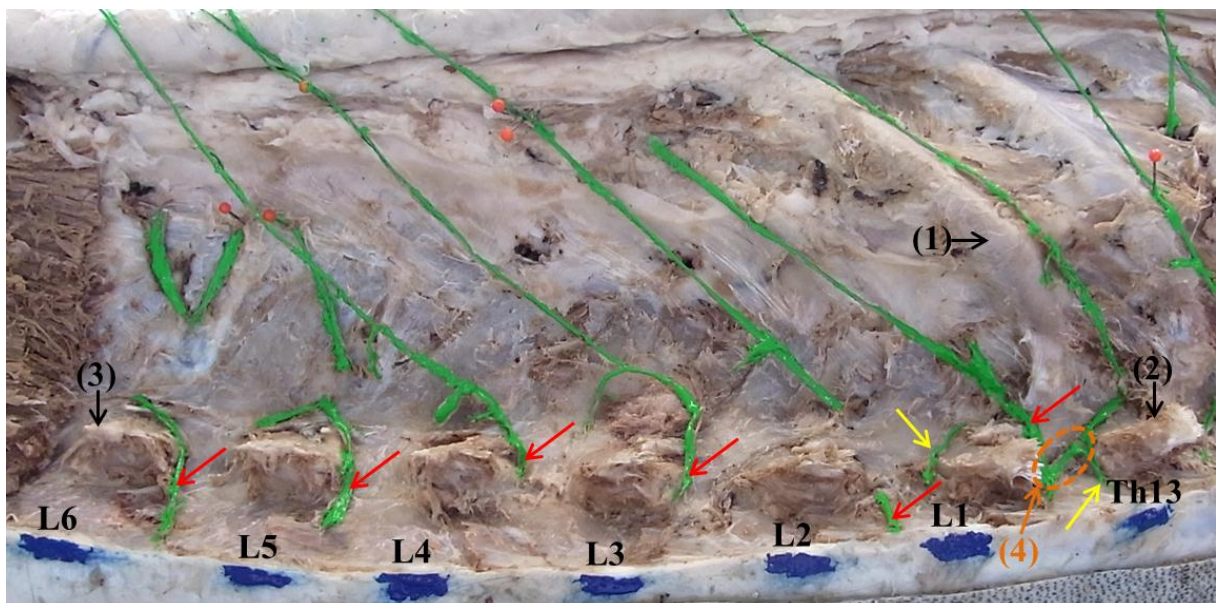


Abb. 4.14 Darstellung der Rr. dorsales der tiefen Schicht c. (1): 13. Rippe; (2): Proc. acc. des 1.LW; (3): Proc. acc. des 6.LW; (4): Anastomose zwischen R. dorsalis Th13 und L1; die roten Pfeile markieren Nervenäste, die kranial um die Procc. acc. in Richtung Dornfortsatz (DF) ziehen. Die gelben Pfeile stellen Äste dar, die kaudal um die Procc. acc. in Richtung DF verlaufen. Hund 12 (Riesenschnauzer).

4.7 Subkutaner Nervenverlauf

Exemplarisch wurden bei zwei Hunden (Deutsche Dogge, Collie) die Nervenverläufe der Hautnerven des Lendenbereiches in oberflächlicher subkutaner Schicht im Bereich des M. cutaneus trunci dargestellt.

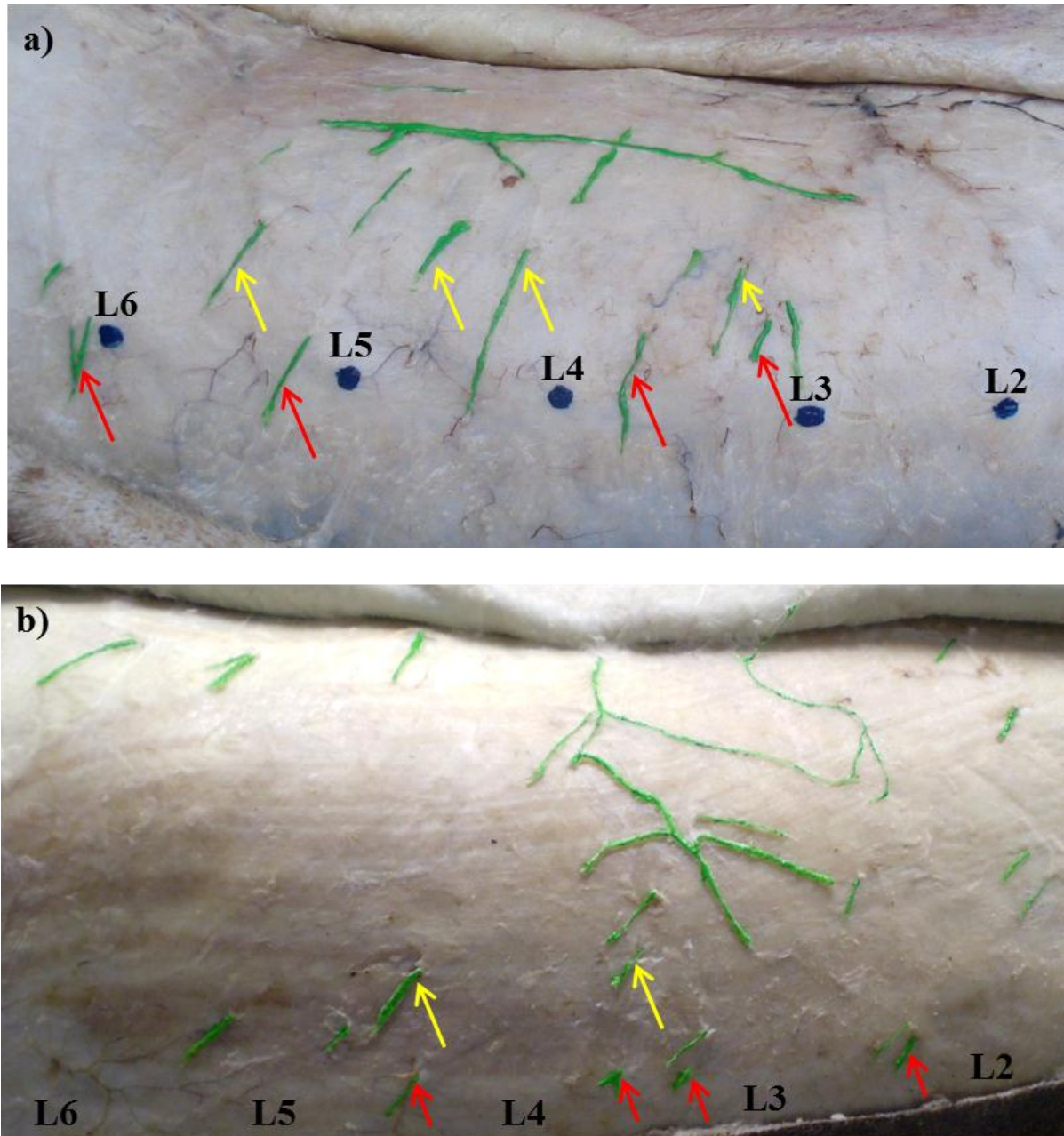


Abb. 4.15 Subkutaner Nervenverlauf bei einem Collie (a) und einer Deutschen Dogge (b). Die roten Pfeile markieren die Nervendurchtritte durch die Faszie nahe der Wirbelsäule; die gelben Pfeile stellen Faszienperforationen in „Zweiter Reihe“ dar.

Neben Nervenästen, die in annähernd segmental und paramedian nahe der Dornfortsätze sichtbar waren (Abb. 4.15, rote Pfeile), wurde in einer zweiten „Reihe“ eine ebenfalls annähernd segmentale Anordnung einiger Nervenstümpfe beobachtet (Abb. 4.15, gelbe Pfeile). Bei den beiden Hunden verliefen jedoch einige Nerven sehr individuell und variabel. So verlief bei dem Collie ein Nervenast zwischen den Bereichen L4 und L6 in longitudinaler Richtung und ca. 4 cm paramedian der Wirbelsäule auf der Fascia superficialis respektive dem M. cutaneus trunci entlang (Abb. 4.14a). Bei der deutschen Dogge befanden sich kleine offensichtlich miteinander anastomosierende Nervenäste in einer „X-förmigen“ Struktur auf dem Hautmuskel (Abb. 4.15b).

5 Diskussion

Für die vorliegende Dissertation erfolgte eine schichtweise Darstellung des Verlaufes und des Verzweigungsmusters der Spinalnerven in der Regio lumbalis des Hundes. Ziel der Arbeit war es, eine detaillierte topographisch-anatomische Darstellung der Innervation der Lendenregion des Hundes zu erstellen. In einem nächsten Schritt sollen nun die erhobenen Ergebnisse mit den in der Literatur beschriebenen Angaben verglichen werden. Des Weiteren soll mit diesen Ergebnissen ein Beitrag zum besseren Verständnis der Wirkungsweise verschiedener neuraltherapeutischer Methoden sowohl westlicher als auch traditioneller Herkunft geleistet werden.

5.1 Ursprung, Verlauf und Verzweigung der Spinalnerven zur Innervation der Lendenregion

5.1.1 Ursprungssegmente und Anzahl der Nervi spinales

Der Ursprung der Spinalnerven, die Hautäste zum dorsalen Lendenbereich entließen, erstreckte sich bei den zwölf untersuchten Hunden von den Rückenmarkssegmenten Th12 bis L5. Die Anzahl dieser Nerven variierte individuell zwischen drei und sieben, wobei ein Drittel der Hunde sechs Hautnervenäste aufwies. Dabei traten Rr. ventrales unabhängig von der Anzahl der vorhandenen Rr. dorsales bei sechs Hunden auf (siehe Tab. 4.4). Aus dieser variierenden Anzahl resultierte die unterschiedlich stark ausgeprägte Kaudalverschiebung. Diese Ergebnisse unterscheiden sich von denen von BAILEY et al. (1984), die bei den von ihnen untersuchten Hunden Hautnerven aus den Segmenten Th12 bis lediglich L3 (und gelegentlich L4) feststellten. Möglicherweise verwendeten BAILEY et al. (1984) eine oberflächliche Präparationstechnik, bei der die weiter kaudal gelegenen Hautnerven nicht dargestellt wurden. Dass der Kaudalverlauf der Hautnerven in Richtung Kreuzbein zunimmt, wurde beim Präparieren für diese Arbeit berücksichtigt. So wurden nach Hautschnitt in der dorsalen Medianebene zunächst durch vorsichtiges Anheben der Haut vom unterliegenden Fettgewebe alle makroskopisch sichtbaren Nerven identifiziert und erst in dem nächsten Schritt die Haut weiter in dorsoventrale Richtung abgetragen. Außerdem wurde die Auswahl der Tiere für die Präparation nach ihrem Ernährungszustand getroffen, da das Auffinden von Nervenästen mit zunehmendem Fettgewebe schwerer praktikabel war, wie sich in etlichen Vorpräparationen herausstellte. Fehlende Detailinformationen in der Vorgehensweise der Präparation sowie Ergebnispräsentation bei BAILEY et al. (1984) lassen die Annahme zu, dass Hautnerven aus den oben beschriebenen Gründen in den Segmenten kaudal von L3 bzw. L4 nicht mehr detektiert wurden. Bezüglich der individuellen Anzahl der Hautnerven bei BAILEY et al. (1984) kann keine Aussage getroffen werden, da dies in der Beschreibung der Ergebnisse nicht erwähnt wird. Aufgrund der in dieser Dissertation gezeigten deutlichen Variation ist es aber sehr wahrscheinlich, dass auch bei BAILEY et al. (1984) nicht alle

Tiere dieselbe Anzahl aufwiesen. Vielmehr scheint dieses Ergebnis für die Autoren keine Relevanz gehabt zu haben. Die unterschiedliche Anzahl der Nerven für die sensible Innervation der Lendenregion des Hundes wurde in dieser Arbeit erstmalig belegt, Angaben zu differierenden Nervenanzahlen fehlen in der Literatur auch für andere Spezies gänzlich.

5.1.2 Rami dorsales und Rami ventrales

Rami dorsales mit einem abzweigenden Hautast stammten aus allen dargestellten Ursprungssegmenten (Th12 bis L5), wobei alle Hunde einen R. dorsalis in die Haut aus Th13 und L1 sowie die Mehrheit aus L2 und L3 besaßen. Der Ramus dorsalis aus Th12 beteiligte sich nur in sieben Fällen an der Hautinnervation der Lendenregion und nur wenige Tiere wiesen einen R. dorsalis aus L4 bzw. L5 auf (Abb. 5.1). Bei der Präparation in die tieferen Schichten wurden die in der Haut fehlenden Rr. dorsales in den Bereichen L5 (n=6) und L6 (bei n=5) identifiziert, d.h. sie waren auch bei den Tieren vorhanden, die keinen Hautnerven aus diesen Segmenten besaßen. Dies ist insofern nicht weiter verwunderlich, da die Rückenmuskulatur einer segmentalen Innervation unterliegt und daher Nervenäste auch aus dem Bereich L6 in die Muskulatur eintreten. Hingegen konnte in keinem der untersuchten Fälle ein R. dorsalis aus dem Segment L7 aufgefunden werden. Als Grund hierfür kommt die Lagerung der Tiere bei der Präparation in Frage, da in Seitenlage mit nur leicht gestreckten Hintergliedmaßen vor allem das Tuber coxae sowie die starke Glutealmuskulatur den Zugang zum Segment L7 unmöglich machten. Für die Fragestellung der Dissertation war das Auffinden der Rr. dorsales aus L7 jedoch auch nicht von Bedeutung, da die sensible kutane Innervation des Lendenbereiches im Fokus stand und Nerven bis maximal L5 diese Versorgung übernehmen.

Die Hälfte der präparierten Hunde (n=6) wies Rr. ventrales aus den Ursprungssegmenten L3, L4 und L5 auf, die die dorsalen Hautpartien individuell sehr variabel zwischen den Bereichen L3 und L7 versorgten und zu großen Teilen mit den Innervationsarealen der angrenzenden Rr. dorsales überlappten. Äste aus diesen Segmenten werden als N. cutaneus femoris lateralis bezeichnet (KÖNIG u. LIEBICH 2011). Das Innervationsgebiet dieses peripheren Nerven wird beim Hund von KUNZEL (1957) als sehr breit und kaudal des Tuber coxae bis in die dorsale Medianebene angegeben. Bei den in dieser Studie untersuchten Tieren erstreckte sich das innervierte Hautareal des N. cutaneus femoris lateralis jedoch deutlich weiter in kraniale Richtung, bisweilen sogar auf Höhe von L3. Derartige Angaben sind in der Literatur nicht zu finden. Da dieser Befund bei der Hälfte der untersuchten Tiere erhoben werden konnte, ist nicht von einer individuellen Variation auszugehen. Das nach kranial reichende Innervationsgebiet des N. cutaneus femoris lateralis erstreckte sich in allen Fällen bis zu dem Hautbereich, in dem der am weitesten kaudal ziehende R. dorsalis in der Haut endete. Dies lässt darauf schließen, dass es eine „Kommunikation“ zwischen den verschiedenen Nervenästen gibt (siehe auch Kap. 5.1.4), sodass in der Haut lediglich eine geringgradige Überlappung der Versorgungsareale, jedoch niemals eine vollständige Doppelinnervation gesamter Areale zustande kommt.

Des Weiteren konnte bei einigen Tieren die Aufspaltung einiger Nerven bereits vor dem Eintritt in die Haut festgestellt werden (siehe Kap. 4.2). Dies wurde vor allem bei den Rr. ventrales beobachtet. Von den sechs Hunden, die Rr. ventrales besaßen, verzweigten sich diese bei drei Tieren bereits vor dem Eintritt in die Haut. In diesen Fällen zog einer der Nervenäste stets in das Hautareal dorsal des Ursprungssegmentes, d.h. er zeigte keine Kaudalverschiebung. Der andere Ast zeigte hingegen stets eine Verschiebung nach kaudal. Alle Rr. ventrales lagen in der Schicht der Muskulatur sowie der Faszie weiter kaudal als auf Niveau der Procc. transversi. Als Erklärung wäre hier denkbar, dass diese Nerven ein weitreichenderes Hautareal versorgen, als ein einzelner Ramus dorsalis. Sobald die Innervation durch Rr. dorsales nicht bis in die kaudalen Bereiche sichergestellt wurde, konnte auch tendenziell ein größeres Innervationsgebiet der Rr. ventrales festgestellt werden. Es ist offensichtlich für die sensible Perzeption aus der Haut nicht von entscheidender Bedeutung, über welchen Spinalnerven die Informationen zentral weiter vermittelt werden, solange die sensible Innervation überhaupt gewährleistet ist.

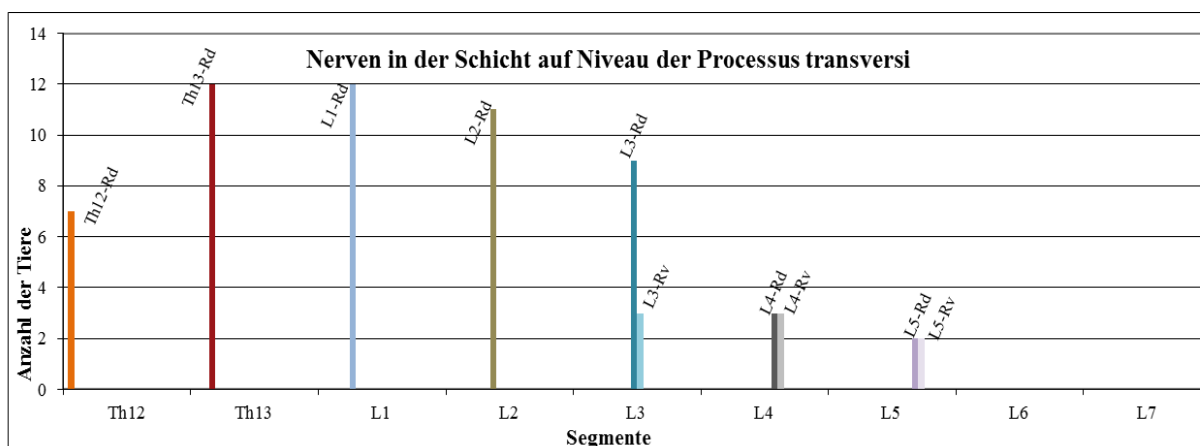


Abb. 5.1 Segmentaler Ursprung der Spinalnerven zur Innervation der Haut der Regio lumbalis bei n=12 Hunden (Rd=R. dorsalis; Rv=R. ventralis)

5.1.3 Kaudalverschiebung der Spinalnerven

Einführend muss erwähnt werden, dass in der Literatur keine Daten zu finden waren, die detaillierte Untersuchungen zur Verschiebung von Hautnerven in kaudale Richtung angeben oder gar individuell vergleichende Betrachtungen darstellen. Des Weiteren wurde in dieser Arbeit erstmals eine schichtweise Dokumentation der Nervi lumbales mit ihrer Verzweigung sowie ihrem Verlauf angefertigt. Für eine aussagekräftige Vergleichbarkeit der einzelnen Tiere einerseits sowie der einzelnen Nervenäste andererseits wurden für diese Arbeit erstmals sogenannte Kaudalverschiebungsindizes entwickelt, für die einzelnen Spinalnerven errechnet (siehe Kap 3.2.1.4) und ausgewertet (Kap. 4.3, 4.4 und 4.5).

Betrachtet man zunächst im Allgemeinen den Verlauf der präparierten Spinalnervenäste von der Tiefe bis zum Eintritt in die Haut, so erkennt man bis auf zwei Ausnahmen (R. ventralis-L3 bei n=1 und R. ventralis-L5 bei n=1) stets eine Kaudalverschiebung der Nerven um mindestens einen Rückenbereich (dieser Bereich wurde in Kap. 3.2.1 als das Areal zwischen den Kranialenden zweier benachbarter Dornfortsätze definiert, siehe auch Abb. 3.1). In der Mehrzahl betrug diese Kaudalverschiebung zwei bis drei Rückenmarksbereiche, bei einem Hund wurde das Maximum von sechs Bereichen (R. dorsalis-L1 erreichte Haut im Bereich von L7) festgestellt. Dabei zeigten die Tiere einen unterschiedlichen Verlauf der einzelnen Nerven, sodass die Aufzweigung der Nervenäste in der Haut nicht bei jedem Hund in demselben Rückenbereich stattfand. Außerdem war die unterschiedlich starke Kaudalverschiebung vor allem bedingt durch die Anzahl der für die Lendenregion zur Verfügung stehenden Nerven. In den Fällen mit drei und vier Nervenästen verliefen die Nerven weiter nach kaudal als bei den Hunden mit mehr als fünf Nerven. Dies hängt damit zusammen, dass bei diesen Tieren (n=3) die Hautnerven aus den weiter kranial gelegenen Segmenten (zwischen Th12 und L3) entsprangen und diese demzufolge einen längeren Weg zurücklegen mussten, um die gesamte Lendenregion zu versorgen.

Diese Ergebnisse lassen in Verbindung mit den variablen Ursprungssegmenten sowie der individuell unterschiedlichen Anzahl der Hautnerven den Schluss zu, dass die von einem Spinalnerven innervierten Hautareale nicht bei allen untersuchten Hunden die gleichen sind. Also sind die Dermatome bei den einzelnen Tieren nicht immer identisch und untereinander vergleichbar lokalisiert. Die bei einer vergleichsweise geringen Tierzahl erhobenen Ergebnisse können jedoch lediglich einen ersten Anhaltspunkt liefern, sodass für eine allgemeingültige auf die Spezies Hund übertragbare Aussage eine weiterführende Untersuchung mit einer größeren Tierzahl zu empfehlen wäre. Jedoch ist eine Studie mit einer entsprechend großen Probenzahl technisch nicht zu verwirklichen. Geht man jedoch davon aus, dass es bei einer größeren Stichprobe ebenso zu in dieser Arbeit vergleichbaren Ergebnissen kommen würde, so könnten die divergierenden Darstellungen von Dermatomkarten beispielsweise von FOERSTER (1933) und KEEGAN und GARRETT (1948) schlichtweg mit einer relativ hohen bestehenden Variation der Nervenverläufe bei den in den Untersuchungen verwendeten Individuen erklärbar sein. In der zugänglichen Literatur fehlen Studien zu diesem Thema bis auf eine Untersuchung von KARMANSKA (1973). Er stellte eine hohe Variabilität von Dermatomgrenzen der Rr. dorsales und somit der Hautinnervation im dorsalen Rückenbereich beim neugeborenen Menschen fest. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liefern daher erste Ergebnisse für die Spezies Hund und im Speziellen das adulte Tier.

Die von FLETCHER (1966) beschriebene Verschiebung der Dermatome von annähernd transversal im vorderen Rumpfbereich nach schräg kaudal im hinteren Rumpfbereich wird durch die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse ebenfalls bestätigt. So ist die Kaudalverschiebung der Nerven in den hinteren Bereichen stärker als in den letzten Brust- bzw. ersten Lendenbereichen. Dies könnte damit

erklärt werden, dass das vor allem postnatale Wachstum der Lendenwirbelsäule proportional größer ist, als das der Brustwirbelsäule. Bei einem ausgewachsenen Hund sind die Lendenwirbelkörper deutlich länger als die Wirbelkörper der Brustwirbel und die Gesamtlänge der Lendenwirbelsäule mit ihren sieben Wirbeln ist im Vergleich zur Brustwirbelsäule mit 13 Wirbeln größer. Durch das Wachstum werden somit alle angrenzenden Gewebe, wie Muskulatur, Haut und auch Leitungsstrukturen wie Gefäße und Nerven im Lendenbereich deutlich stärker nach kaudal gezogen, woraus ein längerer Verlauf und so eine größere Kaudalverschiebung im hinteren Rumpfbereich resultieren.

Um die Kaudalverschiebung der Nerven vergleichen zu können, wurden für diese Arbeit Kaudalverschiebungsindizes entwickelt und berechnet (**KVI**, siehe Kap. 3.2.1.4). Diese wurden stets einzeln für die Schichten auf Niveau der langen Rückenmuskulatur (*KVI-M*), Fascia thoracolumbalis (*KVI-F*) sowie der Haut (*KVI-H*) in Bezug zum Ursprung im Bereich der Procc. transversi ermittelt.

Um die Gesamt-Kaudalverschiebung der Nerven der einzelnen Tiere untereinander vergleichen zu können, erfolgte die Berechnung des Kaudalverschiebungsindex für den jeweiligen Hund (KVI_j). Hier zeigte sich mit einer Ausnahme eine steigende Kaudalverschiebung von der Tiefe bis zur Haut. Dies bedeutet, dass auf Niveau der langen Rückenmuskulatur die Nerven zumeist nur einen Rückenbereich weiter kaudal lagen als auf Niveau der Procc. transversi. Diese Verschiebung setzte sich in der Schicht der Fascia thoracolumbalis fort, um die größte kaudale Ausdehnung im Vergleich zum Ursprungssegment auf der Ebene der Haut zu erreichen. Betrachtet man die arithmetischen Mittelwerte der Indizes in den drei Schichten ($\overline{KVI_j - M} = 1,16$, $\overline{KVI_j - F} = 1,87$, $\overline{KVI_j - H} = 2,84$), so haben die Nerven in ihrem Verlauf bis zur Oberfläche die Tendenz, sich um einen Rückenbereich nach kaudal zu verschieben. Dennoch sind individuelle Besonderheiten zu berücksichtigen (siehe Tab. 4.2), sodass nicht verallgemeinert von einer bei jedem Hund gleichen Kaudalverschiebung ausgegangen werden kann.

Bei der Präparation der sehr heterogenen Tiergruppe stellte sich die Frage, ob die Kaudalverschiebung der Nervenäste mit der Größe des Tieres zusammenhängen könnte. Um diesen Aspekt zu untersuchen, wurden die Kaudalverschiebungsindizes der Tiere ins Verhältnis mit deren Länge der LWS gesetzt (Siehe Abb. 4.2). Hierbei konnte jedoch keine Korrelation festgestellt werden. Denkbar ist, dass das Verhältnis der Nervenaustritte und deren Kaudalverschiebungen proportional zur Länge der LWS zunehmen, sodass sich keine unterschiedlichen Korrelationen ergeben.

Ein weiterer Kaudalverschiebungsindex wurde tierübergreifend für die Nerven aus den einzelnen Segmenten (KVI_i) errechnet, um die einzelnen Nerven zwischen den Tieren vergleichen zu können. Hierbei erfolgte die Betrachtung wiederum in den drei Schichten und zusätzlich getrennt nach Rami dorsales respektive Rami ventrales. Für alle Rr. dorsales konnte eine zunehmende Verschiebung

nach kaudal von der Tiefe bis zur Haut ermittelt werden. Ein Vergleich der KVI_i der Rr. dorsales mit der Lokalisation der Nervenausstritte zeigte, dass Nerven von weiter kranial im Allgemeinen einen höheren Index aufwiesen, als Nerven, die aus weiter kaudal gelegenen Segmenten stammten. Dies ist wiederum logisch mit dem Ursprung der Nerven zu erklären, da wie bereits erwähnt, Nerven von weiter kranial stammend u.U. einen längeren Weg in kaudale Richtung zurücklegen müssen. Die Kaudalverschiebung der Rr. ventrales zeigt etwas andere Ergebnisse. Alle präparierten Rr. ventrales blieben in ihrer kranio-kaudalen Position von der Schicht der langen Rückenmuskulatur zur Fascia thoracolumbalis auf derselben Höhe. Auf Niveau der Haut muss berücksichtigt werden, dass sich die Rr. ventrales bei der Hälfte der Tiere vor dem Eintritt in die Dermis in zwei Äste aufzweigten. Einer dieser Äste blieb stets im Bereich des Ursprungssegmentes, während der andere um ein bis drei Rückenbereiche nach kaudal verlief. Für die Berechnung der KVI_i der Rr. ventrales wurde jedoch bei einer Zweiteilung lediglich der Mittelwert verwendet, sodass die Betrachtung der Korrelation der Kaudalverschiebung mit der Lokalisation der Ventraläste (Abb. 4.4) in Kombination mit der sehr geringen Anzahl dieser mit Vorsicht zu betrachten ist und hier nicht weiter ausgeführt wird. Für eine verwertbare Aussage sollte eine größere Anzahl von Hunden explizit auf die Rr. ventrales untersucht werden.

Ein weiterer Vergleich der KVI_i wurde bezüglich der individuell variierenden Anzahl der Nervi lumbalis angestellt (Abb. 4.7). Hier ergab sich ein geringer linearer Zusammenhang bezüglich der Anzahl der Nerven und des KVI_i in der Schicht der langen Rückenmuskulatur, jedoch konnte im Bereich der Haut eine mittlere bzw. auf Niveau der Fascia thoracolumbalis eine hohe Korrelation festgestellt werden. Somit hängt die Kaudalverschiebung der Nerven mit dem Durchtritt durch die Fascia thoracolumbalis stark von der Anzahl der bei dem jeweiligen Tier vorhandenen Hautnervenäste ab. Je geringer also die Anzahl der Nervenäste ist, die für die Innervation des gesamten Lendenbereiches zur Verfügung steht, desto weiter müssen diese Äste nach kaudal verlaufen, um die sensible Versorgung der Lendenregion zu gewährleisten. Wie bereits erwähnt, lässt sich bei den untersuchten Hunden die Tendenz erkennen, dass durch ihre Verzweigung vor Eintritt in die Haut die Rr. ventrales (als N. cutaneus femoris lateralis) ein größeres Hautareal nach kranial abdecken, wenn das betreffende Tier eine geringere Anzahl an Rr. dorsales aufweist. Möglicherweise sind Wachstum und Verzweigung der Rr. dorsales und Rr. ventrales pränatal so untereinander abgestimmt, dass unabhängig vom Ursprungssegment immer eine sensible Innervation der Haut sichergestellt wird und es eher eine untergeordnete Rolle spielt, ob dieses Innervationsmuster stets identisch ist (zu den Überlegungen bzgl. der pränatalen Neurogenese siehe Kap. 5.1.4).

Die Etablierung der verschiedenen Kaudalverschiebungsindizes stellte sich in dieser Arbeit als sehr hilfreiches und aussagekräftiges Mittel dar. Durch diese Indizes war es erstmalig möglich, die makroskopisch erhobenen Befunde der Nervenverläufe rechnerisch darzustellen und interindividuell

zu vergleichen. In weiteren Untersuchungen im Speziellen mit einer größeren Tierzahl sollten die Kaudalverschiebungsindizes näher validiert werden.

5.1.4 Überlegungen zur Neurogenese der sensiblen Hautnerven

Bis heute sind die genauen Mechanismen, die für die pränatale Entwicklung der sensiblen Nervenfasern verantwortlich sind, nicht vollständig aufgeklärt (DICKSON 2002). Eine Vielzahl von Signalmolekülen aus den vier Hauptgruppen der Netrine, Semaphorine, Ephrine und Slits wirken sowohl über kurze (short-range) als auch über lange (long-range) Entfernungen auf den Wachstumskegel des Axons hemmend oder anziehend und leiten so die Nervenfasern gerichtet an ihren Zielort (LARRIVEE et al. 2009, HANCOCK et al. 2011). Im Falle der sensiblen Nerven der Haut muss das wachsende Axon zumeist weite Strecken zurücklegen. Das initiale Axonwachstum ist nach der Auffassung von WANG und SCOTT (1999) jedoch sehr unspezifisch. Die Frage nach dem zugrunde liegenden Stimulus, auf den die Nervenfasern ihr Wachstum beginnen, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Einerseits besteht die Meinung, dass hypoxische Zellen in der Peripherie den Wachstumsfaktor VEGF ausschütten, der zunächst die Aussprossung der Gefäße induziert, die nun ihrerseits als Leitschiene für das folgende Nervenwachstum dienen (CUI u. YUAN 2007, LARRIVEE et al. 2009). Die Nervenfasern formen nach Erreichen der Haut zunächst freie Nervenendigungen, die sich dann je nach Weiterentwicklung in die spezialisierten Rezeptoren umwandeln (O'BRIEN et al. 2012). Auf der anderen Seite stellten LARRIVEE et al. (2009) fest, dass die sich entwickelnden sensiblen Axone im Gliedmaßenbereich das Wachstum arterieller Gefäße initiieren, d.h. in der Peripherie wahrscheinlich die Nerven den Gefäßen in ihrem Wachstum voraus sind.

In der Literatur gibt es keine Angaben, die das adulte Innervationsmuster der sensiblen Hautnerven im Hinblick auf Besonderheiten hinsichtlich ihrer Neurogenese beleuchten. Außerdem liegen keine Daten zu den Haussäugetieren vor. Die präparatorischen Ergebnisse dieser Arbeit lassen verschiedene Hypothesen für das individuell variierende nervale Muster der Regio lumbalis des Hundes zu. So steht aufgrund der zum Teil sehr variablen Verzweigung der Nerven vor allem in der oberflächlichen Schicht im Bereich der Fascia thoracolumbalis bis zum Eintritt in die Haut fest, dass die Nervenverzweigung in Richtung Körperoberfläche an Variabilität zunimmt. Ebenso wie die periphere Gefäßaufzweigung interindividuell nicht identisch ist, so scheint auch die Nervenverzweigung in der Peripherie individuell unterschiedlich zu sein, solange nur eine ausreichende Innervation jedes Hautareales sichergestellt ist. Diese Hypothese deckt sich mit der Aussage von HUI und YUAN (2007). Die Autoren betonen, dass das Wachstum der Nerven und Gefäße umso mehr vom Zufall abhängt, desto weiter diese Strukturen in die Körperperipherie vordringen, wobei sie keine Betrachtungen der sensiblen Innervation bei ausgewachsenen Tieren sondern lediglich an Feten vornahmen. Mit den morphologischen Befunden dieser Arbeit kann somit der Bogen zwischen

embryonaler molekularbiologischer Forschung der Neurogenese und dem phänotypischen Endergebnis des Innervationsmusters im adulten Organismus des Hundes geschlossen werden.

Das initiale Wachstum der Axone ist nach der Aussage von WANG und SCOTT (1999) sehr unspezifisch und nicht zwingend auf ein definiertes Segment festgelegt. Die Autoren betonen außerdem, dass die Entwicklung von sensiblen Neuronen häufiger kleinen Fehlern unterworfen ist als die der Motoneurone. HONIG und RUTISHAUSER (1996) stellten bei ihren Untersuchungen fest, dass sich der segmentale Ursprung für die Hautnerven embryonal durch die Applikation bestimmter Antikörper gegen Wachstumsmoleküle ändern kann. Des Weiteren ergaben die Untersuchungen von TOSNEY und HEGEMAN (1989), dass bei einer Entfernung des dorsalen Dermatomyotoms bei Hühnerembryonen das Wachstum der sensiblen Nerven gar nicht oder fehlerhaft stattfand und an den Stellen mit unvollständiger Dermis eine lückenhafte Verzweigung der Hautnerven vorlag. Sie schlossen daraus, dass die korrekte Entwicklung der dorsalen Muskelpartien und insbesondere der Haut essentiell für die Bildung der Hautnerven ist. Diese Daten, die aus der Literatur erhoben wurden, stammen ausschließlich aus dem Bereich der embryonalen Forschung und zudem von Nichtsäugetieren. Die interindividuell z.T. sehr variablen Innervationsmuster bei den zwölf in dieser Arbeit untersuchten adulten Hunden unterstützen die in der Literatur gemachten Aussagen zur variablen Nervenentwicklung. Sie bestätigen im adulten Tier, dass sowohl der Ursprung als auch die Verzweigung sowie sogar die Anzahl der Hautnerven sehr großen individuellen Schwankungen unterworfen sein kann. Besonders die Tatsache, dass selbst die Anzahl der für Lendenregion zuständigen Nerven stark variiert (in dieser Arbeit zwischen drei und sieben), ist bisher nicht beschrieben und ein wichtiger Aspekt für weitere Überlegungen. Es ist denkbar, dass in der pränatalen Neurogenese sensible Neurone aus unterschiedlichen Segmenten individuell variabel schneller auf einen Wachstumsreiz aus dem Ektoderm reagieren und auszuwachsen beginnen. Die Axone selber sezernieren auf ihrem Weg Moleküle, die auf andere Axone abstoßend wirken (TESSIER-LAVIGNE et al. 1996). So geben die sich entwickelnden Nervenfasern vermutlich das Signal an andere weiter, dass die Innervation in dem speziellen Hautgebiet bereits gewährleistet ist, sodass keine weiteren Neurone in dieses Areal wachsen müssen. Anders als in der Muskulatur gibt es in der Haut keine plurisegmentale Innervation sondern lediglich ein gering überlappendes Innervationsmuster. Diese Überlappung lässt sich auch bei den in dieser Arbeit untersuchten Hunden nachvollziehen. Beginnt das Nervenwachstum für die weiter kaudalen Hautpartien bereits aus den letzten Thorakal- bzw. ersten Lumbalsegmenten, so müssen die darauffolgenden Rückenmarkssegmente keine Hautäste mehr entsenden, sodass die in einigen Fällen geringere Anzahl an Hautnerven mit einer resultierenden stärkeren Kaudalverschiebung zu erklären ist. Auf die gleiche Art und Weise lässt sich auch die Beteiligung der Ventraläste an der Hautinnervation nachvollziehen. In diesen Fällen scheinen embryonal die Rr. ventrales vor den Rr. dorsales auf den Wachstumsreiz reagiert zu haben und haben auf ihrem Weg in die Peripherie ihr hemmendes Signal an die Dorsaläste übermittelt. Die in der

vorliegenden Arbeit darstellbare Reichweite der Hautinnervation der Rami ventrales, die als N. cutaneus femoris lateralis bezeichnet werden können, weicht jedoch vor allem in kraniale Richtung deutlich von den von KUNZEL (1957) gemachten Angaben ab.

Zusammengefasst lassen die erhobenen Befunde die Hypothese zu, dass es eine untergeordnete Rolle spielt, ob ein bestimmtes Hautareal bei jedem Tier stets von demselben Segment sensibel versorgt wird, solange die Hautinnervation in jedem Bereich gewährleistet ist. Es ist möglich, dass das zur Peripherie zunehmend variable Innervationsmuster tatsächlich individuell für jedes Tier ist. Es liegt weiterhin nahe, dass die Endverzweigung der Nervenfasern innerhalb der Dermis ebenfalls sehr unterschiedlich ist. Dieser Teil der sensiblen Innervation war jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit, da keine histologischen Untersuchungen angestellt wurden. Eine weiterführende mikroskopische Untersuchung der intrakutanen Nerven wäre von Interesse.

5.2 Das Innervationsmuster der Regio lumbalis im Hinblick auf neuraltherapeutische Methoden

5.2.1 Zum Thema der Punktspezifität bei TCM-basierten Therapiemethoden

Die Akupressur und Akupunktur können als eine Form der segmentalen Therapie angesehen werden, die auf den theoretischen Grundlagen der TCM basieren. Viele Anwender der traditionellen Akupunktur stehen auf dem Standpunkt, dass für eine erfolgreiche Therapie zwingend der genau definierte Akupunkturpunkt stimuliert werden muss (BIRCH 2003). So gibt es mittlerweile zahlreiche Akupunkturkarten für verschiedene Spezies, mithilfe derer bei den Tieren die Punkte sicher aufgefunden werden sollen. Auf der anderen vielleicht etwas mehr zur Schulmedizin orientierten Seite besteht die Auffassung, dass eine Punktspezifität für einen Therapieerfolg nicht bedeutend und außerdem schwer nachzuvollziehen ist (GAREUS et al. 2002, CHOI et al. 2012). Anatomische und histologische Untersuchungen auf der Suche nach einem morphologischen Korrelat zu Akupunkturpunkten ergaben, dass die Mehrheit der Punkte oberhalb von Gefäß-Nerven-Bündeln lokalisiert ist, welche die Körperfaszie durchbohren (DRAEHMPAEHL et al. 1992, DRAEHMPAEHL et al. 1993, EGERBACHER 1993, EGERBACHER u. LAYOUTZ 1996). Wenn die Akupunkturpunkte bei allen Tieren am gleichen Ort und über einer Perforation eines GNB durch die Faszie liegen, müssten diese Durchtrittsstellen und somit das Innervationsmuster der Lendennerven bei allen Hunden annähernd identisch sein. Die Präparationsergebnisse bei den in dieser Arbeit untersuchten Hunden können diese Annahme jedoch nicht bestätigen. Sowohl die Anzahl der Hautnerven für den Lendenbereich als auch deren Verlauf und Verzweigung variieren bei den Tieren mitunter erheblich. Diese Unterschiede finden sich insbesondere in den Schichten dorsal der langen Rückenmuskulatur. Daher muss davon ausgegangen werden, dass kein morphologisches Korrelat zu den traditionell festgelegten Akupunkturpunkten beim Hund in Form von GNB existiert. Die Existenz

in verschiedenen Individuen reproduzierbar auffindbarer klassischer Akupunkturpunkte muss somit basierend auf den neuen neuroanatomischen Ergebnissen dieser Arbeit angezweifelt werden. Vielmehr ist es plausibel, dass Punkte, die bei einer Akupunktur oder einer anderen neuraltherapeutischen Methode effektiv stimuliert werden können, individuell zu wählen sind. Nach MANN (1973) können Akupunkturpunkte häufig anhand einer leichten Vertiefung palpirt werden. Die eigenen Erfahrungen bei der Präparation der Hunde zeigten, dass im Bereich von größeren die Faszie perforierenden GNB tatsächlich an einigen Stellen eine kleine Vertiefung palpierbar war. Die unterschiedlichen Nervenverläufe, die in dieser Arbeit dargestellt wurden, ergaben jedoch, dass die Perforationen der GNB individuell an verschiedenen Stellen lokalisiert sind. Es kann somit nicht von definierten und von Hund zu Hund übertragbaren Akupunkturpunkten ausgegangen werden. Für die Punktlokalisierung ist die Anwendung von Akupunkturkarten daher nicht sinnvoll, da eine Transposition der in den Karten angegebenen Punkte auf die einzelnen Individuen nicht zuverlässig möglich ist.

Eine Reihe anderer neuraltherapeutischer Verfahren wie beispielsweise die Nadelung von myofaszialen Triggerpunkten, die Transkutane Elektrische Nerven Stimulation oder auch das sogenannte Quaddeln, das Setzen von kleinen intrakutanen Flüssigkeitsdepots, nutzen das Auftreten von dolenten Hautbereichen, die palpirt und direkt stimuliert werden. Das Auftreten von schmerzhaften Bereichen auf der Körperoberfläche dient in diesen Fällen als ein effektives Charakteristikum bei der Punktwahl. Die Sensibilität von kleinen Hautarealen ist nach MANN (1973) auch für Akupunkturpunkte eines der Hauptcharakteristika bei der Lokalisation. Diese dolenten Körperpunkte können außerdem mit den HEAD'schen Maximalpunkten gleichgesetzt werden. Es ist nun möglich, dass gerade im Perforationsbereich eines GNB die Sensibilität des darüber liegenden Hautareales besonders hoch ist und an dieser Stelle vom Untersucher registriert werden kann. Ein möglicher Grund für die erhöhte Sensibilität im Bereich des GNB könnte sein, dass es hier zu einer vermehrten Ansammlung von Entzündungszellen und deren Mediatoren in dem locker strukturierten Bindegewebe kommt und sich dieser Bereich dadurch empfindlicher darstellt. Eine von MANN (1973) beschriebene mögliche Schwellung im Bereich eines Akupunkturpunktes könnte mit einer Ansammlung von Plasmaextravasat als Folge der lokalen Entzündung erklärt werden. Ob jedoch die für eine erfolgreiche Therapie effektivsten Punkte immer im Bereich von GNB liegen, kann hier nicht abschließend geklärt werden. Hier wären weiterführende Untersuchungen von Interesse, die in Zusammenarbeit mit einer klinisch angewandten Studie zur Effektivität verschiedener Punkte durchgeführt werden könnten.

Die Frage nach den elektrischen Charakteristika von Akupunkturpunkten wird in der Literatur ebenfalls kontrovers diskutiert. Einerseits wird der Standpunkt vertreten, dass die elektrische Hautleitfähigkeit im Bereich von Akupunkturpunkten deutlich erhöht ist und dies somit ein aussagekräftiges Charakteristikum für die Punktwahl darstellt (COLBERT et al. 2008, AHN et al. 2010). Andererseits stellten beispielsweise PEARSON et al. (2007) und KRAMER et al. (2009) in

ihren Untersuchungen fest, dass Akupunkturpunkte keinen Unterschied zu Nachbararealen bezüglich ihrer Hautleitfähigkeit aufwiesen (siehe Kap. 2.4.2.5). Aufgrund der eigenen morphologischen Ergebnisse können zu diesem Thema lediglich Hypothesen formuliert werden. So ist es durchaus möglich, dass im Bereich von größeren GNB eine erhöhte Hautleitfähigkeit messbar ist. Durch die Diskontinuität der Faszie ist vermehrt locker angeordnetes Bindegewebe im Perforationsbereich lokalisiert. Dieses Bindegewebe ist einerseits für eine erhöhte Hautleitfähigkeit verantwortlich. Andererseits bewirkt das Vorhandensein von unmittelbar unter der Haut gelegenen Blutgefäßen eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit. Wiederum kann aufgrund des dargestellten variablen Nervenmusters jedoch nicht von einem reproduzierbaren Charakteristikum der Akupunkturpunkte per se gesprochen werden, sodass die auf dem Markt erhältlichen Punktsuchgeräte nicht geeignet sind, die laut TCM definierten Akupunkturpunkte sicher und reproduzierbar zu detektieren. Der Untersucher sollte sich vielmehr auf seine Palpation und die individuelle Abwehrreaktion des Tieres verlassen um den richtigen Punkt aufzufinden. Die Lokalisation von Körperpunkten für eine Akupunkturtherapie sollte auch nach der Meinung von FINANDO u. FINANDO (2011) als palpationsbasierte Therapiemethode aufgefasst werden.

Eine in der TCM-basierten Therapie häufig angewandte Gruppe von Akupunkturpunkten befindet sich auf dem inneren Verlauf des *Blasenmeridians* unmittelbar paramedian der Dornfortsätze (Zustimmungs- oder Shu-Punkte, Abb. 5.2). Bei fünf der in dieser Arbeit untersuchten Hunde wurden in der Schicht auf Niveau der Fascia thoracolumbalis kleine Nervenäste aufgefunden, welche die Faszie unmittelbar paramedian der Dornfortsätze perforierten. Auch in der tiefen Schicht im Bereich der Querfortsätze konnten bei insgesamt sieben Hunden kleine Äste der Rami dorsales, die um den jeweiligen Proc. accessorius in Richtung Dornfortsatz verliefen, dargestellt werden. Es liegt die Schlussfolgerung nahe, dass diese tiefen Nerven mit denen korrespondieren, die in der oberflächlichen Schicht darstellbar waren und beim Präparieren durch die Faszie und die Muskulatur hindurch verloren gegangen sind. Aufgrund der geringen Größe dieser Nervenäste ist es weiterhin denkbar, dass diese auch bei den anderen Hunden vorhanden waren und bei der Präparation nicht detektiert werden konnten. Da diese in der Medianebene dargestellten Nerven in der oberflächlichen Schicht bei den fünf Tieren an der gleichen Stelle lokalisiert waren, könnten sie in diesem Fall tatsächlich ein morphologisches Korrelat zu den Zustimmungspunkten darstellen. Dieser Befund sollte jedoch lediglich als Tendenz angesehen werden.

5.2.2 Unterschiede im subkutanen Nervenverlauf

In der vorliegenden Arbeit wurde bei zwei Hunden exemplarisch der subkutane Nervenverlauf dargestellt. Bei beiden Tieren wurden Nervendurchtritte durch die oberflächliche Körperfazie identifiziert, die zum einen unmittelbar paramedian der Wirbelsäule und zum anderen gewissermaßen „in zweiter Reihe“ parallel zur Wirbelsäule lokalisiert waren (Abb. 4.15). Ein segmentales Muster war

bei den beiden Tieren ebenfalls erkennbar. Hier stellt sich die Frage, ob die Perforationen der Nerven eventuell tatsächlich ein morphologisches Korrelat zu bestimmten Akupunkturpunkten darstellen könnten. Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, liegen die Zustimmungspunkte unmittelbar paramedian und kaudal der Dornfortsätze. Somit könnten die subkutan lokalisierten Nerven in Dornfortsatznähe diesen Akupunkturpunkten zugeordnet werden. Die Zustimmungspunkte liegen nach der Auffassung der TCM auf dem *inneren Blasenmeridian*. Zusätzlich zeigt dieser Blasenmeridian einen äußeren Verlauf, der mit einer gedachten Linie durch die subkutanen Nervenperforationen in „zweiter Reihe“ korrespondieren könnte (Abb. 5.2). Diese Übereinstimmung kann jedoch nur vermutet werden, da für eine reproduzierbare Aussage unbedingt mehr als zwei Tiere untersucht werden müssen.

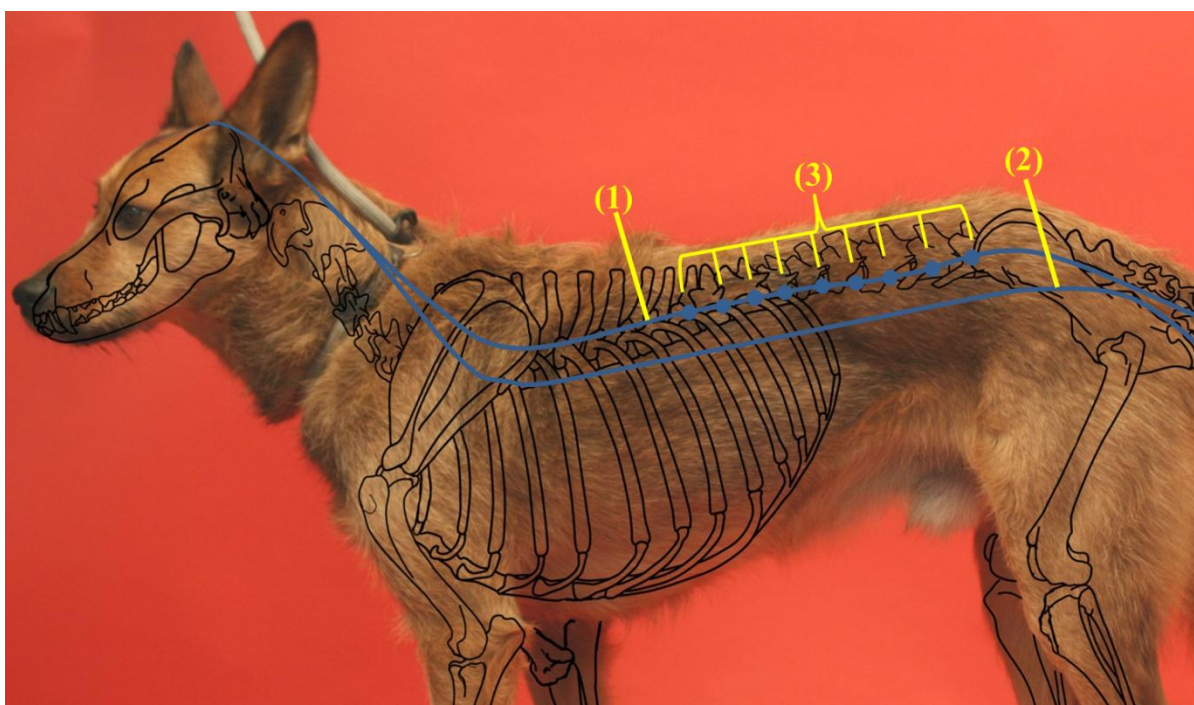


Abb. 5.2 Innerer (1) und äußerer (2) Verlauf des Blasenmeridians beim Hund; (3) markiert die Lage der thorakolumbalen Zustimmungspunkte nach traditionell chinesischer Auffassung

5.2.3 Neuraltherapeutische Methoden – Eine Segmenttherapie?

Dass die Punktspezifität bei einer Akupunktur relativ und daher völlig unwichtig für eine erfolgreiche Akupunkturtherapie ist, wurde bereits 1973 von einer Arbeitsgruppe in Peking erwähnt (RESEARCH GROUP OF ACUPUNCTURE ANESTHESIA 1973). Auch nach PANZER (1993) hängt die Effektivität einer Akupunktur (beim Pferd) nicht von der exakten Punktauswahl nach den Kriterien der TCM ab. Eine klinisch experimentelle Studie von BÄUMLER et al. (2012) ergab darüber hinaus, dass selbst unter erfahrenen Akupunkteuren keine einheitliche Punktlokalisation von Akupunkturpunkten auf dem Arm des Menschen besteht. Der größte Abstand der markierten Punkte lag in dieser

Untersuchung bei über acht Zentimetern. Die Ergebnisse veranlassten die Autoren zu der Aussage, dass aufgrund der geringen Übereinstimmung bei der Punktlokalisierung die Verwendung von koordinatenartig definierten Akupunkturpunkten in zukünftigen Studien mit großer Vorsicht zu interpretieren ist. Die in dieser Arbeit dargestellte hohe Variabilität des Innervationsmusters in der oberflächlichen Schicht der Lendenregion schließt die Existenz von definierten und reproduzierbaren Akupunkturpunkten morphologisch aus. Vielmehr stützen die Befunde in der Präparationsschicht im Bereich der langen Rückenmuskulatur eine andere Theorie. In dieser Schicht ergab sich bis auf kleine Variationen ein ähnliches segmentales Muster im Durchtritt der Nerven durch die Muskulatur (Abb. 4.12). Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass jegliche Form einer neuraltherapeutischen Herangehensweise einen segmental afferenten Impuls in das Rückenmark leitet. In diesem Zusammenhang ist es daher nicht wichtig, einen exakt vorgegeben Punkt auf der Körperoberfläche zu treffen. Der Therapeut sollte sich von vornherein bewusst werden, welches Rückenmarkssegment er mit seiner Therapie erreichen möchte. Daher ist neben der korrekten Palpation der sensiblen Körperbereiche ein fundiertes Wissen über die Segmentanatomie und deren zugrundeliegenden Mechanismen die wichtigste Voraussetzung für den Therapeuten. In diesem Zusammenhang ist zu empfehlen, zukünftig nicht mehr von Akupunktur- oder Körperpunkten, sondern von sensiblen Körperarealen zu sprechen. Auch der in der Praxis häufig verwendete Begriff der *segmentalen Therapie* für die verschiedenen neuraltherapeutischen Verfahren sollte kritisch überdacht werden. Dieser Begriff suggeriert nämlich, dass mit einer neuraltherapeutischen Methode ein Segment therapiert wird. Gemeint soll jedoch sein, dass die Stimulation eines Areals in der Körperperipherie ein gewünschtes Rückenmarkssegment anspricht, über das der positive Effekt der Therapie weitergeleitet wird. So könnte zur Vermeidung von Missverständnissen in Zukunft beispielsweise von Areal- oder Bereichstherapie gesprochen werden.

Vor bereits 30 Jahren wurden segmentanatomische Überlegungen als Grundlage für die Wirkung der Akupunktur beschrieben (WANCURA u. KÖNIG 1974). 2009 erschien dann gewissermaßen die Fortsetzung der Arbeit von 1974 als Buch mit dem Titel „Segment-Anatomie – der Schlüssel zu Akupunktur, Neuraltherapie und Manualtherapie“ von INGRID WANCURA-KAMPIK. Die Autorin erklärt die Wirkung verschiedener zur Schulmedizin komplementärer Therapieformen auf der Basis des segmentalen Körperaufbaues und der zugrunde liegenden neuronalen Verschaltungen des peripheren sowie vegetativen Nervensystems. Beispielsweise lässt sich eine große Übereinstimmung von in der TCM verwendeten klassischen Akupunkturpunkte mit den Maximalpunkten innerhalb der HEAD'schen Zonen darstellen, was auch KOTHBAUER (2004) für das Rind bestätigte. Für das Verständnis der Wirkweise der verschiedenen Therapiemethoden ist es folglich unentbehrlich, sich mit der embryonalen Entwicklung und dem segmentalen Körperaufbau zu beschäftigen, der post partum in Form der Myotome und Dermatome erhalten bleibt. Nach Aussage von WANCURA-KAMPIK (2010) bleibt ein Dermatome stets mit dem embryonal dazugehörigen Myo- und Sklerotome über den

jeweiligen Spinalnerven in Verbindung auch wenn sich die Anteile etwas voneinander distanziert haben. Das Wissen über die segmentanatomischen Grundlagen und die algetischen Zonen nach HEAD (1893) und MACKENZIE (1906) machen neben lokal wirkenden Akupunkturmechanismen zusätzlich die Wirkung beispielsweise einer Akupunktur auf die Eingeweide plausibel. Die in der vorliegenden Arbeit erhobenen Befunde bestätigen die Aussagen zur Segmenttheorie bezüglich der verschiedenen neuraltherapeutischen Methoden zu großen Teilen. Die Variabilität im Innervationsmuster der oberflächlichen Schicht einerseits und die bei allen Tieren reproduzierbare segmentale Anordnung der Rr. dorsales in der Schicht der langen Rückenmuskulatur andererseits lassen den Schluss zu, dass die Reizung eines Hautareales unabhängig von einer genauen Punktlokalisierung geeignet ist, das dazugehörige Rückenmarkssegment zu stimulieren.

In den bisherigen Erklärungsansätzen zur Wirksamkeit der komplementären Therapiemethoden im Allgemeinen als auch auf Grundlage der Segmentanatomie im Speziellen werden keine Aussagen zu eventuell interindividuellen Unterschieden gemacht. Aufgrund der präparatorischen Ergebnisse dieser Arbeit scheint aber eine individuelle Betrachtung notwendig. So ergibt sich schon aus der bei den zwölf untersuchten Hunden variablen Anzahl der für die Innervation der Regio lumbalis zuständigen Nerven (zwischen drei und sieben) eine unterschiedliche Reichweite der sensiblen Hautäste und demzufolge eine differierende Anordnung der Dermatome. Daraus folgt, dass bei einer Stimulation des gleichen Hautareales unter Umständen bei den Tieren individuell unterschiedliche Rückenmarkssegmente erreicht werden. Die bei den Tieren unterschiedlich ausgeprägte Beteiligung von Ventralästen aus den Segmenten L3 bis L5 kann ebenso ein Grund dafür sein, dass bei einer Akupunktur die afferenten Impulse in unterschiedlichen Rückenmarkssegmenten eintreten.

Diese individuell mitunter hohe Variabilität im Innervationsmuster der Lendenregion ist eine mögliche Ursache, warum eine neuraltherapeutische Maßnahme nicht bei allen Hunden gleichermaßen wirkt, ja sogar bei einigen Tieren unwirksam ist. Stimuliert ein Therapeut beispielsweise ein Hautareal, von dem er denkt, es sei das Dermatome aus einem bestimmten Segment, ist es aufgrund des unterschiedlichen Nervenverlaufes möglich, dass das erwünschte Segment gar nicht erreicht wird. Die afferenten Impulse können in einem ganz anderen Rückenmarkssegment ankommen und weiterverarbeitet werden. Nun ist bekannt, dass die Innervation sowohl der Muskulatur als auch Eingeweide aus mehreren Segmenten gespeist wird, sodass bei einer Reizung eines Nachbarsegmentes trotzdem die erwünschte Wirkung eintreten kann (MAYOR 2008). Wenn jedoch das angesprochene Segment von dem ursprünglich erwünschten weiter entfernt liegt (so z.B. im Falle einer Innervation der kaudalen Lendenregion durch Rr. ventrales aus dem Segment L3), kann die gewünschte Wirkung auch völlig ausbleiben. Die Erkenntnis der in dieser Arbeit nachgewiesenen individuellen Unterschiede vor allem in der Anzahl der Nerven sowie die variable Beteiligung von Ventralästen an der sensiblen Innervation der dorsalen Lendenregion sollten daher in Zukunft bei einer Therapie mehr Berücksichtigung finden.

5.2.4 Mögliche analgetische Mechanismen bei Anwendung eines neuraltherapeutischen Verfahrens

Wie in Kap. 5.2.2 beschrieben, ist aufgrund der neuroanatomischen Ergebnisse dieser Arbeit davon auszugehen, dass der durch eine neuraltherapeutische Methode gesetzte Impuls segmental in das Rückenmark geleitet wird. Die verschiedenen Erklärungsansätze zum analgetischen Wirkmechanismus dieser Therapieformen basieren darauf, dass mit der Stimulation unterschiedliche Nervenfasertypen gereizt werden. Nach der Gate-Control-Theorie von MELZACK u. WALL (1965) sowie beim Prinzip der Counter-Irritation werden beispielsweise mit einer Akupunkturnadel Mechanorezeptoren mit schneller leitenden A β -Fasern gereizt, die im Rückenmark über hemmende Interneurone den ankommenden Schmerzreiz aus der Peripherie an der Weiterleitung in Richtung Gehirn hindern. Demgegenüber steht das Prinzip der Diffuse-Noxious-Inhibitory-Control (DNIC), das im Sinne von „Schmerz hemmt Schmerz“ davon ausgeht, dass der gesetzte Reiz oberhalb der Schmerzschwelle liegt und somit über Nozizeptoren wahrgenommen und von C- bzw. A δ -Fasern weitergeleitet wird (LANGEVIN u. VAILLANCOURT 1999, ENDRES 2008). Es stellt sich also grundlegend die Frage, ob der gesetzte Reiz stark genug ist, einen dolenten Stimulus darzustellen oder nicht. Um die effektivste Wirkung beispielsweise bei einer Akupunkturbehandlung zu erzielen, ist sowohl die Stimulation von sowohl A β -, als auch A δ - bzw. C-Fasern nötig (KAWAKITA et al. 2006, ZHAO 2008). Demzufolge ist eine Kombination aus einer afferenten Stimulation der verschiedenen Nervenfasertypen durch eine Akupunktur am wahrscheinlichsten. Über welchen Rezeptor der gesetzte Stimulus letztendlich aufgenommen und weitergeleitet wird, ist noch nicht ausreichend aufgeklärt. Der Therapeut kann dies mit seiner Reizsetzung auch nicht vorhersehen oder beeinflussen. Da *polymodale Rezeptoren* auf Reize sowohl unterhalb als auch oberhalb der Schmerzschwelle reagieren können, ist dieser Rezeptor für die Vermittlung des gesetzten Stimulus gut denkbar. Es ist weiterhin denkbar, dass eine individuell unterschiedliche Wahrnehmung des Stimulus besteht und bei einer Therapie berücksichtigt werden muss. So ist es möglich, dass ein bestimmter Reiz von einem Tier als schmerzhaft empfunden wird während ein anderes keinen Schmerz wahrnimmt. Die polymodalen Rezeptoren können des Weiteren durch die Freisetzung von vasoaktiven Substanzen Hyperalgesie, Schwellung und Rötung im betroffenen Hautbereich auslösen (TUCKETT u. WEI 1987). Sie sind außerdem zu einer Sensibilisierung des Gewebes befähigt (BESSOU u. PERL 1969). Diese Eigenschaften könnten eine weitere Erklärung dafür liefern, dass bestimmte Hautbereiche bei einer Erkrankung reaktiv werden und eine kleine Schwellung aufweisen, die nun vom Untersucher palpatorisch lokalisiert werden kann.

Die Kombination aus der Gate-Control-Theorie, der Counter-Irritation und den Mechanismen der DNIC erklären nur den Kurzeiteffekt einer neuraltherapeutischen Technik. Langzeiteffekte werden nach LIU (1986) vor allem über supraspinale negative feedback-Mechanismen ausgelöst. Die hier angeführten Überlegungen zum Wirkmechanismus beschränken sich vor allem auf die lokale

Gewebewirkung sowie die segmentalen Mechanismen, die zu einer kurzzeitigen Analgesie führen. Nach CHENG (2009) sind zentral regulatorische Mechanismen ein wichtiger Teil des analgetischen Effektes bei einer Akupunktur. Die zentralen Mechanismen werden jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht näher ausgeführt. Dieses Gebiet hat in der Forschung in den letzten zehn Jahren eine separate und wichtige Stellung eingenommen. Durch neuste funktionelle bildgebende Verfahren, wie z.B. fMRI (funktionelles Magnetresonanztomographie) ist es möglich, die bei einer peripheren Stimulation aktivierten bzw. deaktivierten Gehirnareale sichtbar zu machen (BAI et al. 2009, KONG et al. 2009). Inwieweit diese Aktivierungen der speziellen Gehirnabschnitte jedoch typisch für eine bestimmte Form der Therapie sind, ist noch nicht geklärt.

Die Ausschüttung endogener Opioide auf spinaler sowie supraspinaler Ebene wird seit vielen Jahren für den analgetischen Effekt bei der Akupunktur mit verantwortlich gemacht (HAN u. TERENIUS 1982). Da sich nach LIN u. CHEN (2008) zahlreiche Opioidrezeptoren in der Haut an C-Faserendigungen befinden, ist es möglich, dass diese auch mit polymodalen Rezeptoren assoziiert sind, woraus eine vermehrte Freisetzung der Opioide bei einer Stimulation von Körperarealen resultieren würde.

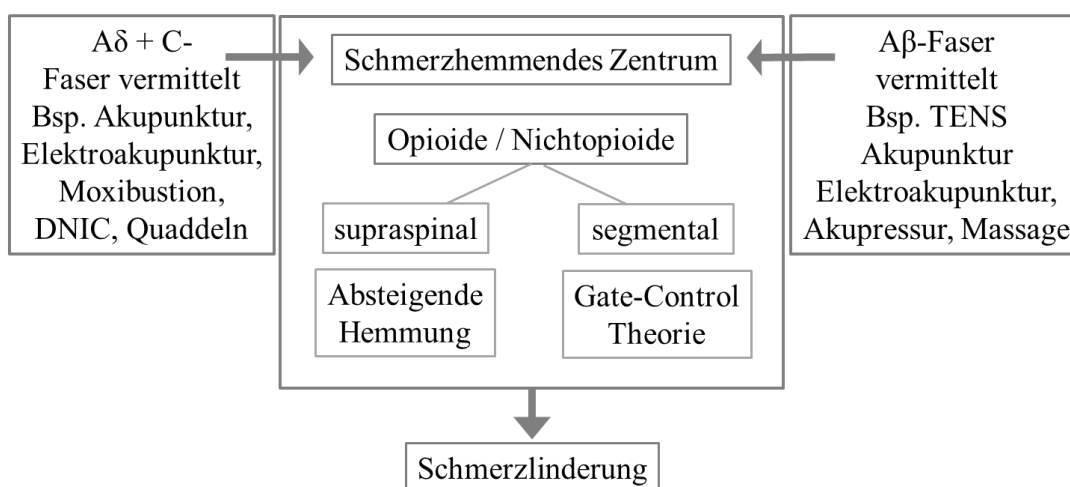


Abb. 5.3 Mögliche Mechanismen, die zu einer Analgesie durch neuraltherapeutische Methoden führen, (modifiziert nach KAWAKITA et al. 2006)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der primäre und eher kurzzeitige analgetische Effekt vor allem über segmentale Mechanismen vermittelt wird und dabei die Kombination aus einer Aβ- sowie Aδ- und C-faservermittelten Stimulation am effektivsten zu sein scheint. Diese Mechanismen führen im Weiteren wahrscheinlich dazu, dass der Organismus dabei unterstützt wird, seine körpereigenen analgetischen Mechanismen in Gang zu setzen, um aus eigener Kraft den Schmerzzustand längerfristig lindern zu können (Abb. 5.3).

5.2.5 Das Problem mit dem Placebo

Qualitativ gute und wissenschaftlich haltbare Studien sollten randomisiert, verblindet und Placebo kontrolliert (RCT-Studien) sein. Während beim Studiendesign für eine RCT-Studie mit einem bestimmten Medikament die Auswahl des Placebo relativ einfach ist, so ergeben sich bei der Suche nach einem geeigneten Placebo für eine Untersuchung zur Wirksamkeit der verschiedenen neuraltherapeutischen Verfahren einige Schwierigkeiten. Vergleicht man die neuraltherapeutischen Methoden miteinander, so z.B. die Akupunktur mit der TENS (Transkutane Elektrische Nerven Stimulation), können eigentlich aufgrund der differierenden Methoden keine zuverlässigen Aussagen gemacht werden (STREITBERGER u. KLEINHENZ 1998). In der Akupunkturforschung wird als vermeintlich geeignetes Placebo häufig die sog. Sham-Akupunktur angewandt. Diese Form der Akupunktur stellt das Einstechen von Akupunkturnadeln in die nicht im klassischen Sinne definierten Akupunkturpunkte dar. Jedoch löst auch die Sham-Akupunktur stets z.T. starke Reaktionen aus, die mit denen einer Verum-Akupunktur vergleichbar sein können (STREITBERGER u. KLEINHENZ 1998, KLEINHENZ et al. 1999, LUNDEBERG et al. 2011). Die bisher größte Studie zur Akupunktur (GERAC-Studie) beim Menschen mit über 2000 Patienten und ca. 35000 Akupunkturbehandlungen ergab, dass die Wirksamkeit einer Sham-Akupunktur mit der einer Verum-Akupunktur gleichzusetzen ist und beide Formen der Wirkung eines Pharmakons bei weitem überlegen sind (HAAKE et al. 2007). Viele Studien zur Sham-Akupunktur können jedoch nach Ansicht von WANCURA-KAMPIK (2010) aus segmentanatomischen Betrachtungen nicht als Placebostudien angesehen werden, weil das Setzen der Nadeln in demselben Segment stattfindet und so auf jeden Fall eine Stimulation des betreffenden Segmentes bewirkt wird. Die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse zur sensiblen Innervation der Regio lumbalis des Hundes führen aufgrund des variablen Verzweigungsmusters der Nerven ebenfalls zu der Aussage, dass eine Sham-Akupunktur kein geeignetes Placebo darstellen kann. Dies liegt einerseits darin begründet, dass die Erkenntnis des individuell unterschiedlichen Nervenverlaufs vor allem in der oberflächlichen Schicht die Existenz eines morphologischen Korrelates zu den klassischen Akupunkturpunkten im Allgemeinen anzweifelt (siehe 5.2.1). Andererseits deutet die regelmäßig nachvollziehbare und reproduzierbare Lage der Nerven auf Niveau der langen Rückenmuskulatur auf einen segmental in das Rückenmark vermittelten Reiz bei einer Stimulation der Körperoberfläche hin. Daher erscheint die exakte Platzierung des Reizes beispielsweise in Form einer Akupunkturnadel eher unwichtig solange der Reiz in das gewünschte Rückenmarkssegment vermittelt wird. Daher sollte in Zukunft nicht mehr von Verum-, bzw. Sham-Akupunktur gesprochen werden.

Die Entwicklung einer Placebo-Akupunkturnadel von STREITBERGER u. KLEINHENZ (1998) hat es möglich gemacht, dasselbe Hautareal hinsichtlich der Wirkung des Nadelstiches an sich zu vergleichen. Somit scheint die sogenannte *Streitbergernadel* ein gutes Instrument für eine Placebo kontrollierte Akupunkturstudie zu sein, nicht zuletzt, da es das einzige Placebo für die Akupunktur darstellt, das für den Patienten verblindet ist. Eine Weiterentwicklung der Streitbergernadel von

TAKAKURA und YAJIMA (2008) hat es sogar möglich gemacht, die Studie auch für den Therapeuten zu verblinden. Diese weiterentwickelte Placebonadel schaltet die Erwartungshaltung gegenüber der Akupunktur sowohl vom Therapeuten selbst als auch die Erwartungshaltung des Patienten und, im Falle der Tiermedizin, des Tierbesitzers aus und ist somit für echte Blindstudien geeignet. Neuere funktionell bildgebende Verfahren haben in diesem Zusammenhang ergeben, dass viele Gehirnareale, die bei einer Akupunktur aktiviert werden, mit den Arealen überlappen, die bei der Gabe eines Placebos aktiviert werden und dass die Erwartungshaltung den stärksten unspezifischen Placeboeffekt darstellt (MONTGOMERY u. KIRSCH 1997, DHOND et al. 2007). Also sind fMRI-gestützte Studien mit der modifizierten Streitbergernadel empfehlenswert. Letztendlich sollte bei jeder RCT-Studie berücksichtigt werden, dass jegliche segmentale Stimulation auch ohne die Penetration einer Nadel zumindest einen geringen der Akupressur ähnlichen Effekt auslöst (WHITE 2003) und damit möglicherweise Ergebnisse mit Bedacht zu interpretieren sind.

5.3 Fazit und Ausblick

Die in dieser Dissertation vorgelegten Ergebnisse zum Verlauf und Verzweigungsmuster der Nerven der Regio lumbalis des Hundes lassen neue Betrachtungsweisen der verschiedenen neuraltherapeutischen Verfahren zu. So können basierend auf den erhobenen morphologischen Befunden klare Richtlinien für den sinnvollen Einsatz der verschiedenen neuraltherapeutischen Methoden im Sinn einer körperarealbezogenen Herangehensweise formuliert werden. Auf der anderen Seite müssen derzeit verwendete traditionelle Verfahren, die auf einer Punktspezifität beruhen, sehr kritisch hinterfragt werden. Die individuell variablen Ergebnisse der sensiblen Innervation vor allem zwischen der Fascia thoracolumbalis und dem Eintritt der Nerven in die Haut lassen den Schluss zu, dass es für die Existenz der Akupunkturpunkte im klassischen Sinn kein morphologisches Korrelat gibt. Vielmehr ist aufgrund der regelmäßigen Anordnung der Nerven auf Niveau der langen Rückenmuskulatur von einer segmental vermittelten Wirkung bei einer Akupunktur sowie bei anderen Therapiemethoden, wie z.B. Akupressur, Transkutane Elektrische Nerven Stimulation (TENS) oder dem Setzen von intrakutanen Flüssigkeitsdepots (Quaddeln) auszugehen.

Individuelle Unterschiede im sensiblen Innervationsmuster der Lendenregion, allem voran die unterschiedliche Anzahl der Nervenäste, wurden in der Literatur bisher nicht beschrieben. Diese Unterschiede stellen jedoch einen möglichen Grund dafür dar, dass die Wirkung eines neuraltherapeutischen Verfahrens nicht bei jedem Hund gleich ist und sogar bei einigen Tieren gänzlich ausbleibt. Ausgehend von den scheinbar allgemeingültigen segmentanatomischen Verhältnissen bezüglich der sensiblen Innervation der Regio lumbalis würde ein Therapeut ein bestimmtes Hautareal mit seiner Methode reizen, von dem er vermutet, dass es in ein ihm bekanntes Rückenmarkssegment projiziert. Aufgrund der variablen Innervation kann es jedoch nun sein, dass ein ganz anderes Rückenmarkssegment stimuliert wird, als vom Therapeuten angenommen und

erwünscht. Diesem möglichen Fehler kann der Therapeut jedoch entgegenwirken, in dem er seinen Reiz in unmittelbarer Nähe des Dornfortsatzes setzt, dessen Rückenmarkssegment er stimulieren möchte. Zusätzlich ist bei einer Penetration der Haut beispielsweise mit einer Akupunkturadel das Einstechen möglichst bis mindestens in die lange Rückenmuskulatur zu raten. Werden diese beiden Punkte beachtet, hat der Therapeut die größte Wahrscheinlichkeit, auch das von ihm gewünschte Rückenmarkssegment zu treffen. Darüber hinaus sollten bei einer segmentalen Therapie möglichst zwei oder mehr aufeinanderfolgende Segmente stimuliert werden, um eine stärkere Wirkung zu erzielen.

In diesem Zusammenhang wäre es wünschenswert, die Inhalte der diversen Fortbildungsangebote im Bereich der neuraltherapeutischen Verfahren kritisch durchzusehen, um eventuell einige Themenkomplexe durch den neuen Wissensstand zu aktualisieren. Denn spätestens mit Erscheinen der ersten Auflage des Buches „Segmentanatomie – der Schlüssel zu Akupunktur, Neuraltherapie und Manualtherapie“ von WANCURA-KAMPIK im Jahr 2009 sollte der Beginn für eine neue Ära der Akupunktur und Akupunkturforschung gelegt worden sein, in der es gelingen kann, die Effektivität mehr traditioneller Therapieformen, wie z.B. die Akupunktur, fern von jeder Mystik erklärbar und nachvollziehbar zu machen. Diesen von SANDNER-KIESSLING (2009) bezeichneten *Paradigmenwechsel der Akupunktur* unterstützen die in dieser Dissertation erhobenen neuroanatomischen Befunde nachdrücklich. Daher sollte die Vermittlung von segmentanatomischen Zusammenhängen im Rahmen der verschiedenen Seminare ein zentraler Bestandteil werden. Außerdem sollten die Teilnehmer sensibilisiert werden, die Körperoberfläche fern von jeder Punktspezifität zu durchtasten und für jedes Individuum gesondert die zu stimulierenden Hautareale palpatorisch zu lokalisieren.

Eine ganzheitlich orientierte Herangehensweise der traditionellen Therapieformen kann trotzdem durchaus ihre Berechtigung haben. In den Ursprungsländern der sogenannten traditionell orientalischen Medizin herrscht eine grundlegend ganzheitlich Auffassung, die sich auf alle Lebensbereiche von der Politik bis in die Medizin erstreckt. Daher erscheint es schwer, als westlich geprägter Therapeut diese ganzheitlichen Denkansätze zu übernehmen. Dies sollte den echten traditionellen Fachleuten überlassen werden, deren gesamtes Denken auf diesen ganzheitlichen Grundlagen fußt. Die Auswahl von bestimmten Körperarealen bei einer neuraltherapeutischen Behandlung beruht sowohl in der traditionellen als auch in der westlichen Medizin zu großen Teilen auf empirischen Erfahrungen, die über viele Jahre einerseits übertragen wurden, aber andererseits stets einer Modernisierung nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen unterliegen sollten. Individuelle Unterschiede sollten in Zukunft mehr Berücksichtigung finden.

Mit den morphologischen Ergebnissen zur Innervation der Regio lumbalis des Hundes wurde in dieser Arbeit ein weiterer grundlegender Beitrag zum Verständnis der Wirksamkeit verschiedener

neuraltherapeutischer Verfahren geleistet. Viele Fragen bleiben dennoch nach wie vor offen. Mit den in den letzten Jahren fortgeschrittenen funktionellen bildgebenden Untersuchungsverfahren des Gehirnes werden zukünftig sicherlich exaktere Kenntnisse erworben, um das Wirkprinzip der verschiedenen neuraltherapeutischen Verfahren noch genauer aufzuklären.

Um die Ergebnisse dieser Dissertation zu unterstützen, sind verschiedene weiterführende Untersuchungen von Interesse. In der vorliegenden Arbeit wurde aufgrund der Fixation und der Lagerung der Hunde bei der Präparation nur eine Körperseite untersucht. Inwieweit das Innervationsmuster auf der kontralateralen Seite übereinstimmt, sollte durch eine Präparation beider Körperseiten ermittelt werden. Histologische Untersuchungen der Verzweigung der sensiblen Nerven innerhalb der Dermis würden die bisher erhobenen makroskopischen Befunde erweitern. Hier wäre einerseits die immunhistochemische Untersuchung von Serienschnitten der Haut im Hinblick auf das Verzweigungsmuster und die Nervenfaserdichte im Fokus. Andererseits könnte mit der Untersuchung der Zusammensetzung der Nerven hinsichtlich der Faserqualitäten möglicherweise eine Aussage zur genauen afferenten Reizleitung aus der Peripherie bis in das Rückenmark getroffen werden. Die eigenen morphologischen Ergebnisse der interindividuell variierenden Innervation des Lendenbereiches des Hundes dienen aufgrund der vergleichsweise geringen Tierzahl in erster Linie als Grundlage. Nicht zuletzt, weil eine detaillierte morphologisch neuroanatomische Untersuchung der Regio lumbalis des Hundes vor dem Hintergrund neuraltherapeutischer Methoden bisher nicht durchgeführt wurde. Eine statistische Validierung der dargestellten Ergebnisse mit einer größeren Tierzahl wäre wünschenswert. Die Hunde, die für die makroskopisch-anatomische Präparation dieser Arbeit zur Verfügung standen, stammten jedoch alle aus Tierarztpraxen, in denen sie mit einer infausten Prognose tierschutzkonform euthanasiert wurden, sodass kein Einfluss auf die Rasse oder das Alter ausgeübt werden konnte. Eine homogene Rasseverteilung in Verbindung mit einer größeren Probenzahl wäre nur als genehmigungspflichtiger Tierversuch möglich. Hier stellt sich jedoch die Frage nach dem Nutzen der gewonnenen Ergebnisse mit mehr Hunden einerseits und tierschutzethischen Kriterien eines Tierversuches andererseits. Da eine gewisse Variation des Innervationsmusters bei allen zwölf in dieser Arbeit untersuchten Hunden vor allem in der Peripherie vorlag, ist es höchst wahrscheinlich, dass auch bei einer größeren Stichprobenzahl eine vergleichbar hohe Variabilität zu verzeichnen wäre. Somit steht die Erkenntnis der interindividuellen neuroanatomischen Unterschiede an sich im Vordergrund und sollte in Zukunft mehr berücksichtigt werden. Ein Studiendesign mit einer großen und homogen verteilten Tierzahl ist weder möglich noch nötig.

Für eine detaillierte Darstellung des Nervenverlaufes und dessen –verzweigung bis an den Ursprung ist auch heute noch trotz aller moderner Forschung eine technisch anspruchsvolle mesoskopische Präparation das einzige zur Verfügung stehende Mittel. Am lebenden Menschen oder Tier können lediglich nicht oder geringinvasive elektrophysiologische Messungen unternommen werden, die nur

auf eine vorhandene oder fehlende Innervation eines Körperareales rückschließen lassen. Die in-vivo Zuordnung eines Nerven zu seinem Ursprungssegment ist invasiv z.B. am isolierten Rückenmark und somit nur im Tierversuch möglich. Die eigenen morphologischen Ergebnisse zeigen jedoch auf, dass es bezüglich des peripheren Innervationsmusters der Spinalnerven nach wie vor Ungenauigkeiten gibt. Für den Hund wurde in dieser Arbeit ein erster Schritt in Richtung einer detaillierten Beschreibung gemacht. Dies sollte zukünftig auch auf weitere Spezies übertragen werden.

Jenseits der morphologisch-anatomischen sowie klinisch-praktischen Relevanz können die Ergebnisse dieser Dissertation als Beitrag zur Grundlagenforschung in der Neurogenese angesehen werden. Die Erkenntnisse aus der molekularbiologischen Embryonalforschung, die das Aussprossen peripherer Nerven detailliert beschreiben, können nun durch das phänotypische adulte und interindividuell variierende Innervationsmuster der Lendenregion des Hundes untermauert werden. Möglicherweise kann das individuelle Nervenmuster in der Peripherie jedes Hundes als „Fingerabdruck“ der individuellen Neurogenese angesehen werden.

6 Zusammenfassung

Dora Bernigau

„Neue Aspekte der segmentalen Neuroanatomie des Lendenbereiches beim Hund“

Veterinär–Anatomisches Institut der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Eingereicht im Dezember 2012

(94 Seiten, 34 Abbildungen, 10 Tabellen, 226 Literaturangaben)

Schlüsselwörter: Akupunktur, Akupunkturpunkt, Hund, Nervi lumbales, Neuraltherapie, Neuroanatomie, Segmentanatomie

Sowohl in der Human- als auch in der Veterinärmedizin existieren mittlerweile zahlreiche Therapieverfahren, die immer öfter komplementär zur Schulmedizin eingesetzt werden. Zu den in der Tiermedizin besonders häufig angewandten Verfahren zählen die Neuraltherapie und die Akupunktur. Aber auch die Transkutane Elektrische Nerven Stimulation (TENS) und die Stimulation myofaszialer Triggerpunkte werden zu den segmentalen Therapiemethoden gerechnet. Die Linderung chronischer Schmerzzustände steht beim Einsatz dieser Verfahren im Vordergrund.

Muskuloskelettale Erkrankungen der Lendenwirbelsäule und Lendenregion sowie der Gliedmaßen stellen beim Hund eine häufige Indikation für den Einsatz eines neuraltherapeutischen Verfahrens dar. In diesem Zusammenhang wird die Regio lumbalis des Hundes sehr häufig für eine Therapie herangezogen. Die Wirkung einer neuraltherapeutischen Behandlung wird in diesem Bereich segmental über die Spinalnerven vermittelt.

Ziel der vorliegenden Dissertation war es, die Regio lumbalis des Hundes insbesondere im Hinblick auf das Innervationsmuster der Hautnerven detailliert darzustellen. Die erhobenen Befunde sollten einen Beitrag zum besseren Verständnis der Wirkmechanismen der verschiedenen Therapietechniken leisten. Außerdem sollte nach einem möglichen morphologischen Korrelat zu den in der TCM definierten Akupunkturpunkten gesucht werden.

Zu diesem Zweck wurden der Verlauf und die Verzweigung der Nerven des Lendenbereiches von n=12 formalinfixierten Hunden beginnend von der dorsalen Medianlinie dargestellt. Eine fotografische Dokumentation fand in drei Schichten statt: im Bereich der Fascia thoracolumbalis (a), auf Niveau der langen Rückenmuskulatur (b) und über den Procc. transversi (c). Des Weiteren wurde bei n=2 Tieren eine Präparation des subkutanen Innervationsmusters vorgenommen. Um die

präparatorischen Ergebnisse interindividuell vergleichen zu können, wurden sog. Kaudalverschiebungsindizes entwickelt und für die einzelnen Spinalnerven berechnet.

Spinalnerven, welche die Haut der Regio lumbalis innervierten, stammten aus den Rückenmarkssegmenten Th12 bis L5. Nervi cutanei der Dorsaläste besaßen alle Hunde, bei n=7 Tieren beteiligten sich auch Hautäste von Rr. ventrales aus den Segmenten L3 bis L5 an der Innervation des dorsalen Lendenbereiches. Die Anzahl der Hautnervenäste variierte individuell zwischen drei und sieben, wobei die Nerven bei den Tieren mit einer geringeren Anzahl aus den weiter kranial gelegenen Segmenten stammten. Der Verlauf, die Verzweigung sowie der Perforation der Nervi cutanei durch die Fascia thoracolumbalis zeigten eine sehr hohe individuelle Variabilität. Im Bereich der langen Rückenmuskulatur wurde dagegen ein vergleichbares und segmental regelmäßiges Innervationsmuster angetroffen. Bei der Präparation der subkutanen Nervenverläufe fiel ein sehr irreguläres und segmental nicht nachvollziehbares Muster auf. Bei allen untersuchten Hunden zeigten die Dorsaläste der Spinalnerven eine Kaudalverschiebung um mindestens eine Wirbelkörperlänge.

Die in der vorliegenden Arbeit eingeführten Kaudalverschiebungsindizes ermöglichen einen interindividuellen Vergleich des Verlaufes der Spinalnerven der Regio lumbalis. Durch die errechneten Indizes ist eine graphische Darstellung und aussagekräftige Interpretation der morphologischen Ergebnisse gegeben. Die zum Teil hohe interindividuelle Variation im Innervationsmuster der Hautnerven des Lendenbereiches in den oberflächlichen Körperschichten lässt den Schluss zu, dass die Hautareale des Lendenbereiches nicht bei jedem Tier von demselben Spinalnerven innerviert werden. Das bedeutet, dass die Dermatome bei verschiedenen Individuen nicht identisch sind. Des Weiteren schließt die unterschiedliche Lokalisation der Nerven und ihrer Durchtrittstellen durch die Fascia thoracolumbalis ein morphologisches Korrelat zu den in der TCM festgelegten Akupunkturpunkten aus. Die bei allen Hunden regelmäßige Anordnung der Spinalnerven auf Niveau der langen Rückenmuskulatur deutet vielmehr darauf hin, dass ein in der Körperperipherie gesetzter Reiz unabhängig von einer genauen Punktlokalisierung einen segmental in das Rückenmark vermittelten Effekt bei einer neuraltherapeutischen Behandlung zur Folge hat. Für eine erfolgreiche Therapie sind daher die profunde Kenntnis der Segmentanatomie sowie der neuroanatomischen Verschaltungswege unbedingt erforderlich. In Zukunft sollte mehr Augenmerk auf individuelle Unterschiede im Innervationsmuster gelegt werden, da diese einen möglichen Grund für die individuell variable oder auch ausbleibende Wirkung bei einer neuraltherapeutischen Behandlung darstellen können.

calculated for each spinal nerve in all dogs in order to be able to carry out an inter-individual comparison of the morphological results.

Spinal nerves which innervated the skin of the lumbar region originated from the 13th thoracic to the 5th lumbar segment. Every dog had cutaneous nerves originating from the dorsal branches, whereas nerves of ventral branches coming from the 3rd to 5th lumbar segment were involved in skin innervation in seven animals. The number of cutaneous nerve branches in different individuals varied between three and seven. In animals which had a lower number of nerve branches, these originated from more cranial spinal segments. The course, the branching pattern as well as the passage of the nerves through the thoracolumbar fascia showed a high inter-individual variability. At the level of the long muscles of the back a reproducible and segmental regular innervation pattern could be detected. The dissection of the subcutaneous layer of two dogs revealed a very irregular and non-segmental innervation pattern. A caudal shift of at least one vertebral length could be detected for all dorsal branches in every dog.

The caudal shift indices which were introduced in the present study enable an inter-individual comparison of the course of the canine lumbar nerves. With the calculated results it was possible to make a graphical illustration as well as a significant interpretation of the morphological findings. The in part high variability of the innervation pattern of the lumbar cutaneous nerves in the superficial body layers leads to the conclusion that the skin areas of the lumbar region are not always supplied by the same spinal nerve. This means that the dermatomes can differ between individuals. Moreover the different location of the nerves and their passage through the thoracolumbar fascia exclude a morphological correlate to acupoints as defined in the traditional Chinese medicine. The reproducible and segmental regular innervation pattern at the level of the long muscles of the back rather suggests that neural therapeutic stimulation of the body's periphery results in an effect which is transmitted segmentally into the spinal cord. Therefore a profound knowledge of the segmental anatomy and its underlying reflex pathways is required to perform a successful neural therapy. In future individual differences in the nerve supply should be taken into account. These differences must be considered as an important reason for unequal or even entirely missing therapeutic success in neural therapeutic treatments.

8 Literaturverzeichnis

Affolter VK, Moore PF. Histologic features of normal canine and feline skin. *Clin Dermatol.* 1994;12(4):491-7.

Ahn AC, Wu J, Badger GJ, Hammerschlag R, Langevin HM. Electrical impedance along connective tissue planes associated with acupuncture meridians. *BMC Complement Altern Med.* 2005;5:10.

Ahn AC, Park M, Shaw JR, McManus CA, Kaptchuk TJ, Langevin HM. Electrical impedance of acupuncture meridians: the relevance of subcutaneous collagenous bands. *Plos One.* 2010;5(7):e11907.

Arnold JP, Kitchell RL. Experimental studies of the innervation of the abdominal wall of cattle. *Am J Vet Res.* 1957;18(67):229-40.

Autiero M, De Smet F, Claes F, Carmeliet P. Role of neural guidance signals in blood vessel navigation. *Cardiovasc Res.* 2005;65(3):629-38.

Bäcker M., Gareus IK, Knoblauch NTM, Michalsen A, Dobos GJ. Akupunktur in der Schmerztherapie – Hypothese zu adaptiven Prozessen. *Forsch Komplementärmed Klass Naturheilkd.* 2004;11:335–345.

Bäumler PI, Simang M, Kramer S, Irnich D. Acupuncture point localization varies among acupuncturists. *Forsch Komplementärmed.* 2012; 19(1):31-7.

Bai L, Qin W, Tian J, Dong M, Pan X, Chen P, Dai J, Yang W, Liu Y. Acupuncture modulates spontaneous activities in the anticorrelated resting brain networks. *Brain Res.* 2009;1279:37-49.

Bailey CS, Kitchell RL, Haghighi SS, Johnson RD. Cutaneous innervation of the thorax and abdomen of the dog. *Am J Vet Res.* 1984;45(9):1689-98.

Baldry, P. Superficial dry needling at myofascial trigger point sites. *J.Musculoskeletal Pain.* 1995;3(3):117-126.

Bessou P, Perl ER. Response of cutaneous sensory units with unmyelinated fibers to noxious stimuli. *J Neurophysiol.* 1969;32(6):1025-43.

Bing Z, Villanueva L, Le Bars D. Acupuncture and diffuse noxious inhibitory controls: naloxone-reversible depression of activities of trigeminal convergent neurons. *Neuroscience.* 1990; 37(3):809-18.

- Birch S. Trigger point--acupuncture point correlations revisited. *J Altern Complement Med.* 2003;9(1):91-103.
- Birder LA, Perl ER. Cutaneous sensory receptors. *J Clin Neurophysiol.* 1994;11(6):534-52.
- Bogduk N. The lumbosacral dorsal rami of the cat. *J Anat.* 1976;122(Pt 3):653-62.
- Bogduk N, Wilson AS, Tynan W. The human lumbar dorsal rami. *J Anat.* 1982;134(Pt 2):383-97.
- Bolk, L. Die Segmentdifferenzierung des menschlichen Körpers und seiner Extremitäten. *Morphol.Jahrb.* 1898;27:630-711.
- Bossy J. Bases morphologiques et fonctionelles de l'analgésie acupuncturale. *Giorn.Accad.Med.Torino.* 1973;136:3-23.
- Bossy J. Morphological data concerning the acupuncture points and channel network. *Acupunct Electrother Res.* 1984;9(2):79-106.
- Carlsson C. Acupuncture mechanisms for clinically relevant long-term effects--reconsideration and a hypothesis. *Acupunct Med.* 2002;20(2-3):82-99.
- Carmeliet P, Tessier-Lavigne M. Common mechanisms of nerve and blood vessel wiring. *Nature.* 2005;436(7048):193-200.
- Chambers MR, Andres KH, von Duering M, Iggo A. The structure and function of the slowly adapting type II mechanoreceptor in hairy skin. *Q J Exp Physiol Cogn Med Sci.* 1972;57(4):417-45.
- Chan WW, Chen KY, Liu H, Wu LS, Lin JH. Acupuncture for general veterinary practice. *J Vet Med Sci.* 2001;63(10):1057-62.
- Cheng KJ. Neuroanatomical basis of acupuncture treatment for some common illnesses. *Acupunct Med.* 2009;27(2):61-4.
- Chien CH, Tsai YC, Tseng CY, Huang BM, Chang YH. The spatial and segmental innervation of somatic acupoint - a study of canine Shen-Shu point (BL-23). *Am J Chin Med.* 2007;35(3):437-46.
- Cho SJ, Kim O. Acupuncture treatment for idiopathic Horner's syndrome in a dog. *J Vet Sci.* 2008;9(1):117-9.
- Choi KH, Hill SA. Acupuncture treatment for feline multifocal intervertebral disc disease. *J Feline Med Surg.* 2009;11(8):706-10.
- Choi EM, Jiang F, Longhurst JC. Point specificity in acupuncture. *Chin Med.* 2012;7:4.

- Ciszek M, Szopinski J, Skrzypulec V. Investigations of morphological structure of acupuncture points and meridians. *J Tradit Chin Med.* 1985;5(4):289-92.
- Colbert AP, Hammerschlag R, Aickin M, McNames J. Reliability of the Prognos electrodermal device for measurements of electrical skin resistance at acupuncture points. *J Altern Complement Med.* 2004;10(4):610-6.
- Colbert AP, Yun J, Larsen A, Edinger T, Gregory WL, Thong T. Skin impedance measurements for acupuncture research: development of a continuous recording system. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2008;5(4):443-50.
- Creed RF. The histology of mammalian skin with special reference to the dog and cat. *Vet.Rec.* 1958;70:171-5.
- Croley TE und Carlson M. Histology of the acupuncture point. *Am J Acup.* 1991; 9 (3): 247-53.
- Cui K, Yuan X. TRP Channels and Axon Pathfinding. In: Liedtke WB, Heller S, Hrsg.. *SourceTRP Ion Channel Function in Sensory Transduction and Cellular Signaling Cascades.* Boca Raton (FL): CRC Press; 2007. Kap 4.
- Despeux C. Aperçu historique de l'art vétérinaire en Chine. *Revue d'Acupuncture Veterinaire.* 1981;9:15-22.
- Dhond RP, Kettner N, Napadow V. Do the neural correlates of acupuncture and placebo effects differ? *Pain.* 2007;128(1-2):8-12.
- Dickson BJ. Molecular mechanisms of axon guidance. *Science.* 2002;298(5600):1959-64.
- Dotz E, Zotterman Y. Mode of action of warm receptors. *Acta Physiol Scand.* 1952;26(4):345-57.
- Dornette WH. The anatomy of acupuncture. *Bull N Y Acad Med.* 1975;51(8):895-902.
- Dorsher PT. Can classical acupuncture points and trigger points be compared in the treatment of pain disorders? Birch's analysis revisited. *J Altern Complement Med.* 2008;14(4):353-9.
- Dorsher PT, Fleckenstein J. Trigger points and classical acupuncture points. Part I: Qualitative and quantitative anatomical correspondences. *Dt Ztschr f Akup.* 2008;51(3): 15-24.
- Dorsher PT., Fleckenstein J. Trigger Points and Classical Acupuncture Points: Part III: Relationships of Myofascial Referred Pain Patterns to Acupuncture Meridians. *Dt Ztschr f Akup.* 2009;52 (1):9-14.
- Downs MB, Laporte C. Conflicting dermatome maps: educational and clinical implications. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011;41(6):427-34.

- Draehmpaehl D, Ottensmeier A.; Kleinpeter A. Makroskopische und histologische Untersuchungen von Akupunkturpunkten an Extremitäten von Pferden. *Dt Ztschr f Akup.* 1992;3:135-42.
- Draehmpaehl D, Ottensmeier A, Kleinpeter A, Kiupel M. Morphologische Untersuchungen an den Akupunkturpunkten und Meridianen bei Katzen und Hunden. *Dt Ztschr f Akup.* 1993;36:104-13.
- Draehmpaehl D, Zohmann A. Akupunktur bei Hund und Katze. 3. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2009.
- Druschky Möglichkeiten der Diagnostik und Therapie über die Headschen und Mackenzieschen Zonen. *Hippokrates.* 1950;21(14):378-82.
- Edinger L. Neue Darstellung der Segmentinnervation des menschlichen Körpers. *Zeitschrift für klinische Medicin.* 1904;53:52-7.
- Egerbacher M. Veterinärakupunktur. Anatomische und histologische Struktur ausgewählter Akupunkturpunkte bei Rind und Hund. *Dt Ztschr f Akup.* 1993;36(4):75-80.
- Egerbacher M, Layroutz A. Der Akupunkturpunkt. Ergebnisse histologisch-anatomischer Untersuchungen von Körper- und Ohr-Akupunkturpunkten. *Wien Tierärztl Mschr.* 1996;83(12):359-65.
- Elze C. Die anatomischen Grundlagen der Headschen Zonen. *Z Anat Entwicklungsgesch.* 1961;122:402-13.
- Endres HG. Acupuncture: specific and non-specific effects. *Forsch Komplementmed.* 2008;15(1):6-8.
- Ernst M, Lee MH. Sympathetic vasomotor changes induced by manual and electrical acupuncture of the Hoku point visualized by thermography. *Pain.* 1985;21(1):25-33.
- Fantin A, Maden CH, Ruhrberg C. Neuropilin ligands in vascular and neuronal patterning. *Biochem Soc Trans.* 2009;37(Pt 6):1228-32.
- Feng KR. A method of electro-acupuncture treatment for equine intestinal impaction. *Am J Chin Med.* 1981;9(2):174-80.
- Finando S, Finando D. Fascia and the mechanism of acupuncture. *J Bodyw Mov Ther.* 2011;15(2):168-76.
- Fischer L. Neuraltherapie nach Huneke, Neurophysiologie, Injektionstechnik und Therapievorschlage. 3. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 2007.
- Fletcher TF, Kitchell RL. The lumbar, sacral and coccygeal tactile dermatomes of the dog. *J Comp Neurol.* 1966;128(2):171-80.

Foerster O. The dermatomes in men. *Brain*. 1933;56:1-39.

Forsythe WB, Ghoshal NG. Innervation of the canine thoracolumbar vertebral column. *Anat Rec*. 1984;208(1):57-63.

Gareus IK, Lacour M, Schulte AC, Hennig J. Is there a BOLD response of the visual cortex on stimulation of the vision-related acupoint GB 37? *J Magn Reson Imaging*. 2002;15(3):227-32.

Geyer H. Äußere Haut. In: Salomon FV, Geyer H, Gille G. *Anatomie für die Tiermedizin*. 2. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2008. S.633-78.

Gideon L. Acupuncture: clinical trials in the horse. *J Am Vet Med Assoc*. 1977;170(2):220-4.

Greenberg SA. The history of dermatome mapping. *Arch Neurol*. 2003;60(1):126-31.

Gunn CC, Ditchburn FG, King MH, Renwick GJ. Acupuncture loci: a proposal for their classification according to their relationship to known neural structures. *Am J Chin Med*. 1976;4(2):183-95.

Haake M, Müller HH, Schade-Brittinger C, Basler HD, Schäfer H, Maier C, Endres HG, Trampisch HJ, Molsberger A. German Acupuncture Trials (GERAC) for chronic low back pain: randomized, multicenter, blinded, parallel-group trial with 3 groups. *Arch Intern Med*. 2007;167(17):1892-8.

Han JS. Acupuncture and endorphins. *Neurosci Lett*. 2004;361(1-3):258-61.

Han JS, Terenius L. Neurochemical basis of acupuncture analgesia. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*. 1982;22:193-220.

Hancock ML, Nowakowski DW, Role LW, Talmage DA, Flanagan JG. Type III neuregulin 1 regulates pathfinding of sensory axons in the developing spinal cord and periphery. *Development*. 2011;138(22):4887-98.

Hayashi AM, Matera JM, da Silva TS, Pinto AC, Cortopassi SR. Electro-acupuncture and Chinese herbs for treatment of cervical intervertebral disk disease in a dog. *J Vet Sci*. 2007;8(1):95-8.

Head H. On disturbances of sensation with especial reference to the pain of visceral disease. *Brain*. 1893;16(1):1-133.

Heerde M. *Pferdebehandlung mit TCM*. Stuttgart: Johannes Sonntag Verlagsbuchhandlung; 1999.

Heine H. Zur Morphologie der Akupunkturpunkte. *Dt Ztschr f Akup*. 1987;30:75-9.

Heine H. Anatomische Struktur der Akupunkturpunkte. *Dt Ztschr f Akup*. 1988a;31:26-30.

- Heine H. Akupunkturtherapie - Perforationen der oberflächlichen Körperfazie durch kutane Gefäß-Nervenbündel. *Therapeutikon*. 1988b;4:238-44.
- Henke C, Beissner F. Illustrationen zum übertragenen Schmerz. *Schmerz*. 2011;25(2):132-9.
- Hensel H, Andres KH, von Düring M. Structure and function of cold receptors. *Pflügers Arch*. 1974;352(1):1-10.
- Hielm-Bjorkman A, Raekallio M, Kuusela E, Saarto E, Markkola A, Tulamo RM. Double-blind evaluation of implants of gold wire at acupuncture points in the dog as a treatment for osteoarthritis induced by hip dysplasia. *Vet Rec*. 2001;149(15):452-6.
- Hong CZ, Kuan TS, Chen JT, Chen SM. Referred pain elicited by palpation and by needling of myofascial trigger points: a comparison. *Arch Phys Med Rehabil*. 1997;78(9):957-60.
- Hong CZ, Simons DG. Pathophysiologic and electrophysiologic mechanisms of myofascial trigger points. *Arch Phys Med Rehabil*. 1998;79(7):863-72.
- Hong CZ. Myofascial trigger points: pathophysiology and correlation with acupuncture points. *Acupunct in Med*. 2000;18(1):41-7.
- Honig MG, Rutishauser US. Changes in the segmental pattern of sensory neuron projections in the chick hindlimb under conditions of altered cell adhesion molecule function. *Dev Biol*. 1996;175(2):325-37.
- Honig MG, Camilli SJ, Xue QS. Ectoderm removal prevents cutaneous nerve formation and perturbs sensory axon growth in the chick hindlimb. *Dev Biol*. 2004;266(1):27-42.
- Huber AB, Kolodkin AL, Ginty DD, Cloutier JF. Signaling at the growth cone: ligand-receptor complexes and the control of axon growth and guidance. *Annu Rev Neurosci*. 2003;26:509-63.
- Hughes HV. The skin of the dog. *Br.Vet.J*. 1960;116(9):340-9.
- Iggo A, Muir AR. The structure and function of a slowly adapting touch corpuscle in hairy skin. *J Physiol*. 1969;200(3):763-96.
- Jaeger GT, Larsen S, Soli N, Moe L. Double-blind, placebo-controlled trial of the pain-relieving effects of the implantation of gold beads into dogs with hip dysplasia. *Vet Rec*. 2006;158(21):722-6.
- Jänig W, Sato A, Schmidt RF. Reflexes in postganglionic cutaneous fibres by stimulation of group I to group IV somatic afferents. *Pflügers Arch*. 1972;331(3):244-56.
- Jaggard D. History and Basic Introduction to Veterinary Acupuncture. *Probl in Vet Med*. 1992;4:1-11.

- Janssens LA. Acupuncture for the treatment of thoracolumbar and cervical disc disease in the dog. *Probl Vet Med.* 1992;4(1):107-16.
- Jeong SM, Kim HY, Lee CH, Kweon OK, Nam TC. Use of acupuncture for the treatment of idiopathic facial nerve paralysis in a dog. *Vet Rec.* 2001;148(20):632-3.
- Joechle W. Veterinary Acupuncture in Europe and America: Past and Present. *Am J Acupunct.* 1978;6:149-56.
- Julius D, Basbaum AI. Molecular mechanisms of nociception. *Nature.* 2001;413(6852):203-10.
- Kalchschmidt G. Eine Headsche Zone als diagnostisches Hilfsmittel bei der Fremdkörpererkrankung des Rindes. *Wien tierärztl Mschr,* 1954;41:531.
- Kalia YN, Guy RH. The electrical characteristics of human skin in vivo. *Pharm Res.* 1995;12(11):1605-13.
- Kaptchuk TJ. Acupuncture: theory, efficacy, and practice. *Ann Intern Med.* 2002;136(5):374-83.
- Karmańska W, Karmański J, Stokłosa E. Segmental innervation of the skin by the dorsal branches of spinal nerves in newborns. *Folia Morphol (Warsz).* 1973;32(1):1-9.
- Kashiba H, Ueda Y. Acupuncture to the skin induces release of substance P and calcitonin gene-related peptide from peripheral terminals of primary sensory neurons in the rat. *Am J Chin Med.* 1991;19(3-4):189-97.
- Kawakita K. Polymodal receptor hypothesis on the peripheral mechanisms of acupuncture and moxibustion. *Am J Acupunct.* 1993;21(4):331-8.
- Kawakita, K, Shinbara H, Imai K, Fukuda F, Yano T, Kuriyama K. How do acupuncture and moxibustion act? Focusing on the progress in Japanese acupuncture research. *Journal of Pharmacological Sciences.* 2006;100(5):443-59.
- Keegan JJ, Garrett FD. The segmental distribution of the cutaneous nerves in the limbs of man. *Anat Rec.* 1948;102(4):409-37.
- Kellner G. Bau und Funktion der Haut. *Dt Ztschr f Akup.* 1966;15(1):1-31.
- Kienitz MS. Der „Leitbahn“-Begriff in der Akupunktur [Dissertation med. vet] Leipzig: Univ. Leipzig; 2011.
- Kim DH, Cho SH, Song KH, Lee SE, Lee SH, Kwon GO, Kim IB, Kim YC, Cho JH, Kwon YY, Kim JW. Electroacupuncture analgesia for surgery in cattle. *Am J Chin Med.* 2004;32(1):131-40.

- Kleinhenz J, Streitberger K, Windeler J, Güssbacher A, Mavridis G, Martin E. Randomised clinical trial comparing the effects of acupuncture and a newly designed placebo needle in rotator cuff tendinitis. *Pain*. 1999;83(2):235-41.
- Klide AM. Acupuncture for treatment of chronic back pain in the horse. *Acupunct Electrother Res*. 1984;9(1):57-70.
- Klide AM. A hypothesis for the prolonged effect of acupuncture. *Acupunct Electrother Res*. 1989;14(2):141-7.
- König HE, Liebich HG. Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. 5. Aufl. Stuttgart: Schattauer Verlag; 2011.
- König G, Wancura I. Die Grundlagen der Akupunktur und ihre Erklärungsmöglichkeiten. *Wien klin Wschr*. 1979;9:259-60.
- Kong J, Kaptchuk TJ, Polich G, Kirsch I, Vangel M, Zyloney C, Rosen B, Gollub RL. An fMRI study on the interaction and dissociation between expectation of pain relief and acupuncture treatment. *Neuroimage*. 2009;47(3):1066-76.
- Kothbauer O. Über die Druckpunktdiagnose und Neuraltherapie bei Tieren. *Wien Tierärztl Mschr*. 1961;48:282-93.
- Kothbauer O. Anatomical verification of acupuncture in cattle: A review. *Wien Tierärztl Mschr*. 2004;91(1):9-13.
- Krähmer N. Ist doppelt-verblindete Akupunkturforschung möglich? *Dt Ztschr f Akup*. 2008;51(3):46-7.
- Kramer S, Winterhalter K, Schober G, Becker U, Wiegele B, Kutz DF, Kolb FP, Zaps D, Lang PM, Irnich D. Characteristics of electrical skin resistance at acupuncture points in healthy humans. *J Altern Complement Med*. 2009 May;(5):495-500.
- Kristensen S. A study of skin diseases in dogs and cats. I. Histology of the hairy skin of dogs and cats. *Nord Vet Med*. 1975;27(12):593-603.
- Kruger L, Perl ER, Sedivec MJ. Fine structure of myelinated mechanical nociceptor endings in cat hairy skin. *J Comp Neurol*. 1981;198(1):137-54.
- Kumazawa T, Mizumura K. Thin-fibre receptors responding to mechanical, chemical, and thermal stimulation in the skeletal muscle of the dog. *J Physiol*. 1977;273(1):179-94.

- Kunzel P. Die Hüftgelenkstopographie des Hundes und der Zugang zum Gelenk. *Zbl Vet Med.* 1957;4:379-88.
- Landholm JE, Mills LL. Use of acupuncture in treatment of laminitis in a horse. *Vet Med Small Anim Clin.* 1981;76(3):405-7.
- Lang J. Über das Bingewebe und die Blutgefäße der Nerven. *Z Anat Entwicklungsgesch.* 1962;123:61-79.
- Langevin HM, Vaillancourt PD. Acupuncture: does it work and, if so, how? *Semin Clin Neuropsychiatry.* 1999 J;4(3):167-75.
- Larrivéé B, Freitas C, Suchting S, Brunet I, Eichmann A. Guidance of vascular development: lessons from the nervous system. *Circ Res.* 2009;104(4):428-41.
- Lawson SN. Peptides and cutaneous polymodal nociceptor neurones. *Prog Brain Res.* 1996;113:369-85.
- Leem JW, Willis WD, Chung JM. Cutaneous sensory receptors in the rat foot. *J Neurophysiol.* 1993;69(5):1684-99.
- Lewith GT. Can we evaluate electrodermal testing? *Complement Ther Med.* 2003;11(2):115-7.
- Liebich HG, *Funktionelle Histologie der Haussäugetiere und Vögel.* 5. Aufl. Stuttgart: Schattauer Verlag; 2009.
- Lin JH, Wu LS, Wu YL, Lin CS, Yang NY. Aquapuncture therapy of repeat breeding in dairy cattle. *Am J Chin Med.* 2002;30(2-3):397-404.
- Lin JG, Chen WL. Acupuncture analgesia: a review of its mechanisms of actions. *Am J Chin Med.* 2008;36(4):635-45.
- Liu X, Zhu B, Zhang SX. Relationship between electroacupuncture analgesia and descending pain inhibitory mechanism of nucleus raphe magnus. *Pain.* 1986;24(3):383-96.
- Liu XG, Morton CR, Azkue JJ, Zimmermann M, Sandkühler J. Long-term depression of C-fibre-evoked spinal field potentials by stimulation of primary afferent A delta-fibres in the adult rat. *Eur J Neurosci.* 1998;10(10):3069-75.
- Lloyd DH, Garthwaite G. Epidermal structure and surface topography of canine skin. *Res Vet Sci.* 1982;33(1):99-104.

- Lovell JE, Getty R. The hair follicle, epidermis, dermis, and skin glands of the dog. *Am J Vet Res.* 1957;18(69):873-85.
- Ludewig T, Schedewi M. Vergleichende anatomische und histologische Untersuchungen zwischen den Akupunkturpunkten Ma29-02 und den elektrisch signifikanten Punkten im Bereich der Zitzenbasis am Euter des Rindes. *Dt Ztschr f Akup.* 2001;44(2):83-9.
- Lundeberg T, Lund I, Sing A, Näslund J. Is placebo acupuncture what it is intended to be? *Evid Based Complement Alternat Med.* 2011;2011:932407.
- Macdonald AJ. Segmental acupuncture therapy. *Acupunct Electrother Res.* 1983;8(3-4):267-82.
- Mackenzie J. Remarks on the meaning and mechanism of visceral pain as shown by the study of visceral and other sympathetic (autonomic) reflexes. *Br Med J.* 1906;1:1523-8.
- Mackenzie J. Counter-Irritation. *Proc R Soc Med.* 1909;2:75-80.
- Man PL, Chen CH. Mechanism of acupunctural anesthesia. The two-gate control theory. *Dis Nerv Syst.* 1972;33(11):730-5.
- Mann F. Acupuncture anaesthesia. *Lancet.* 1973;2(7828):563-4.
- Martin P, Khan A, Lewis J. Cutaneous nerves of the embryonic chick wing do not develop in regions denuded of ectoderm. *Development.* 1989;106(2):335-46.
- Martin BB Jr, Klide AM. Use of acupuncture for the treatment of chronic back pain in horses: stimulation of acupuncture points with saline solution injections. *J Am Vet Med Assoc.* 1987;190(9):1177-80.
- Matsumoto T. Acupuncture and US medicine. *JAMA.* 1972;220(7):1010.
- Mayer DJ, Price DD, Rafii A. Antagonism of acupuncture analgesia in man by the narcotic antagonist naloxone. *Brain Res.* 1977;121(2):368-72.
- Mayor DF. The chinese back shu and front mu points and their segmental innervation. *Dt Ztschr f Akup.* 2008;51(2):26-36.
- McCarroll GD, Rowley BA. An investigation of the existence of electrically located acupuncture points. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1979;26(3):177-81.
- Melzack R. Myofascial trigger points: relation to acupuncture and mechanisms of pain. *Arch Phys Med Rehabil.* 1981;62(3):114-7.

- Melzack R, Stillwell DM, Fox EJ. Trigger points and acupuncture points for pain: correlations and implications. *Pain*. 1977;3(1):3-23.
- Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory. *Science*. 1965;150(699):971-9.
- Mermod J, Fischer L, Staub L, Busato A. Patient satisfaction of primary care for musculoskeletal diseases: A comparison between Neural Therapy and conventional medicine. *BMC Complement Altern Med*. 2008;8:33.
- Merritt AM, Xie H, Lester GD, Burrow JA, Lorenzo-Figueras M, Mahfoud Z. Evaluation of a method to experimentally induce colic in horses and the effects of acupuncture applied at the Guan-yuan-shu (similar to BL-21) acupoint. *Am J Vet Res*. 2002;63(7):1006-11.
- Michels T, Ahmadi S, Michels D. Physiologisch-anatomische Aspekte in der Neuraltherapie : Behandlungsergebnisse akuter und chronischer Schmerzen. *Dt Ztschr f Akup*. 2011;54(2):6-9.
- Montgomery GH, Kirsch I. Classical conditioning and the placebo effect. *Pain*. 1997;72(1-2):107-13.
- Moore SJ, Munger BL. The early ontogeny of the afferent nerves and papillary ridges in human digital glabrous skin. *Brain Res Dev Brain Res*. 1989;48(1):119-41.
- Murase K, Kawakita K. Diffuse noxious inhibitory controls in anti-nociception produced by acupuncture and moxibustion on trigeminal caudalis neurons in rats. *Jpn J Physiol*. 2000;50(1):133-40.
- Niboyet JEH, Mary A. Experimentelle Studien über den Meridianverlauf. *Dt Ztschr f Akup*. 1958;7(11-12):140-3.
- Nitta H, Tajima T, Sugiyama H, Moriyama A. Study on dermatomes by means of selective lumbar spinal nerve block. *Spine*. 1993;18(13):1782-6.
- Nnoaham KE, Kumbang J. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain. *Cochrane Database Syst Rev*. 2008;3:CD003222.
- Nomizo A, Kudoh H, Sakai T. Iliocostalis muscles in three mammals (dolphin, goat and human): their identification, structure and innervation. *Anat Sci Int*. 2005;80(4):212-22.
- Noordergraaf A, Silage D. Electroacupuncture. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1973;20(5):364-6.
- O'Brien GS, Rieger S, Wang F, Smolen GA, Gonzalez RE, Buchanan J, Sagasti A. Coordinate development of skin cells and cutaneous sensory axons in zebrafish. *J Comp Neurol*. 2012;520(4):816-31.

- Omura Y. Patho-physiology of acupuncture treatment: Effects of acupuncture on cardiovascular and nervous system. *Acupunct Electrother Res.* 1975;1:51-140.
- Palvetic MM. Vascular Supply to the Skin of the Dog: A Review. *Vet Surg.* 1980;9(2):77-80.
- Palvetic MM. Anatomy and microcirculation of the canine skin. *Microsurgery.* 1991;12:103-12.
- Panzer RB, Chrisman CL. An auricular acupuncture treatment for idiopathic canine epilepsy: a preliminary report. *Am J Chin Med.* 1994;22(1):11-7.
- Panzer RB. A comparison of the traditional Chinese versus transpositional zangfu organ association acupoint locations in the horse. *Am J Chin Med.* 1993;21(2):119-31.
- Pearson S, Colbert AP, McNames J, Baumgartner M, Hammerschlag R. Electrical skin impedance at acupuncture points. *J Altern Complement Med.* 2007;13(4):409-18.
- Pedersen HE, Blunck CF, Gardner E. The anatomy of lumbosacral posterior rami and meningeal branches of spinal nerve (sinu-vertebral nerves); with an experimental study of their functions. *J Bone Joint Surg Am.* 1956;38-A(2):377-91.
- Perlow BW. Acupuncture: its theory and use in general practice. *Proc R Soc Med.* 1973;66(5):426-8.
- Piercey MF, Varner K, Schroeder LA. Analgesic activity of intraspinally administered dynorphin and ethylketocyclazocine. *Eur J Pharmacol.* 1982;80(2-3):283-4.
- Pomeranz B, Cheng R. Suppression of noxious responses in single neurons of cat spinal cord by electroacupuncture and its reversal by the opiate antagonist naloxone. *Exp Neurol.* 1979;64(2):327-41.
- Pothmann H. Wie wirkt die Akupunktur? 2012 (zitiert vom 15.11.2012)
<<http://www.que.at/html/kleintiere/allgemeines/akupunktur.html>>.
- Pschyrembel W. Pschyrembel Klinisches Wörterbuch 264A. 264. Aufl. Berlin: De Gruyter Verlag; 2012.
- Rajasekharan S, Kennedy TE. The netrin protein family. *Genome Biol.* 2009;10(9):239.1-8.
- Reese S, Mülling Ch, Pfarrer Ch, Kölle S, Budras KD. Atlas der Anatomie des Hundes. 9. Aufl. Hannover: Schlütersche Verlag; 2012.
- Reichmanis M, Marino AA, Becker RO. Electrical correlates of acupuncture points. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1975;22(6):533-5.

- Research group of acupuncture anesthesia, Peking Medical College. Effect of acupuncture on pain threshold of human skin. *Chin Med J.* 1973;3:35.
- Salomon, F-V. Hokuspokus oder erklärbare Wirkung? *Kleintier Konkret.* 2006;9(1):34-40.
- Salomon FS, Geyer H, Gille U. *Anatomie für die Tiermedizin.* 2. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2008.
- Sánchez-Araujo M, Puchi A. Acupuncture enhances the efficacy of antibiotics treatment for canine otitis crises. *Acupunct Electrother Res.* 1997;22(3-4):191-206.
- Sandner-Kiesling A. Segment-Anatomie - Paradigmenwechsel in der Akupunktur? *Dt Ztschr f Akup.* 2009;52(1):4-8.
- Schaller O. Die periphere Innervation der Haut am Rumpf des Rindes. *Wien Tierärztl Mschr.* 1956;43:346-68.
- Schaller O. *Illustrated Veterinary Anatomical Nomenclature.* 2. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2007.
- Schliessbach J, van der Klift E, Siegenthaler A, Arendt-Nielsen L, Curatolo M, Streitberger K. Does acupuncture needling induce analgesic effects comparable to diffuse noxious inhibitory controls? *Evid Based Complement Alternat Med.* 2012;2012:785613.
- Schoen AM. Acupuncture for musculoskeletal disorders. *Probl Vet Med.* 1992;4(1):88-97.
- Schofield WA. Use of acupuncture in equine reproduction. *Theriogenology.* 2008;70(3):430-4.
- Schwarz R, Le Roux JM, Schaller R, Neurand K. Micromorphology of the skin (epidermis, dermis, subcutis) of the dog. *Onderstepoort J Vet Res.* 1979;46(2):105-9.
- Scognamillo-Szabó MVR, Santos ARQ, Martins Olegario MM, Andrade MB. Acupuncture for locomotor disabilities in a South American red-footed tortoise (*Geochelone carbonaria*) – a case report. *Acupunct Med.* 2009;26(4):243-7.
- Seiferle E, Frewein J. Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Hrsg. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.* 3. Aufl. Berlin, Hamburg: Paul Parey Verlag; 1996. S. 341-423.
- Serebro E. Osobyennosti innervaci myshe rozryshenia bolshovo palca ruki v sviazi s anatomicheskim obosnovaniem tchzen i tchin – terapii. *Vopr Morph.* 1962;3.
- Shen E, Ma WH, Lan C. Involvement of descending inhibition in the effect of acupuncture on the splanchnically evoked potential in the orbital cortex of cat. *Sci Sin.* 1978;21(5):677-85.

- Sherrington CS. Qualitative difference of spinal reflex corresponding with qualitative difference of cutaneous stimulus. *J Physiol.* 1903;30(1):39-46.
- Simons DG, Clinical and etiological update of myofascial pain from trigger points. *J Musculoskeletal Pain.* 1995;4(1):93-121.
- Simons DG, Dommerholt J. Myofascial pain syndrome - trigger points. *J Musculoskeletal Pain.* 2007;15(1):63-79.
- Simons DG, Travell J. Myofascial trigger points, a possible explanation. *Pain.* 1981;10(1):106-9.
- Steinke H, Saito T, Miyaki T, Oi Y, Itoh M, Spänel-Borowski K. Anatomy of the human thoracolumbar Rami dorsales nervi spinalis. *Ann Anat.* 2009;191(4):408-16.
- Still J. A clinical study of auriculotherapy in canine thoracolumbar disc disease. *J S Afr Vet Assoc.* 1990;61(3):102-5.
- Streitberger K, Kleinhenz J. Introducing a placebo needle into acupuncture research. *Lancet.* 1998;352(9125):364-5.
- Stux G, Stiller N, Berman B, Pomeranz B, Kofen P, Sahn KA. *Akupunktur: Lehrbuch und Atlas.* 7. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Verlag; 2008.
- Szolcsányi J. Antidromic vasodilatation and neurogenic inflammation. *Agents Actions.* 1988;23(1-2):4-11.
- Takakura N, Yajima H. A double-blind placebo needle for acupuncture research. *Dt Ztschr f Akup.* 2008;51(3):46-7.
- Tessier-Lavigne M, Goodman CS. The molecular biology of axon guidance. *Science.* 1996;274(5290):1123-33.
- Thomsett LR. Structure of canine skin. *Br Vet J.* 1986;142:116-22.
- Tosney KW, Hageman MS. Different subsets of axonal guidance cues are essential for sensory neurite outgrowth to cutaneous and muscle targets in the dorsal ramus of the embryonic chick. *J Exp Zool.* 1989;251(2):232-44.
- Tough EA, White AR, Cummings TM, Richards SH, Campbell JL. Acupuncture and dry needling in the management of myofascial trigger point pain: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Eur J Pain.* 2009;13(1):3-10.
- Travell J, Rinzler SH. The myofascial genesis of pain. *Postgrad Med.* 1952;11(5):425-34.

- Tuckett RP, Wei JY. Response to an itch-producing substance in cat. II. Cutaneous receptor populations with unmyelinated axons. *Brain Res.* 1987;413(1):95-103.
- Türk L. Vorläufige Ergebnisse von Experimentaluntersuchungen zur Ermittlung der Haut-Sensibilitätsbezirke der einzelnen Rückenmarksnervenpaare. *Sitzungsbericht der Math.-Naturwissenschaftl. Klasse der Kaiserlichen Akademie Wien.* 1856;21(II):586.
- Van Gelderen C. On referred pain and Head's zones. *Monatsschr Psychiatr Neurol.* 1948;115(5-6):295-307.
- Van Rijnberk K, Ten Cate J. Über die Funktionen eines von allen heterometameren Nervenverbindungen isolierten Körpersegmentes bei Hunden. *Arch Neerl Physiol.* 1933;18:291-336.
- Vandershot L. Trigger points vs. Acupuncture points. *Am J Acupunct.* 1976;4:233-8.
- Villanueva L, Chitour D, Le Bars D. Involvement of the dorsolateral funiculus in the descending spinal projections responsible for diffuse noxious inhibitory controls in the rat. *J Neurophysiol.* 1986;56(4):1185-95.
- Vincent C, Lewith G. Placebo controls for acupuncture studies. *J R Soc Med.* 1995;88(4):199-202.
- Wancura I, König G. Zur neurophysiologischen Erklärung der Akupunkturanalgesie. *Wien Med Wschr.* 1974;124(5):62-5.
- Wancura-Kampik I. Segment-Anatomie. Der Schlüssel zu Akupunktur, Neuraltherapie und Manualtherapie. München Jena: Elsevier Urban & Fischer; 2010.
- Wang SM, Kain ZN, White P. Acupuncture analgesia: I. The scientific basis. *Anesth Analg.* 2008;106(2):602-10.
- Wang F, Wolfson SN, Gharib A, Sagasti A. LAR receptor tyrosine phosphatases and HSPGs guide peripheral sensory axons to the skin. *Curr Biol.* 2012;22(5):373-82.
- Wang G, Scott SA. Independent development of sensory and motor innervation patterns in embryonic chick hindlimbs. *Dev Biol.* 1999;208(2):324-36.
- Webb AJ, Calhoun ML. The microscopic anatomy of the skin of mongrel dogs. *Am J Vet Res.* 1954;15(55):274-80.
- White P. The placebo needle, is it a valid and convincing placebo for use in acupuncture trials? *Pain.* 2003;106:401-9.

Wiegele B, Schober G, Kuder J, Kolb FP, Irnich D. Eine neue Sensortechnik zur Messung von elektrischen Potentialprofilen der menschlichen Haut an Akupunkturpunkten. *Forsch Komplementärmed.* 2006;13(4):227-32.

Xie H, Preast V. *Xie's veterinary acupuncture.* Ames: Blackwell Publishing; 2007.

Yarnitsky D. Conditioned pain modulation (the diffuse noxious inhibitory control-like effect): its relevance for acute and chronic pain states. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2010;23(5):611-5.

Yin CS, Jeong HS, Park HJ, Baik Y, Yoon MH, Choi CB, Koh HG. A proposed transpositional acupoint system in a mouse and rat model. *Res Vet Sci.* 2008;84(2):159-65.

Zerlauth B, Boheim C, Moriggl B. Histologie der Akupunkturpunkte. *Dt Ztschr f Akup.* 1992;35(2):34-8.

Zhang Q, Zhu L. Correspondence between acupoints and dermatome. *Int J Clin Acupunct.* 1998;9(2):127-31.

Zhao ZQ. Neural mechanism underlying acupuncture analgesia. *Prog Neurobiol.* 2008;85(4):355-75.

9 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die mir bei der Erstellung dieser Dissertation zur Seite gestanden haben.

Zunächst danke ich Herrn Prof. Dr. Mülling für die Betreuung der Arbeit, für alle hilfreichen Anregungen und die schnelle Korrektur der Dissertationsschrift. Ich möchte ihm vor allem dafür danken, dass er immer an mich glaubte.

Prof. Dr. Salomon danke ich dafür, dass er mir die Idee gab, mich mit der makroskopischen Anatomie des Hunderückens unter Berücksichtigung der Akupunkturpunkte zu beschäftigen. Des Weiteren danke ich ihm für seine Unterstützung vor allem in den Jahren 2006 bis 2009.

Mondy Bahramsoltani danke ich für die Hilfe bei der Auswertung und graphischen Darstellung der Ergebnisse. Außerdem danke ich ihr, dass sie auf fast jede Frage eine Antwort hatte. Ganz besonders gilt mein Dank für all ihre aufmunternden aber auch auffordernden Worte insbesondere in der Phase der Verfassung der Dissertationsschrift.

Vielen lieben Dank an Dr. Angelika Gericke für einfach alles, was sie mir in den letzten Jahren gegeben hat und dass sie in jeder Situation hinter mir stand. Ich wüsste gar nicht, was ich ohne sie als meine Leipziger Ersatzmutter getan hätte.

Dr. Jenny Hagen möchte ich dafür danken, dass sie mir vor allem in schweren Zeiten immer positiv zugesprochen hat und mir dadurch die anfänglichen Ängste vor dem Schreiben genommen hat.

Ich danke Jule Michler, die mit mir unzählige Konversationen und Gedankengänge vor allem zu den embryologischen Themen geführt hat, aber auch sonst immer eine offene Tür für mich hatte.

Ein weiterer Dank gilt Cornelia Weber, die mir oft bei den Präparationen eine helfende Hand war.

Vielen Dank an Janet Reichenbach, ohne die ich niemals in die Geheimnisse von Microsoft Word 2010 einweicht worden wäre.

Ein ganz besonderer Dank an Dr. Anne Heckmann, Dr. Julia Hampe und Dr. Theresa Eulitz, die mich in dieser ganzen Zeit ertragen haben und als meine engsten Freundinnen stets die richtigen Worte fanden.

Meinen Eltern möchte ich recht herzlich dafür danken, dass sie mich in jeder Situation unterstützt haben. Ohne sie wäre das Studium und somit die Voraussetzungen zur Anfertigung dieser Dissertation unmöglich gewesen.

Nicht zuletzt danke ich meinem Mann Steven, der in den ganzen Jahren in allen Hochs und Tiefs immer an meiner Seite stand unendlich für alles was er mir gegeben hat. Er führte mit stets vor Augen, dass ich es schaffen kann wenn ich nur an mich glaube.

Meinem Sohn Felix danke ich dafür, dass er mir durch seine Geburt die nötige Reife gegeben hat, diese Dissertation so ernst zu nehmen, um sie fertig stellen zu können. Außerdem danke ich ihm für all die schönen Stunden, die er mir trotz all der Dissertations-Strapazen in dieser Zeit geschenkt hat.

Zum Schluss möchte ich all denjenigen danken, die ich hier nicht persönlich erwähnt habe. Es gibt noch so viele liebe Menschen, denen ich vor allem dafür danken möchte, mich auch mit meiner schlechten Laune ertragen zu haben. Vielen Dank für alles!