

Neurologie

Allgemein

Graue Substanz

Perykaryen der Neurone (Nuklei), Rückenmark, auch Groß- und Kleinhirnrinde

Weißer Substanz

Neuronale Fortsätze und Gliagewebe

Ganglien

Ansammlung von Nervenzellen (motorisch; sensible Spinalganglien mit pseudounipolaren Neuronen)

Blut-Hirn-Schranke

Barriere, zusammengesetzt aus

- *Kapillarendothel* (mit dichten tight-junctions)
- *Basalmembran*
- *Astrozyten*, die der Basalmembran anliegen

ZNS-Embryogenese

Die aus der ektodermalen *Neuralplatte* eingesunkene *Neuralrinne* schnürt sich zum *Neuralrohr* ab, in dem sich 3 Bläschen ausbilden:

- Prosencephalon (→ *Diencephalon*, *Telencephalon*)
- Mesencephalon
- Rhombencephalon (→ *Medulla oblongata*, *Zerebellum*, *Pons*)

Die Übergangszone bildet die periphere Neuralleiste, aus der die Spinalganglien differenzieren.

Gliederung des ZNS/PNS

Prosencephalon (Vorderhirn)

- Telencephalon (Großhirn, Endhirn)
- Diencephalon (Zwischenhirn)

Mesencephalon (Mittelhirn)

Rhombencephalon (Rautenhirn)

- *Metencephalon* (Hinterhirn)
 - Pons (Brücke)
 - Zerebellum (Kleinhirn)
- Myelencephalon = Medulla oblongata (Verlängertes Rückenmark)

Medulla spinalis (Rückenmark)

- *Hirnstamm*: Medulla oblongata, Pons, Mesencephalon

Ventrikelsystem

- 1.&2. Ventrikel = Seitenventrikel der Großhirnhemisphären
↓ Verbindung: *Foramen interventrikulare*
- 3. Ventrikel: Mittig im Diencephalon zwischen den beiden Thalamus
↓ Verbindung: *Aquaeductus mesencephali*
- 4. Ventrikel: Im Rhombencephalon vor dem Cerebellum
↓ Verbindung: *Canalis centralis*
- *Canalis centralis* des Rückenmarks
- *Plexus choroideus*: mediale Wand des Seitenventrikels; Dach des 3. und 4. Ventrikels, produziert den Liquor

Gefäßversorgung

- A. vertebralis (Wirbelarterie); paarige Arterie aus der A. subclavia; zieht durch die Foramina transversaria der Halswirbel
- A. basilaris (Basisarterie); Vereinigung beider A. vertebralis; schließt sich dem Schädelring an
- A. spinalis anterior (vordere Rückenmarksarterie); unpaares Gefäß mit zwei Wurzeln an der rechten und linken A. vertebralis zieht zurück durch das Foramen magnum in den Wirbelkanal

- Diverse Arterien zum Kleinhirn
- Circulus arteriosus cerebri (Arterienring); beide Aa. carotides internae und die A. basilaris werden durch die A. cerebri anterior (vordere Großhirnarterie), die A. cerebri media (mittlere Großhirnarterie), und die A. cerebri posterior (hintere Großhirnarterie), zu einem Ring zusammengeschlossen

Fasern

- Afferente Faser = Sensible, zum ZNS leitende Nervenfasern
- Efferente Faser = Motorische, vom ZNS wegführende Nervenfasern

Periphere Nervenfasertypen

- Somatomotorisch: Willkürliche Innervation der Skelettmuskulatur
- Somatosensibel
 - *Allgemein*: Impulse der Haut, Schleimhaut Muskelspindel, Golgi-Organ
 - *Speziell*: Sensorische Fasern von Netzhaut und Innenohr
- Viszeromotorisch
 - *Allgemein*: Nicht-willkürliche, para- oder sympathische Impulse der glatten Eingeweidemuskulatur, Herzmuskulatur und Drüsen. Einziger Typ, der peripher umgeschaltet wird
 - *Speziell*: Willkürliche Innervation der Kiemenbogenmuskulatur
- Viszerosensibel
 - *Allgemein*: Nicht-Bewußte (physiologische) Impulse wie Blutdruck, O₂-Gehalt aus den Eingeweiden und Gefäßen. Gelangen bis auf Schmerzimpulse der Eingeweide nicht zum Bewußtsein
 - *Speziell*: Sensorische Fasern der Riechschleimhaut und Geschmacksknospen

Gliazelltypen

- Schwann-Zellen: Markscheidenbildner (Myelin) der Nerven, lassen Ranvier-Schnürring frei, der Nerv wird vom Zellkörper umhüllt
- Oligodendrozyten: Markscheidenbildner des ZNS, die neuronalen Fortsätze werden von Fortsätzen umhüllt, Abbau führt zu MS
- Astrozyten: Sternförmige, fibrilläre Zellen in der Weißen Substanz, vornehmlich mit Stützfunktion und Stoffaustauschförderung sowie Narbenbildner
- Mikroglia: Mobile, eingewanderte Makrophagen
- Ependymzellen, iso- bis hochprismatisches Epithel, das die inneren Liquorräume auskleidet

Rückenmark

Rückenmarkshäute

- *Epiduralraum* mit Fett und Venenplexus
 - Dura mater (Harte Hirnhaut), äußere Bindegewebshülle
 - Subduralraum, *Neurothel*-Verwachsung
 - Arachnoidea mater (Spinnwebhaut), sehr dünn
 - Subarachnoidalraum, äußerer Liquorraum
 - Pia mater, liegt den Furchen direkt an
- *Lumbalpunktion* bei L3-4, da der Subarachnoidalraum dort die größte Ausdehnung besitzt
- *Epiduralanästhesie* (Betäubung einzelner Spinalnerven) in das Fettgewebe des Epiduralraumes. Um eine Verteilung auf andere Segmente zu vermeiden
- *Spinalanästhesie* mehrerer Segmente in den Subarachnoidalraum um eine Verteilung im Liquor zu ermöglichen

Bereiche grauer Substanz (Substantia grisea)

Die charakteristische Schmetterlingsform wird aus verschiedenen Bereichen gebildet

- Breites Vorderhorn (*Cornu anterius*, Grundplatte), efferente α - und γ -Motoneurone der Skelettmuskeln
 - Poliomyelitis (Kinderlähmung) führt zu schlaffer Lähmung durch Befall der Zellen des Vorderhorns

- Schmales Hinterhorn (*Cornu posterius*, Flügelplatte), afferente Fortsätze der sensiblen Spinalganglien-Neurone
 - *Ncl. dorsalis* (Stilling-Clarke), ventraler Kern im Thorakolumbalmark zur Verarbeitung propriozeptiver Afferenzen aus Muskelspindel und Golgi-Sehenorgan („Tiefensensibilität“). Läuft über den *Tractus spinocerebellaris posterior* ins Kleinhirn
 - *Ncl. proprius* in der Mitte des Hinterhorns, propriozeptiv und Hautafferenzen
 - *Substantia gelatinosa*, dorsales Kerngebiet, proprio- und exterozeptive Schmerzafferenzen, die über den *Tractus spinothalamicus* zum Thalamus laufen. Die Schmerzübertragung kann durch das Gehirn (z.B. Raphekerne) über Transmitterausschüttung (Serotonin, Noradrenalin) reguliert werden (Hemmung des 2. Neurons)
- Kleines Seitenhorn (*Cornu laterale*), Neurone des vegetativen Nervensystems, nur im Thorakalmark deutlich sichtbar
 - *Ncl./Col. intermediolateralis*, Neurone von Sympathicus und Parasympathicus, im Zervikalmark nicht vorhanden. Die *sympathischen Bahnen* haben ihre Neurone im Lumbalmark und werden im Grenzstrang aus des 2. Neuron umgeschaltet, keine weiteren Kerne im Hirn. Die *parasympathischen Bahnen* verlaufen im Sakralmark und werden erst in der Nähe der Erfolgsorgane auf das 2. Neuron umgeschaltet, zusätzliche Kerne im Hirnstamm
- Commissura grisea, Verbindung der Schmetterlingshälften, in welcher der Zentralkanal liegt (Fortsetzung des Liquorraumes des Gehirns)

Die motorischen Vorderwurzeln entspringen getrennt von den sensiblen Hinterwurzeln und vereinigen sich später zum Spinalnerv.

Bereiche weißer Substanz (Substantia alba)

- Vorderstrang (Funiculus anterior), zwischen Vorderwurzel und Fissura mediana anterior
- Seitenstrang (Funiculus lateralis), zwischen Vorder- und Hinterwurzel
- Hinterstrang (Funiculus posterior), zwischen Hinterwurzel und Sulcus medianus posterior
- Commissura alba posterior/anterior hinter und vor der Commissura grisea, Kreuzung der aufsteigenden Bahnen

In der weißen Substanz laufen die Neuronenfortsätze als *Tractus* auf- oder absteigend durch das Rückenmark.

Motorische Bahnen (Absteigende, efferente Bahnen)

Pyramidenbahn (Tractus corticospinalis)

Diese größte absteigende Bahn innerviert die α - und γ -Motoneurone als direkte Verbindung von sensomotorischem Kortex und Rückenmark ist zuständig für willkürliche Bewegungen / Stützmotorik und besteht aus zwei Neuronen:

Zentrales Neuron – Aus dem Motokortex (Gyrus präcentralis) zur Medulla oblongata. wo 70-90% der Fasern auf die kontralaterale Seite kreuzen und als Tractus corticospinalis lateralis im Seitenstrang (somatotopische Gliederung) absteigen um mit den α -Motoneuronen verschaltet zu werden.

Die ungekreuzten Fasern laufen im Tractus corticospinalis anterior (Pyramidenseitenstrangbahn median der Fissura longitudinalis anterior) ipsilateral nach unten und kreuzen bei Eintritt in die graue Substanz ins kontralaterale Vorderhorn. Der Tractus corticospinalis anterior endet im Zervikalmark.

Eine Unterbrechung der Pyramidenbahn im ZNS führt zu einer spastischen Lähmung.

Peripheres Neuron – Endstrecke des motorischen Apparates (Vorderhorn bis motorische Endplatte) zu den Motoneuronen der distalen Extremitätenmuskulatur, dient der Kontrolle der Feinmotorik.

Eine Unterbrechung der Pyramidenbahn in der Peripherie führt zu schlaffer Muskellähmung.

→ Eine Störung der Pyramidenbahn kann durch den Babinski-Reflex nachgewiesen werden.

Extrapiramidale Bahnen

Bezeichnung aller motorischen Projektionen die ins Rückenmark ziehen und nicht in der Pyramidenbahn verlaufen. Sie haben ihren Ursprung im Zentrum des Hirnstamm (*Ncl.ruber, Ncl.verstibulares, Formatio reticularis*) und werden entsprechend *Tractus rubrospinalis* (kontralateral), *Tractus vestibulospinalis* (ipsilateral) und *Tractus reticulospinalis* (bilateral) genannt. Sie haben keine einheitliche Lokalisation im Rückenmark. Sie projizieren auf die proximale Rumpf- und Extremitätenmuskulatur und sind daher für Massenbewegungen von Rumpf und Extremitäten verantwortlich.

Sensible Bahnen (Aufsteigende, afferente Bahnen → Hinterhorn)

Leitung der Empfindungsqualitäten (Berührung, Druck, Schmerz, Temperatur, Tiefensensibilität, Lokalisation) im Hinterhorn mit 3 Neuronen:

1. *Neuron* – Nerv vom Sensor zum Spinalganglion
2. *Neuron* – Im Hinterhorn (Überkreuzung) oder Medulla oblongata; zieht vom Spinalganglion zum Thalamus / Kleinhirn
3. *Neuron* – Erregungsübertragung vom Thalamus auf die Großhirnrinde

Hinterstrangbahn: Fasciculus cuneatus und Fasciculus gracilis (Epikritisch)

Der *Fasciculus cuneatus* liegt lateral direkt den Hinterhörnern an, während der *Fasciculus gracilis* wie ein Keil mittig zwischen dem *Fasciculus cuneatus* liegt. Die Hinterstränge besitzen eine somatotopische Gliederung: im *Fasciculus gracilis* liegen die sakralen Fasern medial; es folgen nach lateral die lumbalen und thorakalen Fasern. Die Fasern Th3 bis C2 liegen lateral und bilden den *Fasciculus cuneatus*. Die Leitungsqualitäten sind Informationen über die Lokalisation und Qualität von Berührungen und Informationen aus den Muskel-, Sehen- und Gelenkrezeptoren über Lage und Stellung des Körpers (*epikritische Sensibilität*). Die nach oben ziehenden Fasern treten nicht in das Hinterhorn ein und werden somit nicht auf das 2. Neuron umgeschaltet, sondern ziehen ipsilateral in den Hirnstamm.

Tractus spinothalamicus lateralis/anterior (Protopathisch)

Die Leitungsqualitäten sind grobe Druck- und Tastempfindungen sowie Temperatur- und Schmerzempfindung (*protopathische Sensibilität*). Die Afferenzen treten über das Spinalganglion in das Hinterhorn des Rückenmarks, werden dort auf das 2. Neuron umgeschaltet und kreuzen bevor sie aufsteigen in der Kommissur auf die kontralaterale Seite. Die Schmerzafferenz steigt erst 1-2 Segmente auf, bevor sie in der *Substantia gelatinosa* auf das 2. Neuron umgeschaltet wird.

Tractus spinocerebellaris (Propriozeptiv)

Setzt sich aus einem posterioren und anterioren Anteil zusammen. Der posteriore Anteil entspringt dem *Ncl. dorsalis* und leitet die propriozeptiven Afferenzen im ipsilateralen Seitenstrang ins Spinozerebellum. Der anteriore Anteil entspringt der Hinterhornbasis, verläuft ipsilateral und kontralateral im Seitenstrang nach oben und leitet ebenfalls propriozeptive Impulse aus den unteren Extremitäten ins Kleinhirn. Die kontralateralen Anteile kreuzen vor dem Eintritt in das Kleinhirn wieder auf die ipsilaterale Seite zurück.

Hirnteile

Telencephalon (Großhirn)

Gliederung in 2 Hemisphären, die durch die *Fissura longitudinalis cerebri* geteilt werden, mit je 4 Lappen, sowie dem *Gyrus cinguli* und der *Inselrinde*:

- Frontallappen
 - Sulcus centralis
- Parietallappen
 - Sulcus lateralis
- Temporallappen
- Okzipitalappen

Innere Gliederung

- *Corpus callosum* (Balken), Querfaserverbindung der beiden Großhirnhemisphären
- *Gyrus präcentralis* (Motokortex, Area 4), Ursprungsort der Willkürbewegung mit somatotoper Gliederung (Homunculus), Betz-Riesenzellen

- *Gyrus postcentralis* (Somatosensibler Kortex, Area 1,2,3), Zusammensetzung sensorischer Informationen (nicht Auswertung!)
- *Broca-Sprachzentrum*, im Gyrus frontalis inferior (meist links); motorisches Sprachzentrum (keine direkte motorische Kontrolle der Sprachmuskulatur)
- *Wernicke-Zentrum*, im Gyrus temporalis superior der dominanten Hemisphäre, sensorisches Sprachzentrum (Verständnis, Syntax) sowie sekundäres Hörzentrum (Worterkennung)
- *Gyrus angularis*, Verbindung von sekundärer Seh- und Hörrinde (Area striata und Wernicke)

Basalganglien

Die Basalganglien dienen der zentralnervösen Regulation der Motorik

- Striatum, 2 Anteile gleichen Ursprungs, durch Capsula interna voneinander getrennt, wirkt als Inhibitor auf Bewegungsimpulse. Afferente Innervation aus allen Kortexarealen, Substantia nigra und Thalamus; efferent zur Substantia nigra und dem Pallidum
 - Ncl. caudatus
 - Putamen (*Nucleus lentiformis*)
- Pallidum, fördert Bewegungsimpulse aus dem Kortex; Afferenzen aus dem Striatum, Nucleus subthalamicus und Thalamus; Efferenzen zum Thalamus
- Claustrum, graue Substanz zwischen Striatum und Inselrinde; Funktion ungeklärt

Limbisches System

Altes, nicht klar definiertes System zur Steuerung übergeordneter vegetativer Funktionen und Emotionen

Corpus amygdaloideum (Mandelkern)

Nimmt Einfluss auf vegetative Zentren des Hypothalamus und vermittelt emotional ausgelöste Reaktionen (Fluchtreflex, Lachen, Weinen, ...), sowie primäre und sekundäre Sinnesverarbeitung (bes. Riechen).

Hippokampus mit Pes hippocampi, Gyrus dentatus und Fornix

Vorwölbung im Unterhorn des Seitenventrikels, Sitz des Riechzentrums sowie Ort der Gedächtnisbildung und Entstehung affektbedingten Verhaltens (Aggression, Affektverhalten, Bewußtsein, Motivation). Über den hufeisenförmigen Fornix mit den Corpora mamillaria verbunden.

Corpus mamillare

Schließt sich an den Fornix an und bildet eine Schaltstelle des limbischen Systems

Gyrus cinguli

Parallel oberhalb des Balkens gelegene Hirnwindung, moduliert den psychomotorischen und locomotorischen Antrieb.

Papez-Neuronenkreis

Dient der Überführung von Informationen vom Kurz- ins Langzeitgedächtnis.

Hippocampus $\xrightarrow{\text{Fornix}}$ Corpora mamillaria $\xrightarrow{\text{Fasc.mamillothalamicus}}$ Thalamus \rightarrow Gyrus cinguli

Histologie (Neocortex, Isocortex)

Im phylogenetisch jüngsten Anteil des Gehirn können 6 verschiedene Zellschichten differenziert werden.

- I. Molekularschicht, Fortsätze tiefer gelegener Neurone, die parallel zur Oberfläche verlaufen
- II. Äußere Körnerschicht, Kleine Pyramidenzellen erwecken den Eindruck einer Körneransammlung (???)
- III. Äußere Pyramidenschicht, große Pyramidenzellen, deren Axone die Kommissurenfasern bilden
- IV. Innere Körnerschicht, kleine Pyramidenzellen mit sternförmigen Fortsätzen sowie nicht-Pyramidenzellen, von Horizontalfasern durchzogen
- V. Innere Pyramidenschicht, große Pyramidenzellen mit Efferenzen zu tiefergelegenen Bereichen; von horizontalen Fasern durchlaufen. Betz-Riesenzellen im Motokortex als Ausgangspunkt der Pyramidenbahn
- VI. Multifforme Schicht, Unschärfe Verbindungsschicht zum Marklager mit verschiedenen Zelltypen, deren Axone in die Thalamuskern projizieren

Diencephalon (Zwischenhirn)

Das Diencephalon enthält die vegetativen Zentren zur Steuerung der Stoffwechselforgänge sowie weitere Kerne (z. B. Pallidum). Es umschließt den 3. Ventrikel und ist in verschiedene Bereiche gegliedert:

- Epithalamus, sitzt dem Thalamus von hinten auf
- Epiphyse (Pinealkörper, Zirbeldrüse → Melatonin)
- Habenulae (Verbindung der Epiphyse mit dem Thalamus)
- Area pretectalis (Teil der Sehbahn; Pupillenreflex)
- Thalamus
- Subthalamus, bildet embryonal mehrere Strukturen aus:
 - Ncl. subthalamicus
 - Pallidum
- Hypothalamus (basal), Teil des Hypothalamus-Hypophysen-Systems, bildet den Boden des III. Ventrikels
 - Hypophyse mit Hypophysenstiel (Infundibulum), → ADH
 - Eminentia mediana
 - Corpora mamillaria, Endpunkt der Fornices aus dem Hippocampus

Thalamus

Im Thalamus werden die ankommenden sensorischen und sensiblen Informationen auf das 3. Neuron umgeschaltet und dem Großhirn zugeführt. Daneben steuert er die motorische Reaktion auf schmerzhaft oder affektbetonte Impulse (Flucht-, Abwehrreflexe, Schmerzausprägung).

Spezifische Thalamuskern

- Ncl. ventralis posterolateralis/-medialis: Verschaltung aller sensiblen Fasern der kontralateralen Körperhälfte; projizieren in den Gyrus postcentralis, wobei die Schmerzafferenz mehrfach verschaltet wird und daher auch bei Ausfall des Gyrus postcentralis ein dumpfer Schmerz empfunden werden kann.
- Corpora geniculata: Umschaltung der Sehbahn (lateral) und der Hörbahn (medial)
- Ncl. ventralis anterior/lateralis: Dient zur Integration der Afferenzen aus dem Cerebellum, der Substantia nigra und dem Pallidum und projiziert in den prämotorischen und motorischen Kortex

Die unspezifischen Thalamuskern dienen der Regulation der Wachheit, werden von der Formatio reticularis (→ ARAS) innerviert und projizieren in größere, meist mediale Kortexareale.

Hypothalamus

Der Hypothalamus dient der Integration vegetativer Körperfunktion (z.B. Atmung, Temperaturregulation, Nahrungsaufnahme).

Im Hypothalamus können 3 Kerngruppen unterschieden werden:

Vordere Kerngruppe

- Ncl. supraopticus: Dient der ADH-Produktion, projiziert in die Neurohypophyse (HHL)
- Ncl. paraventricularis: Oxytozin-Produzent, projiziert in die Neurohypophyse (HHL) und zum kleinen Teil auch in die Adenohypophyse (HVL)
- Ncl. suprachiasmaticus: Regulation des zirkadianen Rhythmus (Sehbahnkollaterale)
- Ncl. preoptici: Regulation der Körpertemperatur

Mittlere Kerngruppe, wichtigste Steuerzentrale der Adenohypophyse (HVL), Regulation der Nahrungsaufnahme

Hintere Kerngruppe (Corpora mamillaria), dient als Teil des limbischen Systems der Selbsterhaltung und Reproduktion, bildet einen Teil des Papez-Neuronenkreises. Über den *Fasciculus mamillothalamicus* mit dem Thalamus verbunden

Mesencephalon

Das Mittelhirn erstreckt sich vom Ende des Pons bis zu den Corpora mamillaria und wird ventral von den Crura cerebri (Hirnschenkel), dorsal vom Tectum (Vierhügelplatte) begrenzt und wird median von Aqueductus mesencephali durchzogen.

Tectum (Vierhügelplatte)

- *Colliculi superiores*, Reflexzentrum der Sehbahn
- *Colliculi inferiores*, Verschaltung des Lemniscus lateralis der Hörbahn zum Corpus geniculatum mediale

Tegmentum mesencephali(Decke)

- *Substantia nigra* (Dopaminerger Teil der Formatio reticularis), vgl. Medulla oblongata
- *Nucleus ruber*, wichtiger Anteil des extrapyramidal-motorischen System sowie eine motorische Schaltstelle, Efferenzen zur Formatio reticularis und den Olivenkernen
- *Lemniscus medialis*, Fasern aus den Hinterstrangbahnen (Fasciculus cuneatus/gracilis) über den Thalamus in den Gyrus postcentralis
- *Lemniscus lateralis*, Teil der Hörbahn
- *Tractus spinothalamicus*, Leitung protopathischer Sensibilität zum Thalamus
- *Fasciculus longitudinalis medialis*, Verbindungstrakt verschiedener Hirnnervenkerne (z.B. Augenmuskelkerne)
- *Substantia grisea centralis* (Zentrales Höhlengrau), Absteigende Fasern der Schmerzmodulation im Rückenmark

Crura cerebri (Hirnschenkel)

Dorsale, dicke Faserstränge über die Capsula interna aus dem Kortex

- *Fibrae frontopontinae*,
- *Fibrae corticonucleares*
- *Fibrae corticospinales* (somatotopisch angeordnete Pyramidenbahn)
- *Fibrae temporopontinae*

Rhombencephalon

Zerebellum (Kleinhirn)

- Pontocerebellum (Neocerebellum)
Das Pontocerebellum bildet den Großteil der Kleinhirnhemisphären und dient der Modulation der Impulse der willkürlichen Bewegung aus dem Gyrus praecentralis (motorischer Kortex).

- Spinocerebellum (Paleocerebellum)

Medianer Teil des Cerebellum, bildet den Großteil des Wurms (Vermis) sowie schmale Nebenstreifen. Endpunkt der spinozerebellären Bahnen (propriozeptive Sensibilität wie Gelenkstellung) aus der Skelettmuskulatur.

- Lobus flocculonodularis (Vestibulocerebellum , Archicerebellum)

Der Gleichgewichtsregulation dienende Kleinhirnstruktur, bestehend aus *Flocculus* und *Nodulus* (median), deren Hauptafferenzen aus den Vestibulariskernen kommen.

Hält den Muskeltonus (anhaltende Aktivität, Versteifung) der Skelettmuskulatur aufrecht und fasst Einzelbewegungen zu koordinierten Bewegungsabläufen zusammen. Es ist über afferente und efferente Bahnen mit dem Großhirn, Hirnstamm, Vestibularissystem und Rückenmark verbunden. Im Mark werden hauptsächlich efferente Bahnen mit 4 grauen Kernen (*Nucleus dentatus*, *emboliformis*, *globosus*, *fastigi*)verschaltet.

Kleinhirnverbindungen

- Unterer Kleinhirnstiel (afferent), Pedunculus cerebellaris inferior
 - *Tractus vestibulocerebellaris*, aus Vestibulariskernen und direkt aus dem Vestibularorgan
 - *Tractus olivocerebellaris*, erhält Informationen motorischer Aktionen aus dem motorischen Kortex, dem Nucleus ruber und der Formatio reticularis, die bereits im Hirnstamm kreuzen
 - *Tractus spinocerebellaris posterior*, liefert propriozeptiv-sensible Informationen aus dem Nucleus dorsalis (Stilling-Clarke, ipsilateral) in das Spinocerebellum
- Mittlerer Kleinhirnstiel (afferent), Pedunculus cerebellaris medialis
 - *Tractus pontocerebellaris*, zieht aus dem Kortex über die Nuclei pontis und ziehen nach Kreuzung in die kontralaterale Kleinhirnhemisphäre
- Oberer Kleinhirnstiel (vornehmlich efferent), Pedunculus cerebellaris superior
 - *Tractus spinocerebellaris anterior*, leitet propriozeptive Impulse der Tiefensensibilität (afferent) aus dem Rückenmark in die ipsilaterale Kleinhirnhemisphäre

- *Tractus cerebellothalamicus*, größte Kleinhirnefferenz aus Nucleus dentatus und Nucleus emboliformis, ziehen nach Kreuzung in Tegmentum zum kontralateralen Thalamus → Motorkortex
- *Tractus cerebellorubralis*, aus Nucleus emboliformis, Nucleus globosus und Nucleus dentatus nach Kreuzung zum kontralateralen Nucleus ruber

Histologie der Kleinhirnrinde

- *Stratum moleculare*, Hemmende Interneurone (Korb-, Sternzellen)
- *Stratum ganglionare*, efferente Purkinjezellen, welche die Kleinhirnkern-Neurone inhibieren (GABA). Werden durch Kletterfasern aus dem Nucleus olivaris und Parallelfasern aus den Körnerzellen erregt
- *Stratum granulosum*, erregende Körnerzellen (Glutamat), Golgizellen (hemmende Interneurone). Die Körnerzellen werden von Moosfasern aus dem Pons erregt, aus den Körnerzellen ziehen Parallelfasern zu den Purkinjezellen

Medulla oblongata / Pons (Nachhirn, Myelencephalon)

Kranialer Fortsatz des Rückenmarks mit lebenswichtigen Zentren (von der Formatio reticularis umgebene Nervenkerne); vom Abgang des ersten Zervikalnervs bis zum Beginn des Pons.

Durch die embryonale Öffnung des Neuralrohrs nach dorsal wird die Flügelplatte (sensibles Hinterhorn des Rückenmarks) nach lateral gedrängt, so dass die sensiblen Hirnnervenkerne lateral in der Medulla liegen.

Medulla und Pons bilden den Boden des 4. Ventrikels (Rautengrube), dessen Dach von den Kleinhirnsekeln gebildet wird.

Durch die Umschaltung der Hinterstrangbahn nach der Schleifenkreuzung in den Hinterstrangkernen entsteht der Lemniscus medialis, der sensible Impulse der Hinterstrangbahn und des Trigemini-Kernkomplexes zum kontralateralen Thalamus leitet.

Der Lemniscus lateralis leitet als Teil der Hörbahn Impulse der Cochleariskerne zu den Collicoli inferiores.

Die Hemmung der Flexorenmotoneurone und die Erregung der Extensormotoneurone (Extrapiramidales System) wird als Tractus vestibulospinalis weitergeleitet.

Die Hirnnervenkerne werden in der Formatio reticularis durch ein diffuses Fasernetzwerk verschaltet, wodurch ein koordinierter Ablauf der vegetativen Funktionen (z.B., Fremdre reflexe, Atmung, Augenbewegung) gewährleistet ist. Neben den Hirnnervenkernen besitzt die Formatio reticularis eigene Kerngruppen:

- ARAS (Aufsteigendes retikuläres aktivierendes System), steigert die Aktivität des Kortex durch verschiedene Afferenzen (Wecksystem)
- Noradrenerge Gruppe (Locus caeruleus), nimmt mit dem ARAS Einfluß auf den Schlaf-Wach-Rhythmus; dient darüber hinaus als „Alarmsystem“ und wird in körperlichen und seelischen Stresssituationen aktiviert (Tachykardie, Angstempfindung)
- Dopaminerge Gruppe (Substantia nigra), Dopamin-produzierende Neuronen, deren Nebenprodukt (Neuromelanin) eine dunkle Färbung verursacht. Die Axone ziehen zum Striatum und setzen dort das der Bewegungsinitiation dienende Dopamin frei
- Serotoninerge Gruppe (Nucleus raphe dorsalis), Hemmung der Schmerzleitung im Rückenmark, Einfluß auf den Schlaf/Wach-Rhythmus

Hirnnervenkerne (dorsokraniel)

- N. oculomotorius
 - *Nucleus nervi oculomotorii* (somatomotorisch)
 - *Nucleus accessorii nervi oculomotorii* [Nucleus Edinger-Westphal], Allgemein viszeromotorisch; parasymphatisch
- N. trochlearis
 - *Nucleus nervi trochlearis* (somatomotorisch)
- N. trigeminus
 - *Nucleus motorius nervi trigemini* (speziell viszeromotorisch)
 - *Nucleus spinalis nervi trigemini* (speziell viszerosensibel), protopathisch
 - *Nucleus principalis nervi trigemini* (speziell viszerosensibel), epikritisch
 - *Nucleus mesencephalicus nervi trigemini* (speziell viszerosensibel), propriozeptiv
- N. abducens
 - *Nucleus nervi abducentis* (somatomotorisch)
- N. facialis
 - *Nucleus nervi facialis* (speziell viszeromotorisch)

- *Nuclei tractus solitarii* (sensorisch)
- *Nucleus salivatorius superior* (viszeromotorisch), sekretorisch parasymphatisch
- N. glossopharyngeus
 - *Nucleus ambiguus* (speziell viszeromotorisch)
 - *Nucleus salivatorius inferior* (viszeromotorisch)
 - *Nucleus spinalis nervi trigemini* (somatosensibel)
 - *Nuclei tractus solitarii* (sensorisch)
- N. vagus
 - *Nucleus ambiguus* (speziell viszeromotorisch)
 - *Nucleus dorsalis nervi vagi* (allgemein viszeromotorisch)
 - *Nucleus spinalis nervi trigemini* (somatosensibel)
 - *Nuclei tractus solitarii* (sensorisch)
- N. accessorius
 - *Nucleus nervi accessorii* (somatomotorisch)
- N. hypoglossus
 - *Nucleus nervi hypoglossi* (somatomotorisch)

Weitere Kerne

- *Nuclei olivares inferior* (Olivenkernkomplex), Motorisches Zentrum der Modulation von Präzisionsbewegungen (in Abstimmung mit dem Kleinhirn), afferente Projektionen aus dem Rückenmark (Tractus spinoolivaris) und dem Nucleus ruber sowie vom Kortex, die Efferenzen projizieren vornehmlich ins Kleinhirn (Kletterfasern), liegen dorsolateral der Pyramiden.
- *Nuclei pontis* (Brückenkerne), Bewegungskordinations (mit dem Kleinhirn), Afferenzen aus dem Großhirn über den Tractus corticopontinus, Efferenzen ziehen in die kontralaterale Kleinhirnhälfte
- *Nucleus gracilis / cuneatus* (Hinterstrangkerne), Vorwölbung als Tuberculum gracilum / cuneatum aus der Hinterwand der Medulla oblongata; Umschaltung der ipsilateralen Hinterstrangbahnen (epikritische Sensibilität) auf das 2. Neuron, der entstehende Lemniscus medialis kreuzt im Hirnstamm und zieht zum kontralateralen Thalamus (Umschaltung auf das 3. Neuron)

Sinnesverarbeitung

Sehen

Das Licht trifft auf die primären Sinneszellen der Retina, die in der Netzhaut auf die 2. Neuronen (bipolar) verschaltet werden, nach einer weiteren Verschaltung in der Netzhaut auf das 3. Neuron als *N. opticus* den Bulbus verlassen und durch den *Canalis opticus* zum Gehirn ziehen. Unterhalb der Hypophyse vereinigen sich beide *Nn. optici* zum *Chiasma opticum*, in dem sich die Faseranteile der lateralen Gesichtsfelder kreuzen, die medialen Anteile jedoch nicht. Die gekreuzten und ungekreuzten Faseranteile, die jeweils eine Hälfte des Gesichtsfeldes leiten, vereinigen sich zum *Tractus opticus* und ziehen zum jeweiligen *Corpus geniculatum laterale* des *Thalamus*, wo sie auf das 4. Neuron umgeschaltet werden. Vorher werden Kollateralen zum Hypothalamus (Steuerung des zirkadianen Rhythmus durch das endokrine System), zur *Area pretectalis* und zum *Tectum* (Colliculi superiores) des Mittelhirns (Pupillenweite und vertikale Augenbewegung) abgegeben. Vom *Corpus geniculatum laterale* ziehen die Axone über die *Radiatio optica* (Sehstrahlung) zur primären Sehrinde (*Area striata* mit dem Gennari-Streifen im Sulcus calcarinus). Von dort aus ziehen Projektionen zur Großhirnrinde (Farbsehen, Objekterkennung, räumliches Sehen).

Hören

Die Schwingung der Basilarmembran der Cochlea löst die Biegung der Haarsinneszellen des Corti-Organ aus, wodurch ein Transmitter freigesetzt wird, der die Dendriten des 1. Neurons, deren Perikaryen im *Ganglion spirale* liegen, stimuliert. Die Axone der 1. Neurone bündeln sich und bilden einen Teil des *N. vestibulocochlearis*, der durch den *Meatus acusticus internus* zum Hirnstamm zieht. In der Medulla oblongata werden sie in den *Ncl. cochleares* auf das 2. Neuron umgeschaltet. Ein geringer Anteil der Fasern zieht direkt ipsilateral zum *Colliculus inferior* (Vierhügelplatte), ein Großteil der Fasern kreuzt auf die kontralaterale Seite und verläuft als *Lemniscus lateralis* zu den *Colliculus inferior*. Auf dem Weg dorthin werden bereits einige Fasern in den *Ncl. corporis trapezoidei* und *Ncl. olivaris superior* auf das 3. Neuron umgeschaltet. Einige nicht verschaltete Fasern kreuzen wieder auf die ipsilaterale Seite, wobei sie in den *Ncl. lemnisci lateralis* auf das 3. Neuron umgeschaltet werden. In den *Colliculi inferiores* kreuzen einige Fasern auf die kontralaterale, andere wieder auf die ipsilaterale Seite. Von den *Colliculi inferiores* ziehen die Fasern zum *Corpus geniculatum mediale* des *Thalamus*, wo alle Fasern noch einmal umgeschaltet werden. Danach ziehen sie als Hörstrahlung (*Radiatio acustica*) zur primären Hörrinde (Heschl-Querwindung im Temporallappen). Efferente Fasern der primären Hörrinde ziehen zur lateral angrenzenden sekundären Hörrinde, wo eine interpretatorische Verarbeitung stattfindet (Wernicke-Zentrum=sensorisches Sprachzentrum).

Gleichgewicht

Vom *Ganglion vestibulare* ziehen Dendriten bipolarer Nervenzellen zum Gleichgewichtsorgan (*Vestibulum*), deren Axone den *N. vestibularis* bilden. Der Großteil der Fortsätze zieht in die 4 Vestibulariskerne des Hirnstamms (*Ncl. vestibularis superior/inferior/medialis/lateralis*); ein kleiner Teil gelangt ohne weitere Verschaltung über den *Pedunculus cerebellaris inferior* in der *Lobus flocculonodularis* des Cerebellums.

Von den Kernen ziehen Fasern zum Thalamus, ins Cerebellum (Rückprojektion in den *Lobus flocculonodularis*), ins Rückenmark (*Tractus vestibulospinalis*, aktiviert die α -Motoneuronen der Strecker), und in die okulomotorischen Zentren der *Formatio reticularis*.

Schmecken

Die Sinneszellen der Zungenpapille dienen zur Registrierung der 4 Geschmacksqualitäten süß, sauer, salzig und bitter. Es sitzen immer ca. 20 Sinneszellen in einer Geschmacksknospe. Die ersten 2/3 der Zunge werden über die *Chorda tympani* des *N. facialis* sensorisch versorgt, die hinteren 1/3 über den *N. glossopharyngeus* sowie den *N. vagus*. Alle sensorischen Afferenzen ziehen als *Tractus solitarius* zur Verschaltung in den *Ncl. solitarius* in der Medulla oblongata. Von hier aus ziehen die Fasern als *Tractus tegmentalis centralis* in den Thalamus, von wo aus sie ins Großhirn gelangen.

Riechen

Die Chemorezeptoren der Riechschleimhaut sind primäre Sinneszellen, deren Axone durch die *Lamina cribrosa* und als *N. olfactorius* zur Verschaltung in den *Bulbus olfactorius* (à Hirnnervenkern) ziehen. Von dort aus ziehen sie im *Tractus olfactorius* zur primären Riechrinde.

Hirnnerven

I	<i>N. olfactorius</i>	<i>Lamina cribrosa</i>	Rein speziell-viszerosensibler Nerv Läuft durch die <i>Lamina cribrosa</i> zur Verschaltung in den <i>Bulbus olfactorius</i> (à Hirnnervenkern)
II	<i>N. opticus</i>	<i>Canalis opticus</i>	Rein speziell-viszerosensibler Nerv Anteil des Zwischenhirns; Verläuft durch den <i>Canalis opticus</i> über dem Hypothalamus in das <i>Chiasma opticum</i> , wo es als <i>Tractus opticus</i> zum <i>Corpus geniculatum laterale</i> zieht
III	<i>N. oculomotorius</i>	<i>Fissura orbitalis superior</i>	Gemischt somato- und viszeromotorischer Nerv Somatomotorischer Anteil versorgt nasale Augenmuskulatur und Lidheber; Viszeromotorischer Anteil versorgt parasympathisch (à <i>Ganglion ciliare</i>)

			den <i>M.ciliaris</i> und <i>M.sphincter pupillae</i>
IV	<i>N. trochlearis</i>	<i>Fissura orbitalis superior</i>	Rein somatomotorischer Nerv Versorgt nur den <i>M.obliquus superior</i> ; Tritt als einziger Nerv dorsal am Unterrand der Vierhügelplatte aus
V	<i>N. trigeminus</i>		Gemischt sensibel und motorischer Nerv Sensibel innerviert er das gesamte Gesicht, Mund- und Nasenschleimhaut sowie einen Großteil der Hirnhäute; Motorisch innerviert er die Kaumusculatur
V.1	<i>N. ophthalmicus</i>	<i>Fissura orbitalis superior</i>	Rein sensibel Versorgt Orbita, Cornea, Stirnhaut
V.2	<i>N. maxillaris</i>	<i>Foramen rotundum</i>	Rein sensibel Gibt Fasern zum <i>Ganglion pterygopalatinum</i> ab; versorgt Gesichtshaut der Wangen, Schleimhäute der Nase und des Gaumens sowie den Oberkiefer
V.3	<i>N. mandibularis</i>	<i>Foramen ovale</i>	Gesamter motorischer Anteil und sensible Fasern Versorgt sensibel die Gesichtshaut am Kinn und die vorderen 2/3 der Zunge; motorisch versorgt er die gesamte Kiefern musculatur
VI	<i>N. abducens</i>	<i>Fissura orbitalis superior</i>	Rein somatomotorisch Innerviert den <i>M.rectus lateralis</i> und ermöglicht so die Abduktionsbewegung des Auges
VII	<i>N. facialis</i>	<i>Meatus acusticus internus</i>	Fazialisanteil: speziell-viszeromotorische Versorgung der mimischen Musculatur Intermediusanteil: parasympathisch-sekretorische Fasern zur Tränendrüse und den kl.Speicheldrüsen sowie speziell-viszerosensible Geschmacksfasern
VIII	<i>N. vestibulocochlearis</i>		Rein speziell-somatosensibel Führt Afferenzen der Schnecke (Akustik) und der Bögen (Ggw)
IX	<i>N. glossopharyngeus</i>	<i>Foramen jugulare</i>	Speziell-viszeromotorisch: versorgt mit <i>N. vagus</i> die Schlund musculatur (Schluckakt) Allgemein-viszeromotorisch: innerviert parasympathisch die Parotis Speziell-viszerosensibel: Fasern zum Sinus caroticus zur Atem- und Kreislaufkontrolle Sensibel und Sensorisch: hinteres Drittel der Zunge
X	<i>N. vagus</i>		Allgemein-viszeromotorisch: Parasympathicus Speziell-viszeromotorisch: versorgt die Schlund musculatur (Schluckakt) Sensibel: Schlund und Kehlkopf sowie äußeren Gehörgang Sensorisch-gustatorisch: Rezeptoren auf der Epiglottis
XI	<i>N. accessorius</i>		Rein somatomotorisch Innerviert den <i>M. sternocleidomastoideus</i> und den <i>M. trapezius</i>
XII	<i>N. hypoglossus</i>	<i>Canalis nervi hypoglossi</i>	Rein somatomotorisch Versorgt als einziger Nerv die Zunge motorisch