

Spinalnerven

Wir haben bereits Neuralrohr und Neuralleiste als Ausgangspunkt für die Entwicklung des Nervensystems kennengelernt. Das Neuralrohr stellt gewissermaßen die Zentrale Schaltstelle (Gehirn- und Rückenmarksanlage) dar. Es kann untergliedert werden in einen dorsalen (Flügelplatte, späteres Hinterhorn; verarbeitet afferente Signale) und einen ventralen (Grundplatte, späteres Vorderhorn; efferente Signale) Teil.



Abb. 1 Vergleich embryonales Neuralrohr und adultes Rückenmark

Die Zellen der Neuralleisten hingegen wandern weite Strecken in die Peripherie, um dort „Tochterunternehmen“ der Neurobranche anzusiedeln. Dazu zählen:

- Ganglien-Nervenzellen, je nach Versorgungsgebiet unterscheidet man:
 - kraniale oder Kopfganglien für die Verteilung der Hirnnerven
 - Spinalganglien: hier liegen die Nervenzellen der sensiblen (afferenten) Neurone; die Fasern der efferenten (meist motorisch) Neurone werden nur durchgeleitet
 - vegetative: hierunter zählen die Ganglien des enterischen Nervensystems in den plexus submucosus und myentericus
- Nebennierenmark und Paraganglien (Glomusorgane)
- Schwann-Zellen zur Bildung der peripheren Markscheiden

Außerdem können sich Neuralleistenzellen zu Melanoblasten, Odontoblasten, zum Knorpel-Knochengerüst des Schädels und zu den Leptomeningen (Pia mater und Arachnoidea) differenzieren.

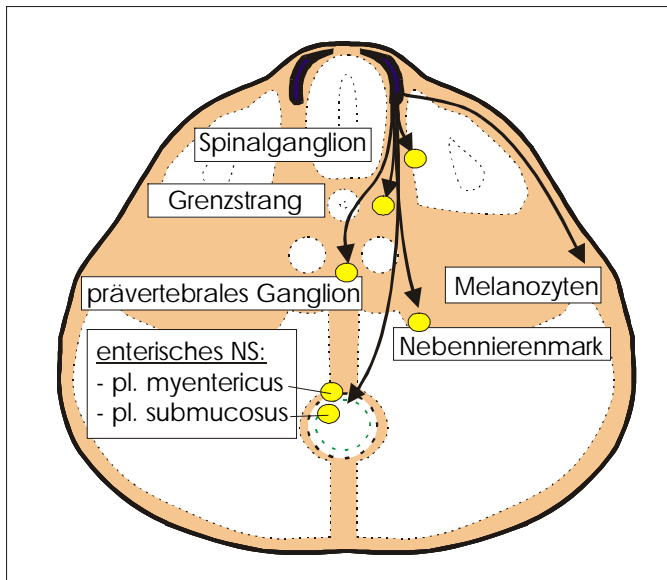


Abb. 2 Die Wanderziele der Neuralleistenzellen im Rumpfbereich

Spinalnervenaufbau und -system

Spinalnerven beinhalten mehrere Nervenfasern. Die Nervenfasern haben unterschiedliche Ursprungs- und Zielgebiete, verlaufen jedoch eine Teilstrecke gebündelt als ein Nerv. Die Information, die ein Spinalnerv leitet, kann sein (Sender → Empfänger):

- somato-efferent (z.B. : ein Bewegungsbefehl): Gehirn (Motorcortex) → Muskel
- viszero-efferent (z.B. ein vegetativer Anpassungsbefehl im Streß): vegetatives Nervensystem im Rückenmark → Schweißdrüsen, Gefäßmuskulatur
- somato-afferent: Rezeptor (Tast~,Wärme~ oder Muskelspindel etc.) → Gehirn (sensorischer Cortex)
- viszero-afferent (z.B. aus den Eingeweiden): Rezeptor (Druck~,Chemo~) → Rückenmark (Sympathicus) oder Formatio reticularis im Stammhirn (Parasympathicus)

Alle Signalwege bestehen aus Reihenschaltungen mehrerer Neurone. Wesentlich ist dabei die Kommunikation zwischen Rückenmark und Spinalganglion.

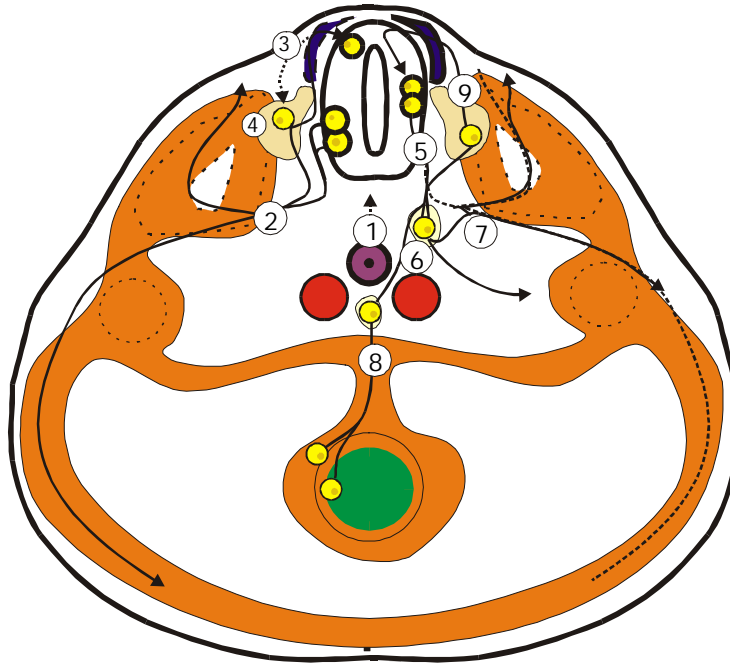


Abb. 3 Die Bildung der peripheren Leitungsbahnen

Die Entwicklung des somato-efferenten Wegs

Die efferente Neuronenkette, am Beispiel des motorischen Befehls, sieht folgendermaßen aus:

Gehirn (Motorcortex, 1. Neuron) → Rückenmarkssegment, Motoneuron im Vorderhorn (2.) → Muskel

Die letzte Strecke wird vom Spinalnerven bewältigt. Wir wollen ihre Entwicklung nun eingehender betrachten.

① Signalmoleküle, die von der Chorda ausgesendet werden, bewirken im ventralen Bereich des Neuralrohrs (Grundplatte, späteres Vorderhorn) die Ansiedlung von Motoneuronen. Es sei an dieser Stelle ausdrücklich betont, daß jedes Motoneuron seinen Zielmuskel kennt. Es bleibt nur bestehen, wenn es mittels einer Nervenfasern mit diesem Muskel eine Verbindung eingeht.

Das Motoneuron sendet also eine Nervenfasern (Axon) aus. Diese bewegt sich mittels ständig neu gebildeter Pseudopodien vorwärts. Ihre Orientierung erhält sie mittels neurotropher Wachstumsfaktoren, deren Konzentration zum Zielgebiet hin stetig ansteigt. Handelt es sich um die

erste ausgesendete Faser in dieser Region – die Pionierfaser – läuft das Wachstum entlang von vorgefertigten „Straßen“ aus embryonalem Bindegewebe. ② Alle folgenden Fasern, werden – sofern die Pionierfaser Erfolg hatte – auch diesen Weg nehmen. Es geht dann aber wesentlich schneller, da der Weg durch einen „Kollegen“ schon vorgezeichnet wurde.

Ist das Axon an seinem Muskel angekommen, wird eine motorische Endplatte ausgebildet und der Kontakt durch Muskelzucken getestet. Hat sich das Axon in der „Adresse“ geirrt oder ist ganz und gar in die Irre gelaufen, geht es zugrunde.

Bei primitiven Chordaten (Branchiostoma) wird die Ventrale Wurzel nicht ausgebildet, es laufen lediglich Axone einzelner großer Motoneurone segmentweise auf die kontralaterale Seite. Diese Überkreuzung ist Voraussetzung für die schlängelnde Fortbewegungsweise. Bei den Wirbeltieren ist eine Ventrale Wurzel ausgebildet.

Die Entwicklung des somato-afferenten Wegs

Die afferente Neuronenkette, am Beispiel eines sensiblen Signals, sieht folgendermaßen aus:

Rezeptor → Spinalganglionzelle (1. Neuron) → Rückenmark, Hinterhornzelle (2.) → Thalamus (3.) → Gehirn (sensorischer Cortex, 4.)

Wir möchten uns hier mit dem peripheren Weg, also vom Rezeptor zum Spinalganglion und von dort in die Hinterstrangbahnen des Rückenmarks beschäftigen.

Beim afferenten Signal, liegt – im Gegensatz zum efferenten (motorischen) – das für die Verteilung zuständige Neuron nicht im Rückenmark und entwickelt sich demzufolge auch nicht aus dem Neuralrohr. ③ Die Spinalganglionzellen entstehen aus auswandernden Neuralleistenzellen. ④ Diese senden einen peripheren (zum Rezeptor) und einen zentralen (zur Flügelplatte, dem späteren Hinterhorn) Fortsatz aus. Der periphere Fortsatz folgt der Pionierfaser der efferenten Motoneurone und der zentrale sucht den kürzesten Weg in die Flügelplatte des Neuralrohrs. Die weitere Nervenentwicklung gestaltet sich prinzipiell genauso wie bei den Motoneuronen.

Die Sammlung sensibler Informationen geschieht auch schon bei Branchiostoma in einer Dorsale Wurzel, jedoch liegen die Kerne der Neurone (Perikarya) verstreut oder im Rückenmark selbst. Die Formung eines Spinalganglions läßt sich erst bei Vertebraten beobachten.

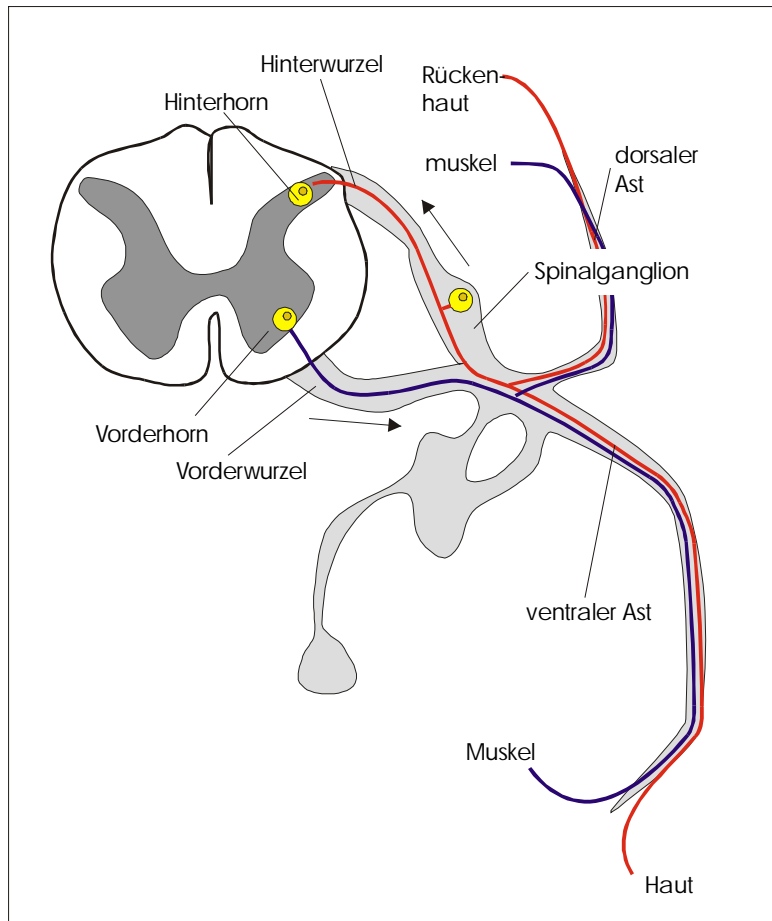


Abb. 4 Der definitive Verlauf der somatischen Spinalnervenanteile

Vegetative periphere Nerven

Die Steuerung durch das vegetative Nervensystem hat das Ziel, das innere Milieu des Körpers aufrecht zu erhalten. Es spielt eine große Rolle bei Anpassungsreaktionen (Kreislauf- und Gefäßregulation) und „Alltagsaufgaben“, die unbewußt ablaufen wie z.B. Verdauung. Funktionell läßt es sich in Sympathicus (Streßreaktionen, Kampfbereitschaft) und Parasympathicus (Ruhe, Schlaf, Verdauung) gliedern. Die anatomischen Repräsentanten dieser Funktionen sind:

- Sympathicus:

- zentraler Teil: Seitenhorn des Rückenmarks von C8-L3
- regionaler Teil: Grenzstrangganglien oder prävertebrale Ganglien
- lokaler Teil am Erfolgsorgan: Nervenplexus (z.B. plexus submucosus oder myentericus)
- Parasympathicus:
 - zentraler Teil: Hirnnervenkerne III, VII, IX und X (N. vagus); Rückenmark (S2-S5)
 - lokaler Teil: meist lokales Ganglion (z.B. Ganglion ciliare) mit Umschaltung auf ein weiteres Neuron, daß dann gemeinsam mit sympathischen Fasern einen Plexus bildet.

Die Frage der Funktion (ob sympathisch oder parasympathisch) wird also nach der Herkunft der Faser beantwortet. Grundsätzlich besteht eine vegetative (oder viszerale) Neuronenkette aus mindestens 2, meistens aber aus 3 Neuronen:

zentraler Teil (1. Neuron) → regionaler (lokaler) Teil (2.) → lokaler Teil (3.)

Beim Sympathicus legt das 1. Neuron eine relativ kurze Strecke zurück, beim Parasympathicus kann dieser Weg sehr lang sein (siehe N. vagus). Das Neuron, das sich im Grenzstrangganglion oder im prävertebralen Ganglion befindet, wird als postganglionäres Neuron bezeichnet. Weitere Einzelheiten bitte im Anatomie – Lehrbuch nachlesen.

Im dorsalen Teil der Grundplatte (viszero-efferent) und im ventralen Teil der Flügelplatte (viszero-afferent) des Neuralrohrs siedeln sich vegetative Neurone an. Dies ist der Bereich des Seitenhorns im späteren Rückenmark. ☺ und ☻ Ihre Axone nehmen die gleichen Wege durch ventrale und dorsale Wurzel, wie die Axone der somatischen Neurone.

Die Zellen der Grenzstrang- und prävertebralen Ganglien stammen aus der Neuralleiste. Das Nebennierenmark sowie die Paraganglien (Glomus caroticum, Paraganglia supracardialia, aorticum abdominale) sind ebensolche Ganglien. In den Ganglien wird ein regionales Reflex-„Kommunikationszentrum“ aufgebaut. Von hier aus kann die Arbeit der lokalen Reflexbögen (anatomisch als Plexus ausgebildet) moduliert werden.

Die Entwicklung des vegetativen Nervensystems ist eng gekoppelt an die Funktionsweise der Organsysteme. Das System ist in mehrere ineinander greifende Regelkreise geschachtelt, die ausführlicher im Abschnitt zum vegetativen Nervensystem abgehandelt werden können.

Wie auch bei den somatischen Nerven, gibt es bei den Austrittspunkten aus dem Rückenmark phylogenetisch feine Unterschiede: bei den Anamnia (im Wasser geboren) treten die viszero-efferenten Fasern zusammen mit den viszero-afferenten über die dorsale Wurzel aus. Erst bei den Amniota ist eine zunehmende Faserzahl zu verzeichnen, die über die ventrale Wurzel aus dem Rückenmark austreten.

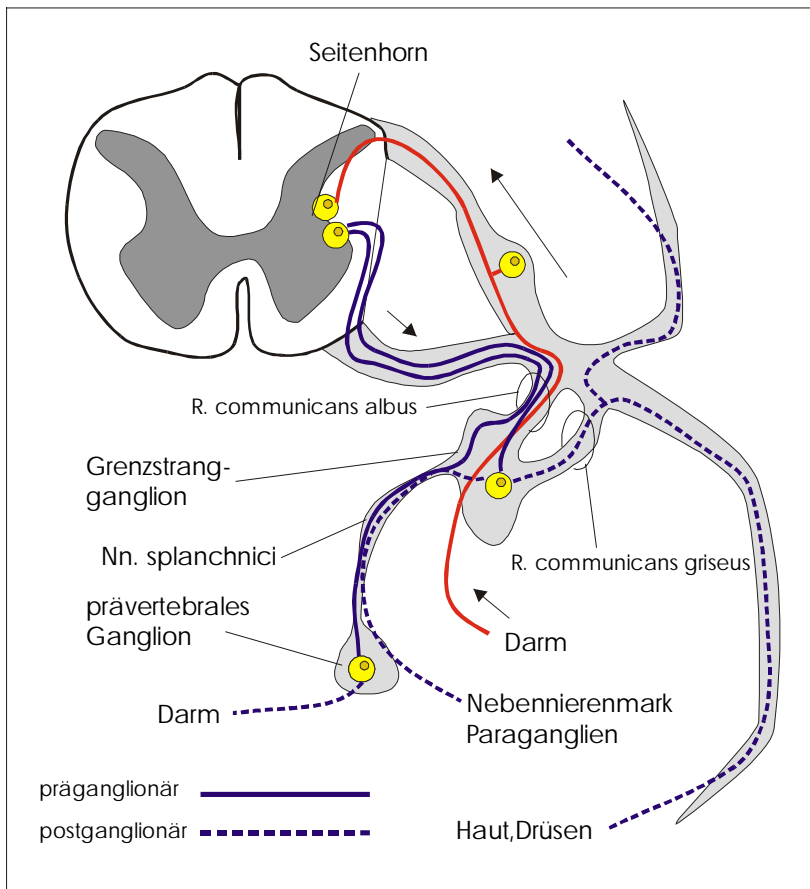


Abb. 5 Der definitive Verlauf der vegetativen Nervenäste

Spinalnervenverläufe

Nach Vereinigung der ventralen und dorsalen Wurzel zum Spinalnerven, verläßt dieser den Durasack des Rückenmarks durch das foramen intervertebrale. Hier scheidet sich der dorsale Ast ab und zieht zur autochthonen Rückenmuskulatur sowie zu der darüber liegenden Haut. Der

größere ventrale Ast versorgt die Muskulatur und die Haut der vorderen Leibeswand, zu der auch die Extremitäten gehören.

Im ventralen Ast laufen auch sympathische Fasern, um dann über einen Ramus communicans albus in das ⑥ Grenzstrangganglion einzutreten und über einen ⑦ Ramus communicans griseus als post-ganglionäres Neuron dem weiteren Verlauf des ventralen Spinalnervenasts zu folgen und die Schweißdrüsen und die Gefäßmuskulatur zu innervieren. Zu den prävertebralen Ganglien ziehen die Nervenfasern der Grenzstrangganglien als Nn. splanchnici, um dann zu den ⑧ inneren Organen zu gelangen.

Da in der Embryonalperiode mit dem Abschluß der Innervationsbildung das Rückenmark stetig an Wachstumsgeschwindigkeit verliert, der Rest des Körpers aber relativ dazu schneller wächst, verschieben sich die Ursprungssegmente im Rückenmark und die Austrittshöhe zueinander (Rückenmarkszensus). So kommt es, daß das Rückenmark bereits auf Höhe von LWK 2 endet und die weiter unten austretenden Spinalnerven zur Cauda equina ausgezogen sind. Die Rückenmarkssegmente liegen also höher als die Innervationsgebiete der Nerven, so daß alle Spinalnerven zu ihren Innervationsgebieten herunter ziehen.

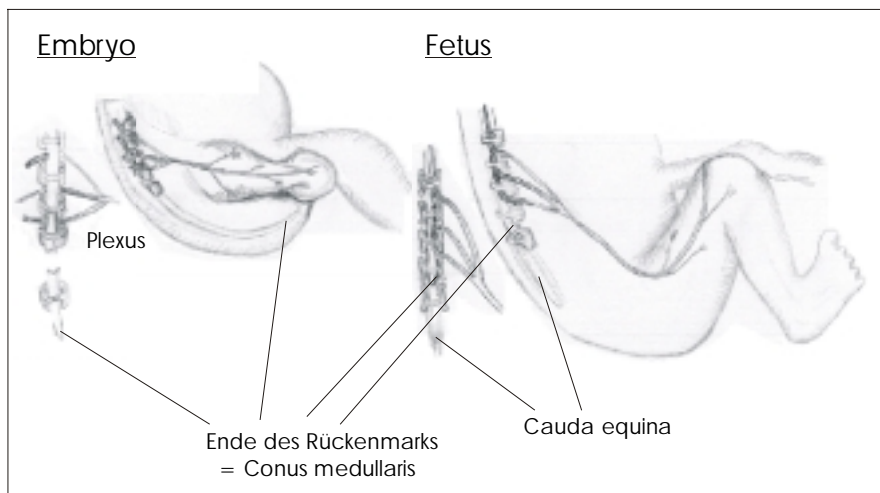


Abb. 6 Aszensus des Rückenmark in der Ansicht von dorsal und lateral

Die dorsalen Äste des Spinalnerven behalten ihre segmentale Gliederung bei. Die ventralen Äste laufen ebenfalls segmental gegliedert im Brustbereich unter den jeweiligen Rippen entlang (also Th2 unter der 2. Rippe, etc.) und versorgen die Interkostalmuskulatur und die Haut.

Im Bereich der Extremitätenfelder, des Halses und des Beckens sind weiträumige, bisweilen sehr individuelle, Muskelwanderungen und –verformungen aufgetreten. Manche Muskeln haben sich aufgespalten, andere wiederum sind miteinander verschmolzen. Wir haben bereits gesagt, daß jeder Nerv seinen Muskel von Anfang an kennt. Verschmilzt nun diese Muskelanlage mit einer anderen, kann es zu scheinbaren Doppelnervationen (z.B. N. obturatorius und N. femoralis beim M. pectineus) kommen. Ist die Verschmelzung der Muskelindividuen entwicklungsgeschichtlich älter, so liegt auch meist der Verschmelzungspunkt der innervierenden Nervenfasern näher an der Austrittsstelle aus dem Rückenmark. Man bezeichnet diesen Verschmelzungsvorgang als Plexusbildung:

- Plexus cervicalis (C1-C4):
Die Hirnnerven XI (N. accessorius) und XII (N. hypoglossus) sind in die Schädelhöhle einbezogene somatische Nerven. Die Muskulatur des N. accessorius (Mm. trapezius und sternocleidomastoideus) sind ursprünglich Muskeln des Nahrung aufnehmenden Kopfes (Viszeralschädel). Ihre Ansatzgebiete sind bei den Tetrapoden nach unten gewandert, die Innervation ist aber erhalten geblieben. Für weitere Verschiebungen der segmentalen Innervationsgebiete ist die Streckung des Halses verantwortlich. Auch hier liegt das Innervationsgebiet tiefer als der Nervenaustrittspunkt. Sichtbar ist dies am Verlauf des N. hypoglossus, der zusammen mit den Ästen des Plexus cervicalis verläuft. Sie versorgen die Zungen- und zungenassoziierte Muskulatur. Die sensiblen Komponenten dieser Äste bilden das Punctum nervosum.
- Plexus brachialis (C5-Th1):
Gerade an diesem Plexus wird der weite Entwicklungsweg und der hohe funktionelle Kopplungsgrad der Muskelindividuen am Ausmaß der Durchflechtung sichtbar. Nahezu jeder Muskel des Arms erhält seine Innervation aus einem Nerv, dessen einzelne Fasern aus mehreren Rückenmarkssegmenten stammen (z.B. N. radialis aus C5-Th1; N. medianus aus C7-Th1).
- Plexus lumbalis (L1-L4):
Die oberen beiden Nerven, N. iliohypogastricus und N. ilioinguinalis, entstammen aus Th12 und L1 und zeigen in ihrem Verlauf noch eine gewisse Segmentalität. Sie versorgen die Muskulatur der Bauchwand. Da sich der Fetus erst in den letzten Schwangerschaftswochen im Bauchbereich gewaltig streckt, laufen diese Nerven zunehmend steiler nach unten.
Bei den die Streckermuskulatur (Adduktoren zählen entwicklungsgeschichtlich mit zu den Streckern) versorgenden Nerven

tritt das gleiche Verflechtungsprinzip wie beim Plexus brachialis in Kraft.

- Plexus sacralis (L5-S3):
Die Nerven versorgen die Beugemuskulatur des Oberschenkels und die komplette Muskulatur des Unterschenkels. Die genaue Besprechung dieser Plexus findet bei den Extremitäten statt.
- Nervus pudendus (S2-S4):
Er versorgt die Muskulatur des Beckenbodens. Da dieser aus vielen verschmolzenen Muskelindividuen entstanden ist, spricht man auch vom plexus pudendus.

Die sensiblen Äste der Plexus machen die Wachstumsbewegungen des Körpers mit und lassen sich am besten im Verlauf der Dermatome ihren Ursprungsgebieten zuordnen.

Literatur

Drews: Taschenatlas der Embryologie, Thieme Verlag 1993, S. 213ff.
Christ/Wachtler: Medizinische Embryologie, Ullstein Medical 1998, S. 89ff.
Starck: Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere, Band 3, Springer Verlag 1982, S. 291, 498ff.