

2. Schrifttum

2.1. Anatomie des Kehlkopfes

Der Kehlkopf liegt beim Pferd im Kehlgang, in der Regio intermandibularis (WAIBL 1999). Die Kehlkopfhöhle wird von einem mit Schleimhaut ausgekleideten Knorpelskelett gebildet und umfaßt 4 Abschnitte:

den Eingang, *Aditus laryngis*, den Vorhof, *Vestibulum laryngis*, den Stimmapparat, die *Glottis* und das *Cavum infraglotticum* (KOCH u. BERG 1990).

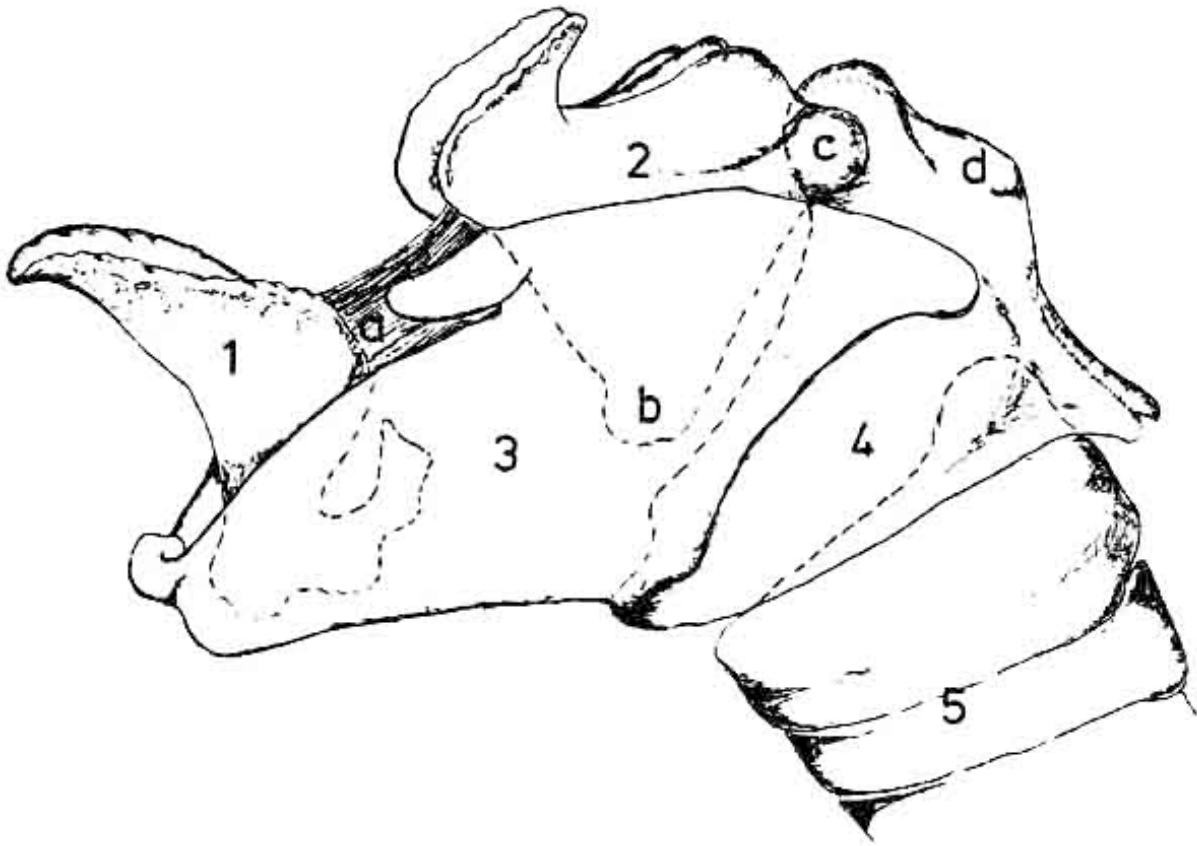
Die Kehlkopfwand besteht von innen nach außen aus Schleimhaut, Knorpeln und Kehlkopfmuskeln. Der Kehldeckelknorpel, *Cartilago epiglottica* und Teile des Stellknorpels, *Cartilago arytenoidea* bestehen aus elastischem Knorpelgewebe. Der Schildknorpel, *Cartilago thyreoidea* und der Ringknorpel, *Cartilago cricoidea* bestehen aus hyalinem Knorpelgewebe. Die einzelnen Knorpel sind gelenkig bzw. bandhaft miteinander verbunden.

Das Vestibulum laryngis einschließlich seiner seitlichen Kehlkopftaschen ist mit kutaner Schleimhaut ausgekleidet. Kaudal der Plica vocalis geht diese in die Atmungsschleimhaut mit Flimmerhärchen über (BUDRAS u. RÖCK 1997).

Abb. 1 Knorpelgerüst des Kehlkopfes des Pferdes (mod. nach WISSDORF et al.1998)

1. Kehldeckel - *Cartilago epiglottica*
 2. Stellknorpel - *Cartilago arytenoidea*
 3. Schildknorpel - *Cartilago thyreoidea*
 4. Ringknorpel - *Cartilago cricoidea*
 5. Trachealringe – *Cartilagine tracheales*
-
- a. Plica aryepiglottica
 - b. Stimmbandfortsatz des Stellknorpels - *Processus vocalis*
 - c. Muskelfortsatz des Stellknorpels - *Processus muscularis*
 - d. Crista mediana des Ringknorpels

Abb.1 Knorpelgerüst des Kehlkopfes des Pferdes (mod. nach WISSDORF et al.1998)



Durch die Eigenmuskulatur des Kehlkopfes (intrinsische Muskulatur) kann die Stellung der Knorpel zueinander verändert werden. Von außen an den Kehlkopf heranziehende Muskeln (extrinsische Muskeln) dienen dazu, den Kehlkopf beispielsweise beim Schluckakt oder bei Kopf- und Halsbewegungen, als Ganzes in veränderte Lagebeziehungen zu den Nachbarorganen zu bringen (KOCH u. BERG 1990 und WISSDORF et al. 1998).

Der knorpelige Kehlkopf ist ein elastisches System. Durch die Aktion der Eigenmuskulatur des Kehlkopfes wird dessen Gestalt verändert. Solange der Kehlkopf in seiner Ruhelage, in der Intermediärstellung verharrt, befindet sich das elastische System bei halbgeöffneter Stimmritze im Zustand des „Gleichgewichts“.

Als Stimmritzerweiterer funktioniert der obere Ringknorpel-Stellknorpelmuskel, *Musculus cricoarytaenoideus dorsalis*, er zieht von der Ringknorpelplatte, die er ganz bedeckt und bis an deren medianen Muskelkamm er heranreicht, bei rostromedialen Verlauf seiner Fasern, an den Muskelfortsatz, *Processus muscularis* des Stellknorpels. Durch eine kaudodorsomediale Verlagerung des *Processus muscularis* des Stellknorpels werden der Stimmbandfortsatz, *Processus vocalis* des Stellknorpels und mit ihm das Stimmband lateral angehoben (abduziert); das Stimmband ist gespannt und die Stimmritze erweitert (BUDRAS u. RÖCK 1997 und WAIBL 1999).

Verengt (adduziert) wird die Stimmritze durch die Kontraktion folgender Muskeln: Ringknorpel-Schildknorpel-Muskel, *Musculus cricothyreoideus*, seitlicher Ringknorpel-Stellknorpelmuskel, *Musculus cricoarytaenoideus lateralis*, Stellknorpelquermuskel, *Musculus arytenoideus transversus* und Schildknorpel-Stellknorpel-Muskel, *Musculus thyroarytenoideus*, bestehend aus dem Taschenfaltenmuskel, *Musculus ventricularis* und dem Stimmbandmuskel, *Musculus vocalis* (WISSDORF et al. 1998).

Abb. 2 Kehlkopfmuskulatur, linke Seitenansicht, Lamina thyreoidea gefenstert
(mod. nach WISSDORF et al. 1998)

1. Ringknorpel-Schildknorpelmuskel; Musculus cricothyreoideus
2. oberer Ringknorpel-Stellknorpelmuskel; Musculus cricoarytaenoideus dorsalis
3. seitlicher Ringknorpel-Stellknorpelmuskel; Musculus cricoarytaenoideus lateralis
4. Stellknorpelquermuskel; Musculus arytenoideus transversus
5. Schildknorpel-Stellknorpelmuskel; Musculus thyreoarytenoideus
 - a. Musculus ventricularis
 - b. Musculus vocalis
6. Schildknorpel-Zungenbeinmuskel; Musculus thyrohyoideus
7. Seitliche Stimmtasche; Ventriculus laryngis lateralis
8. Zungenbein; Os hyoideum
9. Schilddrüse; Glandula thyreoidea
10. Zungenbein-Kehldeckelmuskel; Musculus hyoepiglotticus
11. Musculus keratohyoideus

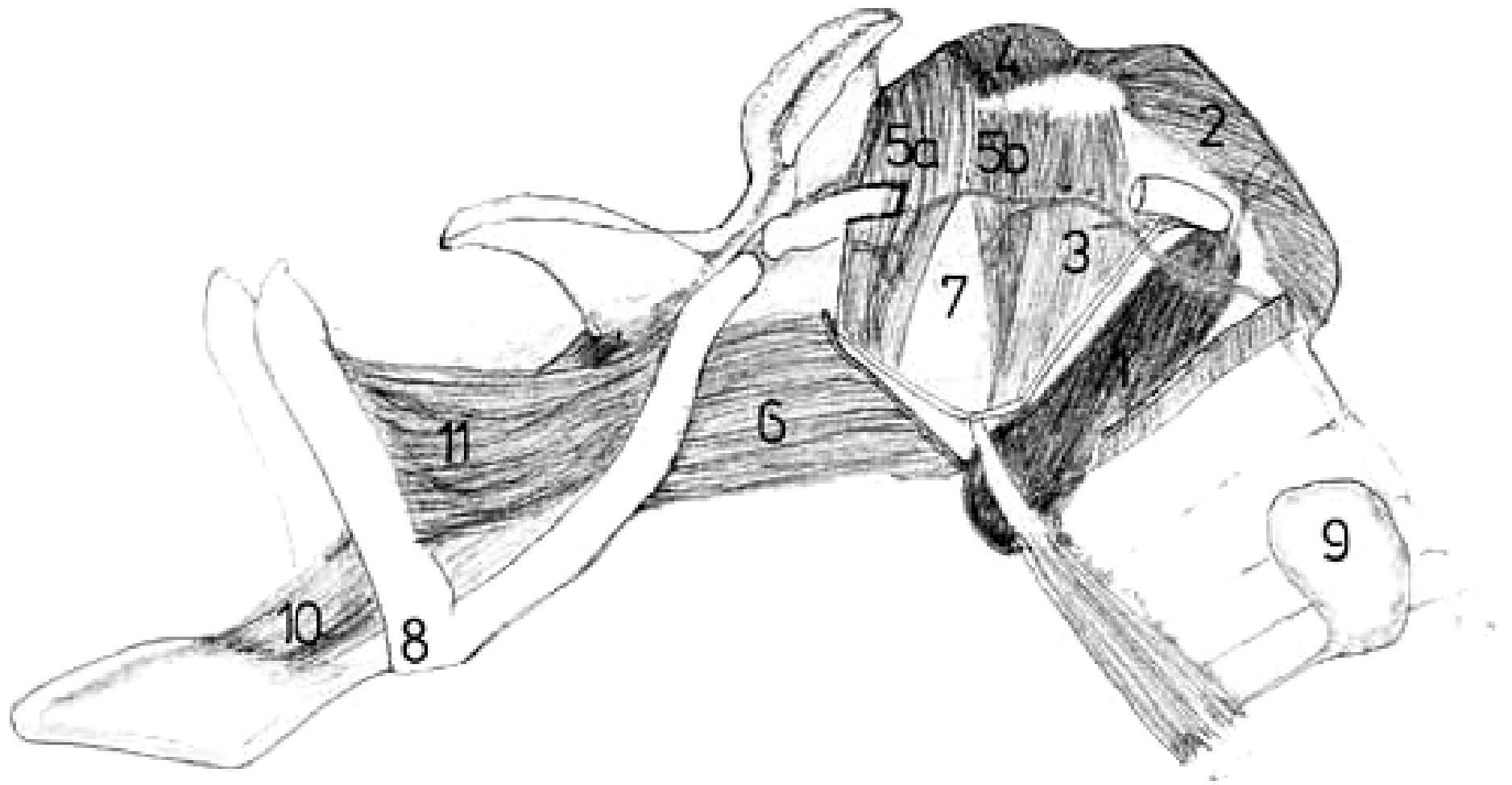


Abb. 2 Kehlkopfmuskulatur, linke Seitenansicht, Lamina thyreoidea gefenstert

2.2. Feinbau und physiologische Grundlagen peripherer Nerven

Periphere Nerven, die als millimeterstarke weißgelbe Fasern mit bloßem Auge im Gewebe erkennbar sind, enthalten keine Nervenzellen, sondern Nervenfasern. Diese bestehen aus dem Achsenzylinder oder Axon, einem Zellfortsatz der Nervenzelle, der am Neuriten-Ursprungskegel des Nervenzellkörpers entspringt.

Das efferente Axon eines Motoneuron, einer mittelgroßen multipolaren Zelle, ist markhaltig, es ist von einer Myelinscheide umgeben, die von einer peripheren SCHWANN'schen Zelle gebildet wird. Zwischen zwei angrenzenden SCHWANN'schen Zellen fehlt die Myelinscheide, hier befinden sich die Ranvierschen Schnürringe als Voraussetzung für die saltatorische Erregungsübertragung.

Peripher folgt eine Basalmembran, die zusammen mit dem Zytoplasma der SCHWANN'schen Zellen und einer feinen Hülle aus konzentrischen Retikulinfibrillen, die Endoneuralscheide bildet, welche stützende sowie ernährende Aufgaben übernimmt. Zwischen diesen Nervenfasern findet sich lockeres, feinfasriges Bindegewebe, das Endoneurium.

Mehrere solcher Fasern sind durch das Perineurium, bestehend aus dem Neurothel und äußerer Pars fibrosa, zu einem Bündel zusammengefaßt. Der Aufbau aus Bündeln ist für periphere Nerven charakteristisch.

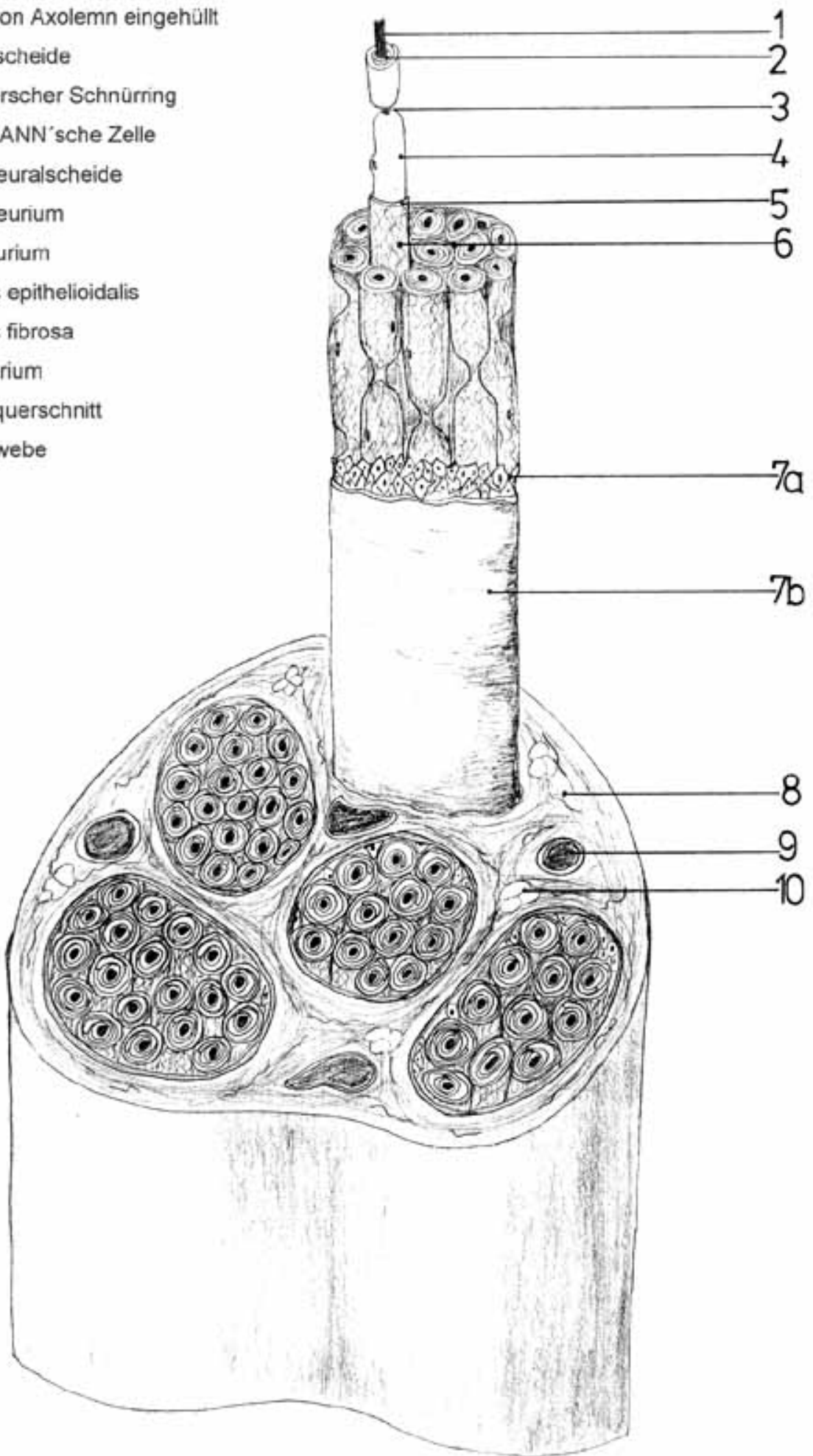
Zwischen benachbarten Bündeln können Nervenfasern ausgetauscht werden. Sensible und motorische Nervenfasern laufen in den Bündeln nebeneinander. Im Endo- und Perineurium laufen zahlreiche Blut- und Lymphgefäße.

Das Epineurium, das diese Bündel zum peripheren Nerven zusammenfaßt, enthält außerdem kollagene Fasern, die eine Überdehnung des Nerven verhindern sollen.

Mithilfe des Paraneurium, bestehend aus lockerem Bindegewebe mit Fettgewebe, wird der Nerv in seiner Umgebung an Nachbarstrukturen fixiert. Eine Erregungsübertragung vom peripheren Nerven auf einen Muskel erfolgt über neuromuskuläre Synapsen (NETTER 1987, LIEBICH 1993 und BUDRAS et al. 1996).

Abb. 3 Peripherer Nerv (mod. nach KOCH u. BERG 1993)

- 1. Axon von Axolemn eingehüllt
- 2. Myelinscheide
- 3. Ranvierscher Schnürring
- 4. SCHWANN'sche Zelle
- 5. Endoneuralscheide
- 6. Endoneurium
- 7. Perineurium
 - a. Pars epithelioidalis
 - b. Pars fibrosa
- 8. Epineurium
- 9. Gefäßquerschnitt
- 10. Fettgewebe

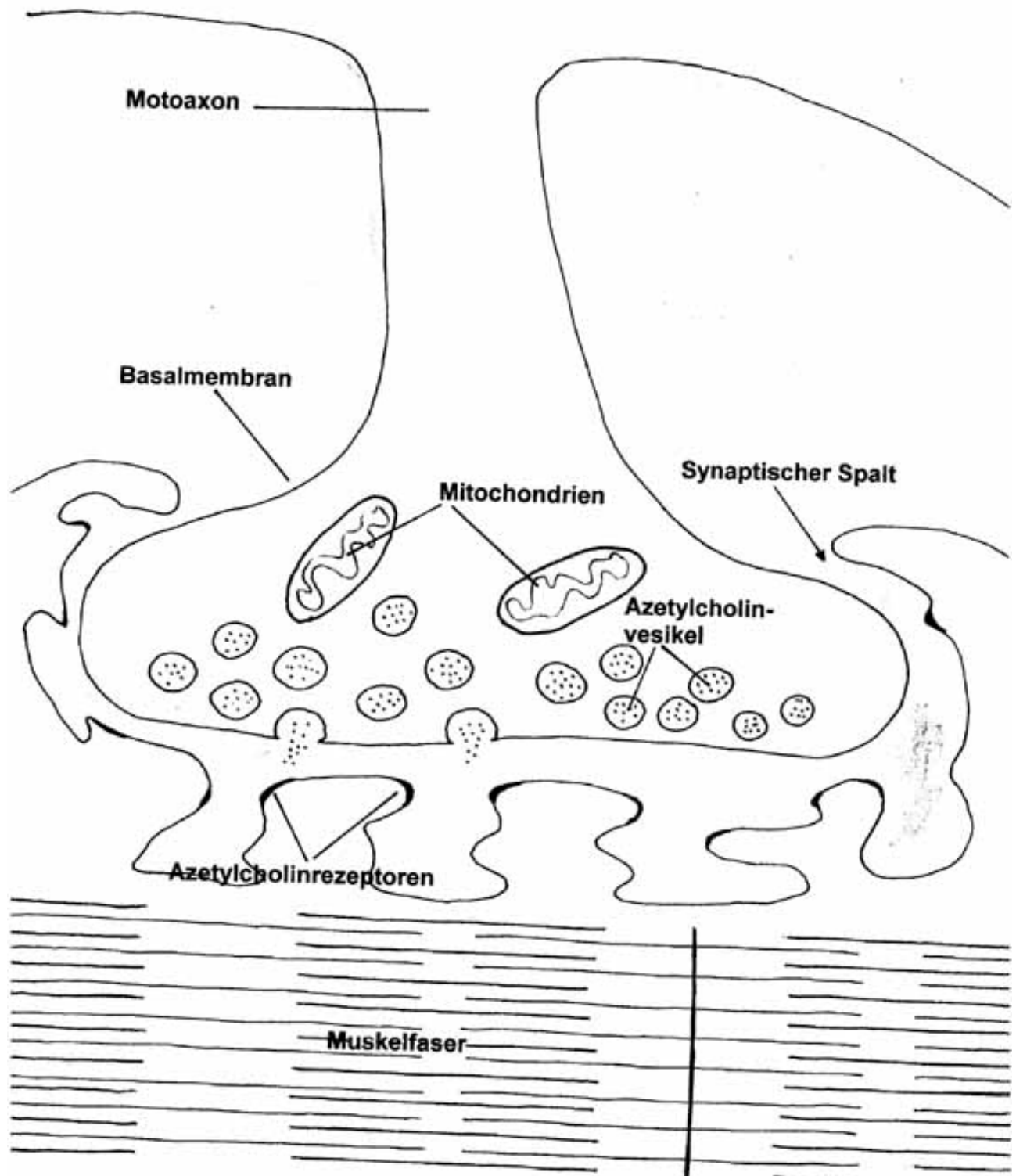


Neuromuskuläre Synapsen auch motorische Endplatten oder myoneurale Verbindungen genannt, sind Sonderbildungen chemischer Synapsen. Sie dienen der Erregungsübertragung von motorischen Nervenfasern auf Skelettmuskelzellen. An diesen Kontaktstellen enden die Myelinscheiden der Nervenfasern, die Axone verzweigen sich und legen sich in Vertiefungen der Muskelzellen. Die freien Enden der Axone schließen in großer Zahl synaptische Bläschen ein, welche Acetylcholin als Transmitter enthalten. Der synaptische Spaltraum ist stark gefaltet und mit einer amorphen Matrix gefüllt. Die Kontraktion der Skelettmuskelzelle wird durch die Abgabe von Acetylcholin in den synaptischen Spaltraum und nachfolgende Depolarisation des Plasmalemmes der Muskelzelle eingeleitet (LIEBICH 1993).

Erregbare Zellen wie Nerven und Muskelzellen haben die Eigenschaft, die Ionenleitfähigkeit ihrer Membran auf einen Reiz hin zu verändern, was wesentliche Potentialveränderungen zur Folge hat. Das Ruhepotential liegt bei Nerven und quergestreiften Muskelzellen zwischen -55 und -100 mV.

Ist ein Reiz stark genug, kommt es zu einem sog. Aktionspotential, das im Nerv das weitergeleitete Signal darstellt und am Muskel zur Kontraktion führt. Wird ein Aktionspotential ausgelöst, springt das Potential, ausgehend vom negativen Ruhepotential, sehr schnell auf einen positiven Spitzenwert nahe +30 mV. Danach kehrt es mit unterschiedlicher Geschwindigkeit zum Ruhewert zurück: Das Aktionspotential dauert am Nerven etwa 1 ms, am Muskel etwa 10 ms (DUDEL 1983).

Abb. 4 **Motorische Endplatte** (schematische Darstellung)



2.3. Funktionelle Innervation des Kehlkopfes

Die Kehlkopfinnervation erfolgt über Äste des Nervus vagus (X. Gehirnnerv). Aus ihm zweigt auf Höhe des Kehlkopfes der kraniale Kehlkopfnerv, *Nervus laryngeus cranialis* ab, der sich in einen Ramus internus und einen Ramus externus unterteilt. Über den kaudalen Kehlkopfnerv, *Nervus laryngeus caudalis*, der die Fortsetzung des rückläufigen Kehlkopfnerven, *Nervus laryngeus recurrens* darstellt, erfolgt der Hauptanteil der Kehlkopfinnervation.

Die Ursprünge des Nervus vagus liegen in Kerngebieten der Medulla oblongata. Er bezieht motorische Faseranteile aus dem Nucleus ambiguus und erhält weitere Fasern aus den parasympathischen und den vegetativ sensiblen Kerngebieten. Gebündelt verlassen diese Fasern als Nervus vagus die Schädelhöhle durch das zerrissene Loch, *Foramen lacerum aborale* in welchem sie das Ganglion proximale durchlaufen. Im weiteren Verlauf häufen sich diese Ganglienzellen zum Ganglion distale, hier zweigt der Nervus laryngeus cranialis ab, der durch einen Spalt rostrokranial am Schildknorpel, die *Fissura thyreoidea* in den Kehlkopf eintritt und, in einen Ramus externus und einen Ramus internus geteilt, den Ringknorpel-Schildknorpelmuskel, *Musculus cricothyreoideus* motorisch und die Kehlkopfschleimhaut kranial der Stimmritze sensibel innerviert. Der Nervus vagus zieht weiter zum Ganglion cervicale craniale und verbindet sich caudal von diesem mit dem Nervus sympathicus zum Truncus vago-sympathicus.

Dieser zieht, der gemeinsamen Kopfarterie, *Arteria carotis communis* dorsal anliegend, brustwärts. Kurz nach dem Eintritt in die Brusthöhle zweigt sich der Nervus laryngeus recurrens ab, der bis zum Herzbeutel weiter parallel zum Nervus vagus verläuft und sich anschließend linksseitig von kaudomedial um die Aorta und rechtsseitig um die Arteria subclavia dextra schlägt. Ab hier streben beide wieder kranial, rechts dorsolateral entlang der Luftröhre, *Trachea* und links entlang dem linken Bronchus wobei er auf die Hinterfläche des Ligamentum arteriosum Botalli gelangt.

In seinem weiteren Verlauf der Trachea linksseitig ventral anliegend, verläßt der linke Nervus laryngeus recurrens den Brustkorb. Entlang des Halses schiebt sich die linke Arteria carotis communis zwischen Trachea und Nerv, so daß dieser links ventral der Arterie liegend bis dicht an den Kehlkopf heranzieht. Hier begibt er sich dorsomedial in den Spalt zwischen Speiseröhre und Luftröhre. Während seiner Passage entlang des Halses gibt er mehrere kleine Äste an Trachea und Ösophagus ab.

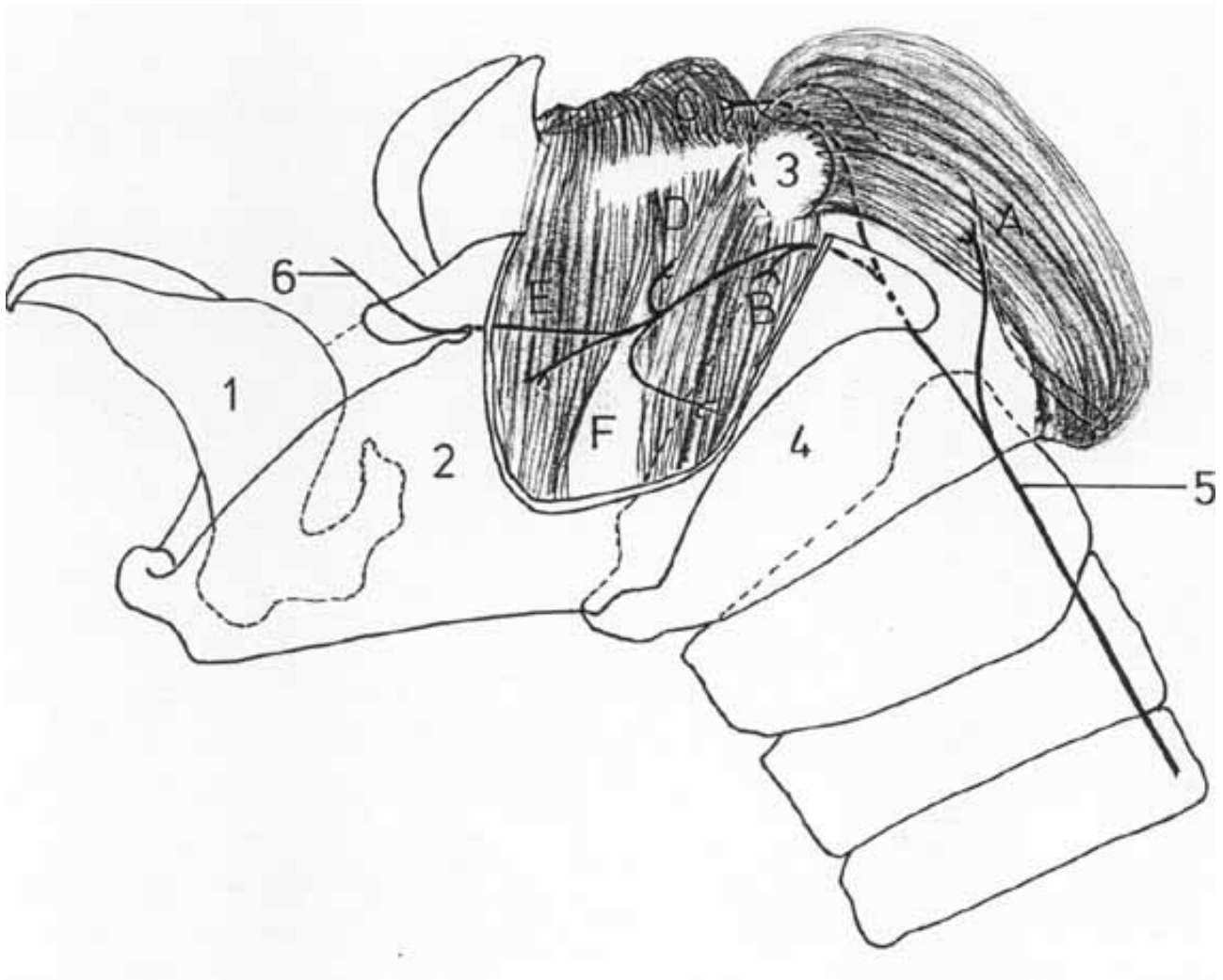
Auf Höhe des Ringknorpels tritt der Nervus laryngeus caudalis unter dem Musculus cricopharyngeus von kaudal an den Kehlkopf heran, um dessen Muskeln, bis auf den Musculus cricothyreoideus, motorisch und die Schleimhaut kaudal der Stimmritze sensibel zu innervieren (MASON 1973, GAUGHAN et al. 1990 und BUDRAS u. RÖCK 1997).

Der Nervus laryngeus caudalis teilt sich zunächst in zwei Äste auf. Der schmalere Ast zieht zwischen Musculus cricoarytaenoideus dorsalis und Ringknorpel durch und taucht ventral in den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis ein, um diesen motorisch zu innervieren. Der stärkere Nervenast zieht oberflächlich über den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis, und gibt auf Höhe der kaudalen Grenze der Lamina thyreoidea, und gleichzeitig der höchsten lateralen Erhabenheit des Muskelbauches einen Ast ab, welcher medial unter den anteroventralen Bereich des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis zieht, um dort den kaudalen Anteil des Musculus arytenoideus transversus motorisch zu innervieren. Der weiterführende Nervenast des Nervus laryngeus caudalis zieht medial der Lamina thyreoidea ventrorostral. Während seines Verlaufs auf die laterale Fläche des Musculus cricoarytaenoideus lateralis teilt er sich in drei Äste.

- Der am weitesten kaudal gelegene Nervenast tritt genau auf der Hälfte zwischen rostraler und kaudaler Grenze des Muskelbauches in den Musculus cricoarytaenoideus lateralis ein.
- Der mittlere Nervenast überquert den Musculus cricoarytaenoideus lateralis und schlägt sich an seiner rostralen Grenze ventral um. Hier teilt er sich weiter auf: Einer dieser Äste innerviert den medialen Anteil des Musculus cricoarytaenoideus lateralis, ein bis zwei andere Äste ziehen weiter ventral, um den Musculus vocalis zu innervieren. Ein letzter Ast zieht weiter über den lateralen Ventrikel und innerviert den Musculus ventricularis motorisch.
- Der am weitesten rostral gelegene Nervenast zieht über den lateralen Ventrikel medial zur Lamina des Schildknorpels und kommuniziert hier mit einem Ast der Nervus laryngeus cranialis (s. Abb. 5).

Die Endaufzweigung des Nervus laryngeus recurrens findet sich nicht bei allen Pferden in genau der gleichen Weise, besonders die Nervenverläufe zum Musculus cricoarytaenoideus lateralis und zum Musculus vocalis variieren stark. Immer in gleicher Weise finden sich jedoch die Äste zum Musculus ventricularis und die Communicatio mit dem Nervus laryngeus cranialis (QUINLAN et al. 1982).

Abb. 5 Verlauf des Nervus laryngeus caudalis am Kehlkopf des Pferdes;
 Ansicht von links. (mod. nach QUINLAN et al. 1982)



- A. Musculus cricoarytenoideus dorsalis
- B. Musculus cricoarytenoideus lateralis
- C. Musculus arytenoideus transversus
- D. Musculus vocalis
- E. Musculus ventricularis
- F. Ventriculus laryngis

- 1. Epiglottis
- 2. Lamina thyreoidea; gefenstert
- 3. Processus muscularis des Aryknorpel
- 4. Cartilago cricoidea
- 5. Nervus laryngeus caudalis
- 6. Nervenast zur Communicatio mit dem Nervus laryngeus cranialis

Die Axone, die zu den einzelnen adduktorischen und abduktorischen Muskeln des Kehlkopfes ziehen, laufen im Nervus laryngeus recurrens entlang des Halses ungeordnet nebeneinander. Erst auf den letzten 15 - 20 cm vor der Aufzweigung am Kehlkopf ordnen sich die Fasern für die einzelnen Muskelgruppen (SUNDERLAND u. SWANEY 1952, DYER u. DUNCAN 1987 und DUNCAN et al. 1991b).

Die Kehlkopffunktion ist somit abhängig von der Aktion und dem Zusammenspiel der intrinsischen Muskeln, die eine Gruppe von fein ausbalancierten Agonisten und Antagonisten darstellen (WYKE u. KIRCHNER 1976).

Die Leitungsgeschwindigkeit des Nervus laryngeus caudalis liegt bei 40 bis 100 m/s (GREEN u. NEIL 1955, NAKAMURA et al. 1958, IWAMURA 1974 und CRUMLEY 1982).

Beim Mensch und bei der Katze finden sich in den Kehlkopfmuskeln größere Muskelspindeln, die als Kontrollmechanismen für die Synchronisierung der Muskeln anzusehen sind (WYKE u. KIRCHNER 1976). Beim Pferd konnten ähnliche Strukturen bisher nicht nachgewiesen werden (DUNCAN u. BAKER 1987).

2.4. Klinische Befunde bei der Hemiplegia laryngis sinistra

Bei der Hemiplegia laryngis handelt es sich um eine, gewöhnlich halbseitige, Lähmung der Muskeln, sowohl der Konstriktoren als auch vor allem der Dilatatoren des Kehlkopfes (VENNERHOLM 1907).

2.4.1. Atemgeräusche

Die halbseitige Kehlkopflähmung ist durch ein inspiratorisches, laryngeales Stenosegeräusch während der Bewegung charakterisiert, das mit der Steigerung der Bewegungen namentlich im Galopp lauter wird, und sich als Pfeifen, Röhren, Röcheln, Keuchen, Hiemen, Giemen, Schnarchen, Krächzen, Kreischen, Grunzen, Brummen, Schnauben oder Brüllen äußert. Mit der Verstärkung des Geräusches, nimmt auch die Atembeschwerde zu, die sich in trompetenförmiger Erweiterung der Nüstern, inspiratorischer Dyspnoe und schließlich in Erstickungsanfällen äußert. Im Stand der Ruhe verschwindet das Atemgeräusch meist sehr bald (LEUTHOLD 1952, HUTYRA et al. 1958, SILBERSIEPE 1986).

Wie lange die Atemstörung nach dem Aufhören der Bewegung bestehen bleibt, beruht auf dem Grad des Leidens. In leichten Fällen endet der Ton sofort, in schwereren hält er etwa eine halbe Minute an, bei doppelseitiger und vollständiger Lähmung kann er jedoch längere Zeit anhalten. Wird der eingeatmete Luftstrom durch Eindrücken der Nasenflügel vermindert, so nimmt der Inspirationston ab oder verschwindet ganz (VENNERHOLM 1907).

Das Röhren wird durch den Luftstrom erzeugt, der durch den, aufgrund einer Lähmung der intrinsischen Muskeln verengten, Kehlkopf strömt. Nur bei angestregten Atemzügen werden inspiratorisch durch den verstärkten Luftstrom Aryknorpel und Stimmband ventilartig weit gegen das Kehlkopfinnere gerissen. Es kommt zu Turbulenzen der Einatemluft und Schwingungen der Weichteile, *dem Fremitus* (COLE 1946, HUTYRA et al. 1958, REUTTER et al. 1994).

Der inspiratorische Widerstand ist bei fehlender Innervation durch den Nervus laryngeus recurrens während und direkt nach der Belastung signifikant erhöht (DERKSEN et al. 1986).

Während der Atmungsphase, in welcher der gelähmte linke Stellknorpel sich dem abduzierten rechten Stellknorpel nähert, ist das Atemgeräusch am intensivsten und lautesten (MORRIS u. SEEHERMAN 1990 und SLOET 1996).

QUINLAN (1957) stellt die Diagnose Hemiplegia laryngis anhand der Qualität des Tones bei angestregter Atmung und mittels Rhinolaryngoskopie, im Zweifel auch durch einen Kehlkopfschnitt.