
Hirnstamm und Hirnnerven

Motorische Hirnstammbahnen und *Formatio reticularis*

David P. Wolfer

Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich

Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

377-0107-00 Nervensystem / Anatomie, Di 28.11.2023 08:15-10:00

Lernziele dieser Anatomievorlesung: Studierende können ...

- **Merken und Erinnern**

1. die rostrokaudale und dorsoventrale Gliederung des Hirnstamms zeigen
2. die Formatio reticularis definieren, ihre Gliederung zeigen und darin enthaltene Nervenzelltypen nennen
3. die Lokalisation wichtiger funktioneller Nervenzellgruppen und Zentren der Formatio reticularis zeigen
4. Herkunft und Endigungsgebiete wichtiger afferenter und efferenter Verbindungen der Formatio reticularis nennen
5. Herkunft, Verlauf und Endigungsgebiete motorischer Hirnstammbahnen zeigen
6. Verlauf und Herkunft, bzw Endigungsgebiete afferenter und efferenter Verbindungen des Kleinhirns zeigen
7. Lokalisation und Verbindungen wichtiger motorischer Kontroll- und Relaiskerne zeigen

- **Verstehen und Anwenden**

1. die Rolle der Formatio reticularis in der bottom-up Beeinflussung des Gehirns und der top-down Kontrolle des Rückenmarks erläutern
2. die funktionelle Bedeutung motorischer Fasersysteme und Kerne darlegen
3. die funktionellen Konsequenzen der Schädigung motorischer Fasersysteme und Kerne an unterschiedlichen Lokalisationen diskutieren

Fakultative Lernmaterialien für diese Vorlesung

- Lehrbuch: Trepel, «Neuroanatomie»
 - 5 Verlängertes Mark (Medulla oblongata) und Brücke (Pons), 5.3 Weitere Kernkomplexe in Medulla oblongata und Pons
 - 6 Mittelhirn (Mesencephalon), 6.2 Tectum mesencephali
 - 6 Mittelhirn (Mesencephalon), 6.3 Tegmentum mesencephali
 - 6 Mittelhirn (Mesencephalon), 6.4 Crura cerebri
 - 6 Mittelhirn (Mesencephalon), 6.5 Bahnsysteme des Hirnstamms
- LernAtlas: Prometheus «Kopf, Hals und Neuroanatomie»
 - B Neuroanatomie
 - 1.11 Somatomotorik
 - 8.3-4 Truncus encephali

Formatio reticularis = FR

- Anatomische Definition

- diffuses Nervenzellnetzwerk im Tegmentum, lokale Verdichtungen = «Nuclei»
- Gliederung: 3 mediolaterale Zonen und 3 rostrokaudale Abschnitte
- Neurotransmitter: Glutamat, GABA, Acetylcholin, Monoamine (DA, NA, 5HT)

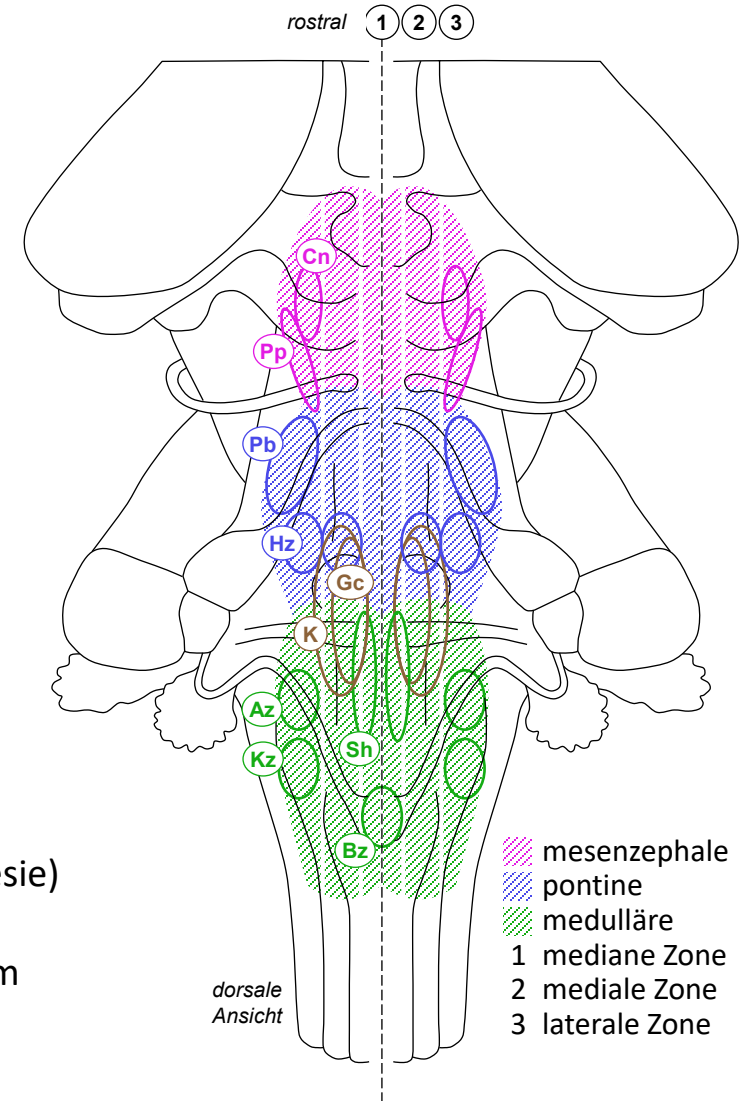
- Multiple Schaltkreise und Nervenzellgruppen

Fortsetzung
intrinsischer
RM Systeme

- Reflexzentren: Muskeldehnungsreflexe, Husten-, Würge-, Lidschlussreflex
- sensible Verarbeitung: Interneurone um Nc spinalis N trigemini (Schmerz), Ncc parabrachiales (Pb) (spezielle + allg. Viszerosensibilität, inkl Schmerz)
- prämotorische Netzwerke und CPGs für motorische Hirnnervenkerne: Augenbewegungen, Schlucken, Würgen, Kauen, Sprachartikulation, Mimik

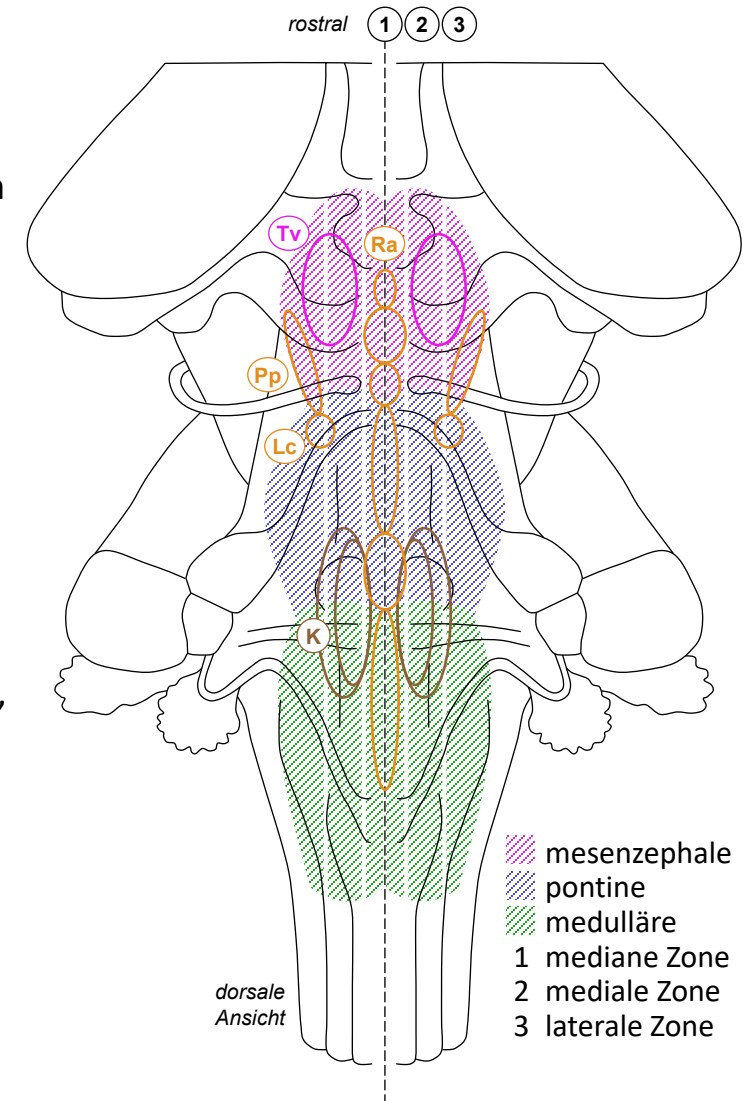
1-2 Stufen höher
in der Hierarchie
der Kontrolle

- rostrales motorisches Zentrum kontrolliert va Lokomotion («midbrain locomotor region»): Nc tegmentalis pedunculo pontinus (Pp) (Schnittstelle zu Basalganglien, willkürliche Lokomotion / Navigation), Nc cuneiformis (Cn) (Schnittstelle zum limbischen System, reflektorische Lokomotion, zB Fluchtreflex)
- kaudales motorisches Zentrum (K): kontrolliert Extensoren/Flexoren-Tonus und Stützmotorik, enthält Nc gigantocellularis (Gc) → steuert ua. unter Kontrolle des rostralen mot. Zentrums Richtung und Tempo der Lokomotion
- Schmerzhemmzentrum (Sh) → spinale Reizverarbeitung (zB Placebo/Stressanalgesie)
- vegetative Kontrollzentren: Harnblasenzentrum (Hz) (lateral Kontinenz, medial Miktion), Kreislaufzentrum (Kz), Brechzentrum (Bz) (Area postrema), Atemzentrum (Az) (generiert Rhythmus, enthält CO₂ Sensor, steuert Tiefe & Frequenz)



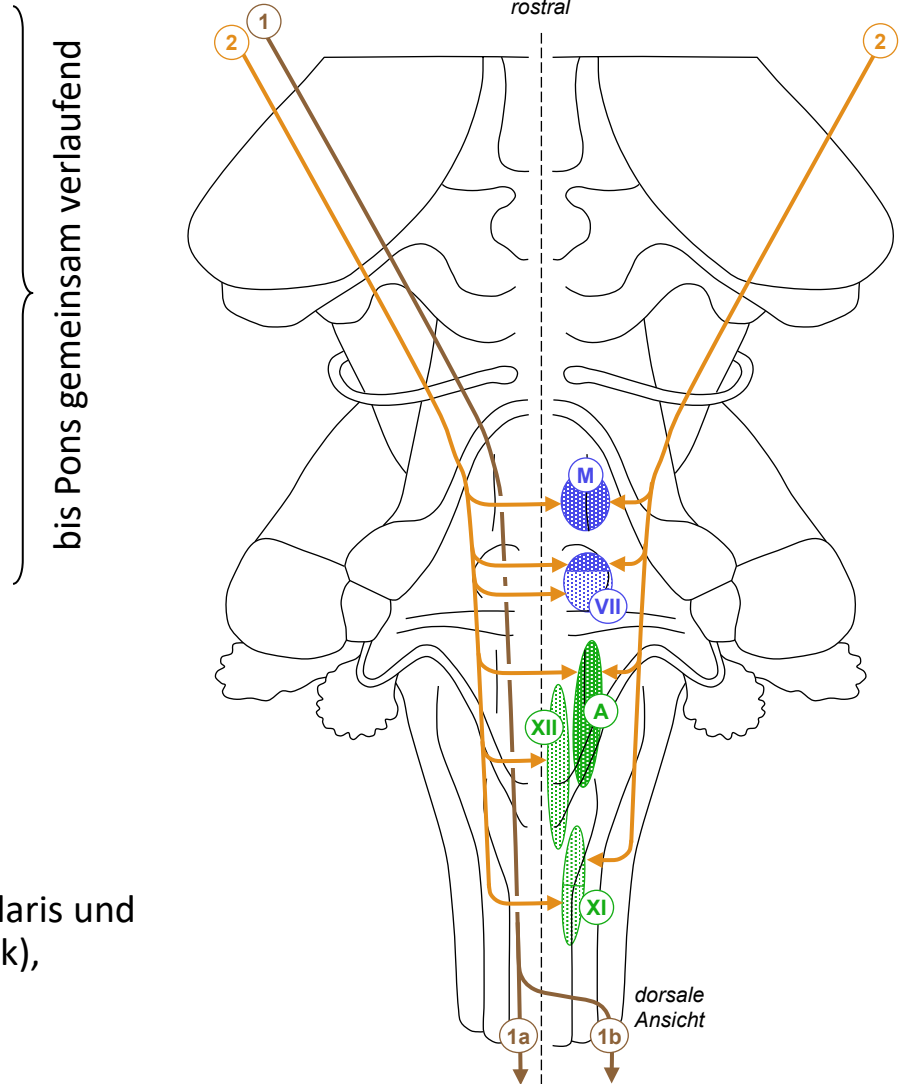
Verbindungen der Formatio Reticularis

- Top-down Kontrolle des Rückenmarks (efferente Verbindungen)
 - retikulospinales System (kontra- > ipsilateral) = Σ absteigender Fasern aus FR
 - Modulation spinaler Reizverarbeitung (Schmerz); vegetative Zentren der FR → Kontrolle präganglionärer vegetativer Neurone; motorische Anteile ausgehend vom (K) kaudalen motorischem Zentrum → extrapyramidale Steuerung von prämotorischen Netzwerken, CPG und α - und γ -Motoneuronen (Haltungsmotorik)
- Bottom-up Beeinflussung des Grosshirns (efferente Verbindungen)
 - aufsteigendes retikuläres aktivierendes System = ARAS (Weck- und Wachzentrum, Stressreaktionszentrum): Locus coeruleus (Lc) (NA → Grosshirnrinde), Nc tegmentalis pedunculopontinus (Pp) (ACh → Thalamus → Grosshirnrinde)
 - Raphekerne (Ra) bilden mediane Zone der FR, Serotonin (5HT) → (limbische) Grosshirnrinde, Modulation von Stimmung, Emotionen und Sozialverhalten
 - dopaminerge Projektionen: Area tegmentalis ventralis (Tv) → limbische Strukturen des Telencephalon (meso-limbisches System): Motivations- und Belohnungssystem, Kontrolle von Entscheidungen – Suchterkrankungen
- Sensibler und steuernder Input in FR (afferente Verbindungen)
 - sensibel: Schmerz und andere Reize aus Hirnnervenkernen oder Rückenmark → (Lc)(Pp) → Weck/Alarmreaktion, vestibuläres System, viszerale Afferenzen
 - steuernd: übergeordnete motorische (Grosshirnrinde, Basalganglien, Cerebellum), limbische und vegetative Zentren (Amygdala, Septum, Hypothalamus, Mittelhirn)



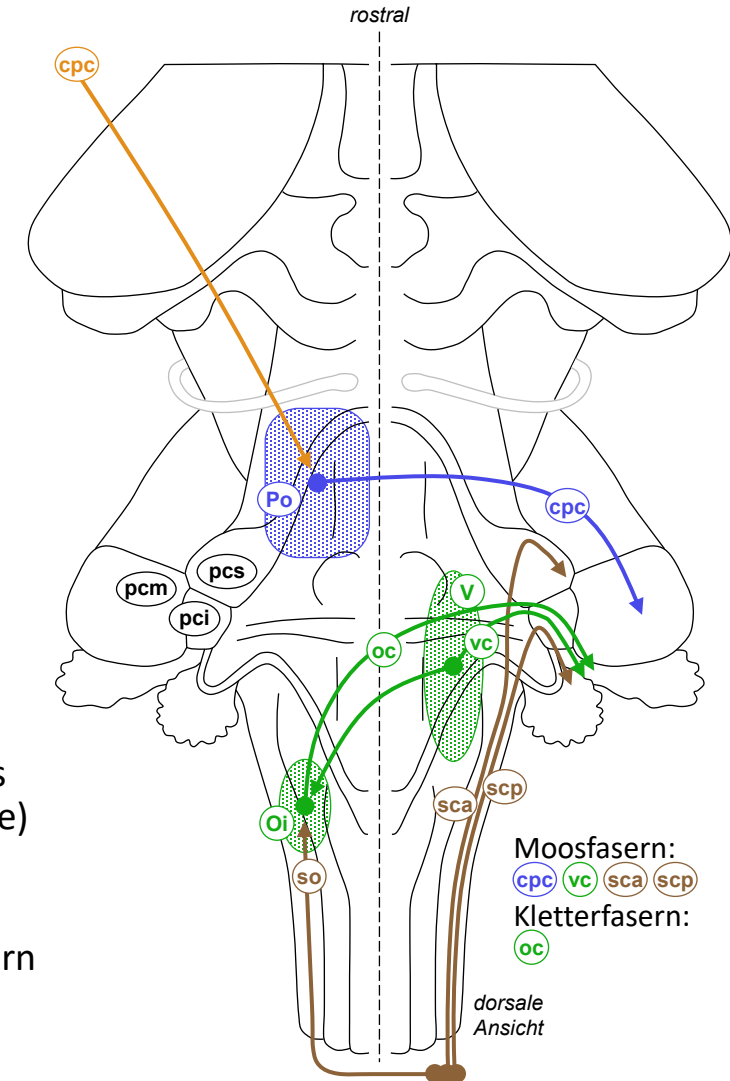
Kortikospinale und kortikonukleäre Bahn

- Tr. corticospinalis (1a) ant. & (1b) lat.
 - primäres motorisches Rindenfeld M1 (Zonen für Extremitäten, Rumpf) → motorische Kerne im Rückenmark, Verlauf durch Hirnstammbasis
- Tr. corticonuclearis = corticobulbaris (2)
 - primäres motorisches Rindenfeld M1 (Kopfzone) → somatomotorische (ausser Augenmuskeln!) und speziell viszeromotorische Hirnnervenkerne
 - bilateral → Nc motorius N trigemini (M), Nc N facialis (VII) (Rr temporales, Stirnmuskeln), Nc ambiguus (A)
 - kontralateral → Nc N facialis (VII) (übrige Äste ausser Rr temporales), Nc N accessorii (XI) (M trapezius), Nc N hypoglossi (XII)
 - ipsilateral → Nc N accessorii (XI) (M sternocleidomastoideus)
- Funktion
 - absteigende Fasern → Interneurone prämotorischer Netzwerke und zT direkt Motoneurone: Zielmotorik ausser Blickbewegungen
 - Ausfall → halbseitige Lähmung ausser bei bilateraler Innervation: dann halbseitige Lähmung nur bei Schaden im motorischen Kern oder peripher im Hirnnerven selbst
 - Kollateralen des Tr corticonuclearis und corticospinalis → Formatio reticularis und Nc ruber (Informationen für Steuerung der extrapyramidalen Stützmotorik), → Nc olivaris inf (Informationen für motorisches Lernen im Kleinhirn)



Afferente Bahnen des Kleinhirns

- Motorische Koordination durch Kleinhirn
 - Vergleich Bewegungsplan ↔ Resultat → Korrektursignale, motorisches Lernen
 - Ausfall des Kleinhirns oder wichtiger Verbindungen (zB Afferenzen aus Rückenmark und Medulla) → Koordinationsstörung: Ataxie, Dysarthrie, Intentionstremor
- ① **Pedunculus cerebellaris sup**
 - Tr spinocerebellaris ant (*sca*), Teil des spinozerebellären Systems: Feedback über allen Input, den α - und γ -Motoneurone erhalten (spinale Efferenzkopie)
- ② **Pedunculus cerebellaris med**
 - Tr corticopontocerebellaris (*cpc*)(*cpc*): Umschaltung in Ncc pontis (*Po*●) → Cerebellum, Info aus kontralateraler Grosshirnrinde über Bewegungsplan
- ③ **Pedunculus cerebellaris inf**
 - Tr spinocerebellaris post (*scp*), Teil des spinozerebellären Systems: propriozeptive Rückmeldung aus ipsilateralem Bewegungsapparat via Nc thoracicus post
 - Tr vestibulocerebellaris (*vc*): Info aus Gleichgewichtsorgan über Lage/Bewegung des Kopfes im Raum via ipsilaterale Ncc vestibulares (*V*●) (oder direkt aus Gn vestibulare)
 - motorisches Lernen: Tr spinoolivaris (*so*) + Fasern aus Ncc vestibulares (*V*●) liefern Ist/Feedback an Nc olivaris inf (*Oi*●): dieser berechnet Δ zu Soll/Korrektur-Signal → Fehler-Signal → gekreuzter Tr olivocerebellaris (*oc*) → Kletterfasersystem im Kleinhirn



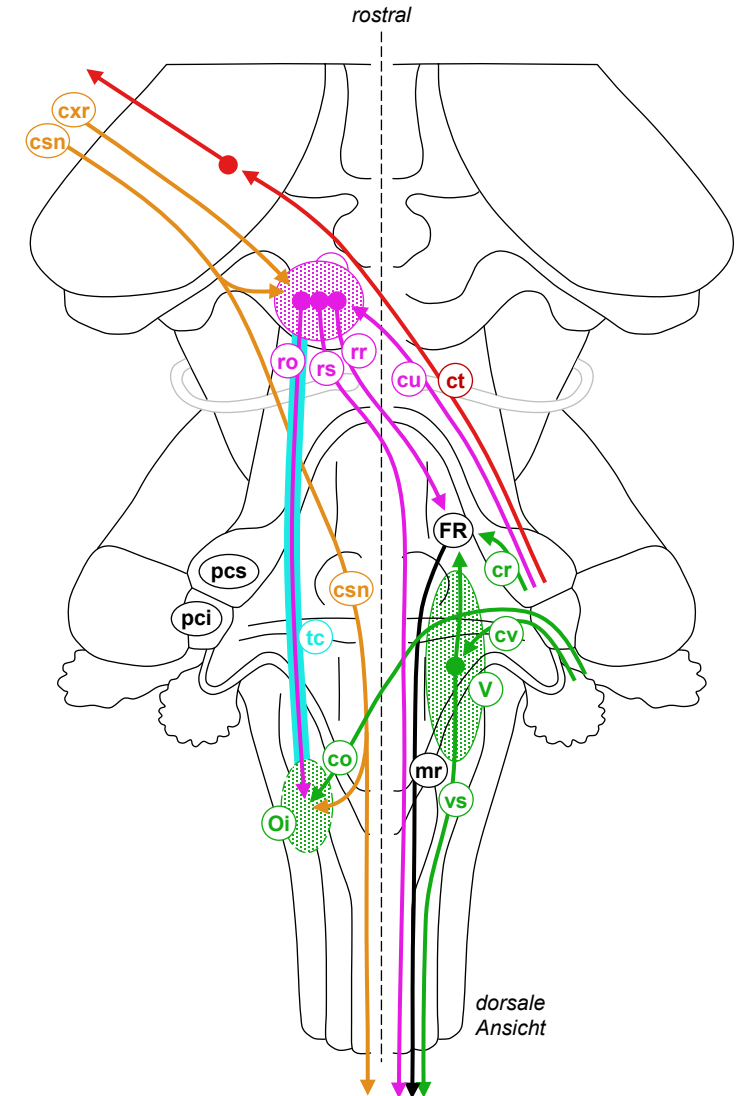
Efferente Bahnen des Kleinhirns

pcs Pedunculus cerebellaris sup.

- Tr cerebellothalamicus (= dentatothalamicus) (ct): → kontralateraler Thalamus, Teil einer Schleife Grosshirnrinde * → Pons * → Cerebellum → Thalamus → Grosshirnrinde (*Tr corticopontocerebellaris):
 1. Eingriff in motorische Planung,
 2. ev. Eingriff in Sinneswahrnehmung zur Unterscheidung zwischen selbst- und fremd- ausgelösten Sinneseindrücken?)
- Tr cerebellorubralis (cu): → kontralateraler Nc ruber (R):
 1. via Tr rubrospinalis (rs) direkt Eingriff in Zielmotorik (va distale Flexoren),
 2. via Tr rubroreticularis (rr) und mediales retikulospinales System (mr) indirekt Eingriff in Stützmotorik (proximale Muskelgruppen)
- Tr cerebelloreticularis (cr): bilateral → Formatio reticularis (FR):
 1. via Blickmotorische Zentren Eingriff in Blickmotorik
 2. via mediales retikulospinales System (mr) Eingriff in Stützmotorik

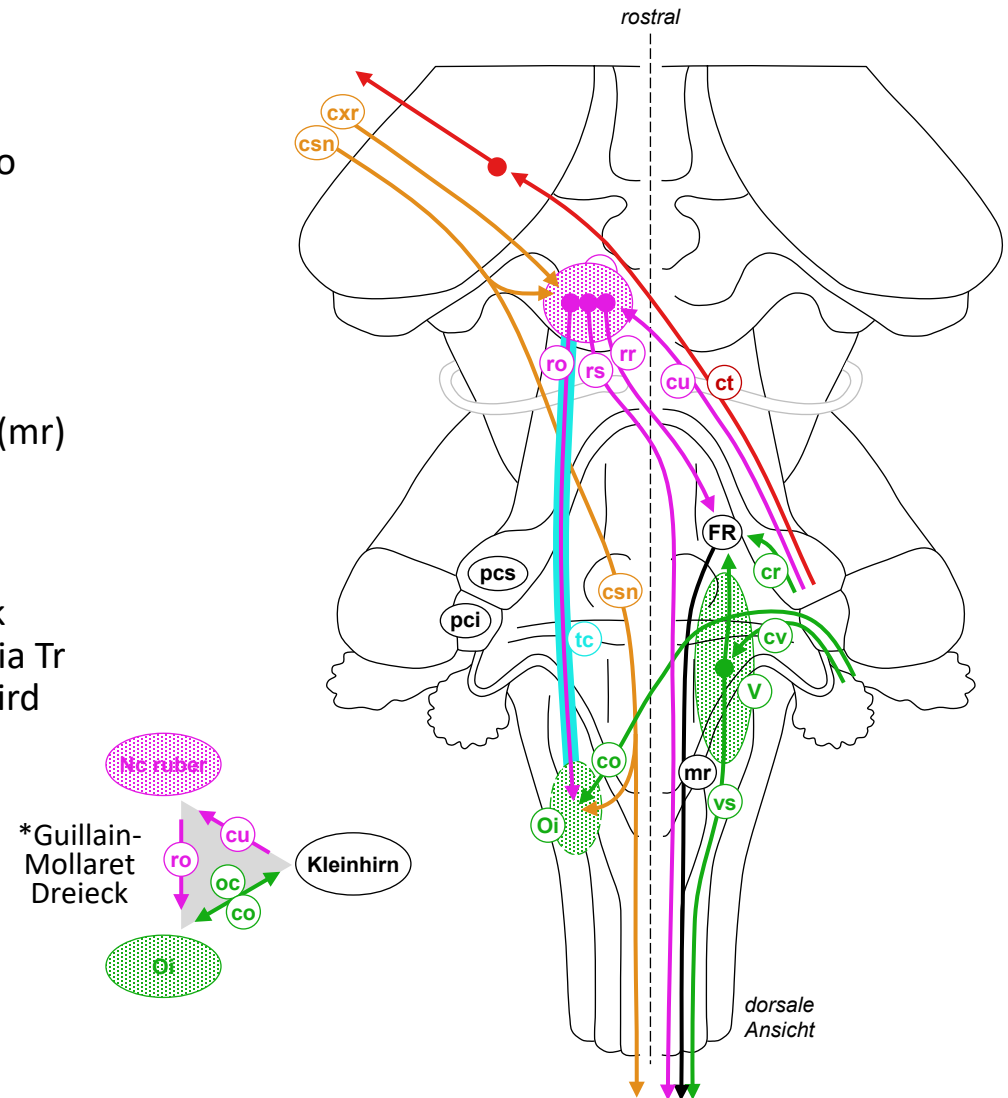
pci Pedunculus cerebellaris inf.

- Tr cerebellovestibularis (cv) bilateral → Nc vestibulares (V●):
 1. via Tr vestibulospinalis (vs)
 2. via Formatio reticularis (FR) und retikulospinales System (rs) Eingriff in Stützmotorik
- Tr cerebelloolivaris (= nucleoolivaris) (co) → kontralateraler Nc olivaris inf (Oi●)



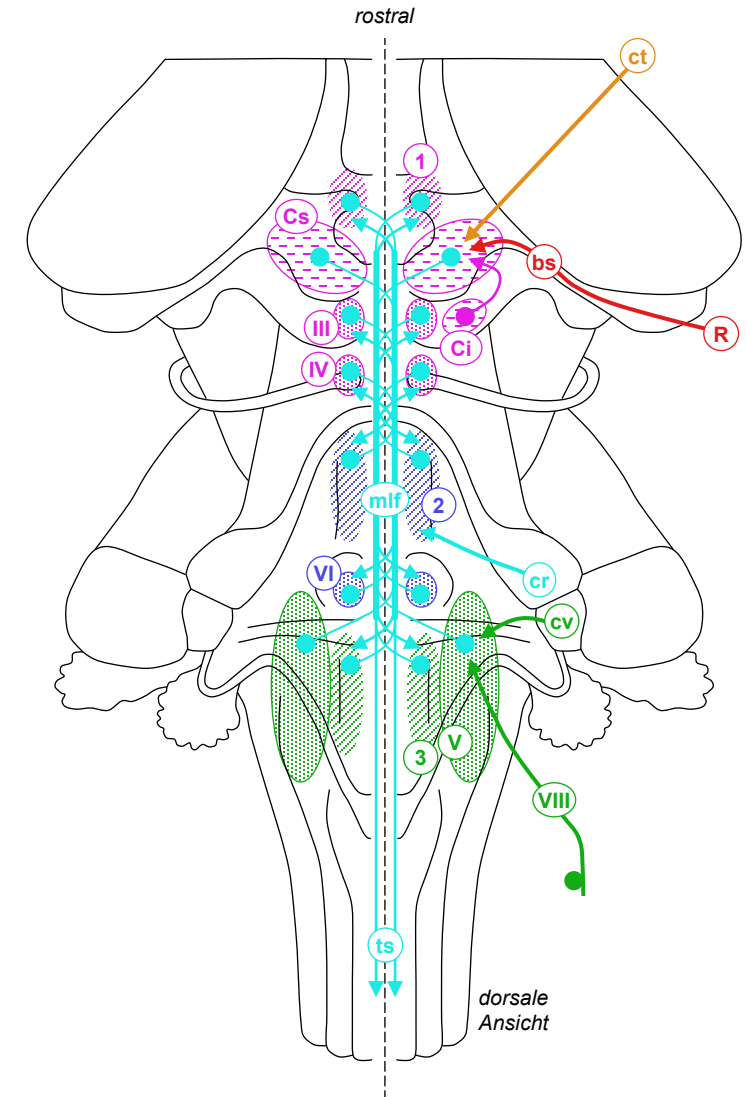
Nucleus ruber und Nucleus olivaris inferior

- wichtige integrative Hirnstammkerne des motorischen Systems
- Nucleus ruber
 - Ausser Input aus Cerebellum via Tr cerebellorubralis* (cu) auch Info über Bewegungsplan aus Grosshirnrinde via Tr corticorubralis (cxr) und via Kollateralen des Tr corticospinalis und -nuclearis (csn)
 - damit auch Relais in alternativem extrapyramidalem Weg für Signale aus Grosshirnrinde zu spinalen Motoneurone:
 1. via Tr rubrospinalis (rs) → via distale Flexoren (Zielmotorik),
 2. via Tr rubroreticularis (rr) und mediales retikulospinales System (mr) → proximale Muskelgruppen (Stützmotorik)
- Nucleus olivaris inferior
 - berechnet aus Differenz zwischen Soll/Korrektur- und Ist/Feedback Signalen Fehler-Signal, das als Grundlage für motorisches Lernen via Tr olivocerebellaris in Kletterfasersystem des Cerebellum gesendet wird
 - Soll/Korrektur Signale:
 1. Kollateralen aus Tr corticospinalis und -nuclearis (csn)
 2. Tr rubroolivaris* (ro) im Tr tegmentalis centralis (tc)
 3. Tr cerebelloolivaris* (= nucleoolivaris) (co)
 - Ist/Feedback Signale:
 - Tr spinoolivaris + Fasern aus Nucleus vestibularis



Blickmotorik

- Präokulomotorische Zentren in der FR
 - koordinieren motorische Kerne für Augenmuskeln bei Blickbewegungen
 - rostrale mesencephale FR (1) → vertikale Blickbewegungen, paramediane pontine FR (2) → horizontale Blickbewegungen, Nc praepositus hypoglossi (3) assoziiert mit Ncc vestibulares (V) → rasche Blickbewegungen, Fixieren und Verfolgen von Objekten
 - Fasciculus longitudinalis medialis (mlf) verbindet Hirnstammkerne ipsi- und kontralateral, insbesondere Ncc III - IV - VI und präokulomotorische Zentren
- Vestibulookulärer Reflex (VOR)
 - Blickstabilisierung durch Kompensation von Kopfbewegungen: N VIII → Ncc vestibulares (V●) → präokulomotorische Zentren, Störungen → Nystagmus
- Sakkaden
 - willkürlich: frontales Augenfeld → Tr corticotectalis (ct) → Colliculus sup (Cs), reflektorisch: Colliculus sup aktiviert durch Input aus Retina (R) via Brachium colliculi sup (bs) oder akustische Signale aus Colliculus inf (Ci)
 - Colliculus superior (Cs●) → präokulomotorische Zentren und via gekreuzten Tr tectospinalis (ts) → zervikales Rückenmark → Blickfolgebewegungen
 - Cerebellum 1. via Tr cerebelloreticularis (cr) → präokulomotorische Zentren zur Feinabstimmung der Blickbewegungen, 2. via Tr cerebellovestibularis (cv) → Ncc vestibulares zur Hemmung des VOR bei Blickbewegung auf neues Ziel



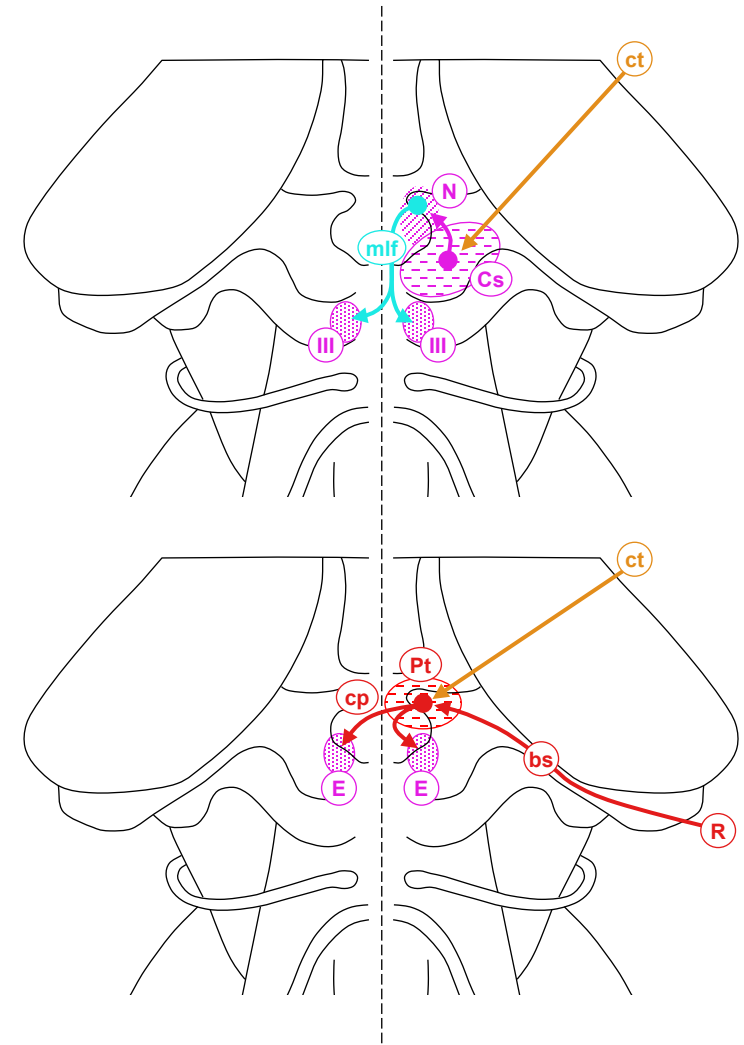
Visuelle Reflexe

• Naheinstellungsreaktion

- ausgelöst durch primäres visuelles Rindenfeld im Okzipitallappen des Grosshirns: Konvergenzreaktion + Akkomodation + Pupillenverengung
- Konvergenzreaktion: Tr corticotectalis (ct) → Colliculus sup (Cs●) → Naheinstellungsneurone (N●) im Konvergenzzentrum der mesencephalen FR (weiteres präokulomotorisches Zentrum) → Fasciculus longitudinalis medialis (mlf) → bilaterale Aktivierung der Motoneurone für M rectus mdl im Nc N III
- Akkomodation + Pupillenverengung: Tr corticotectalis (ct) → Area praetectalis (Pt●) (Kerngruppe rostral des Colliculus sup), von da ipsilateral und kontralateral via Commissura post (cp) → Nc accessorius N III = Nc Edinger-Westphal (E) → N III und Gn ciliare → M ciliaris (Akkomodation) und M sphincter pupillae (Pupillenverengung)

• Pupillenreflex

- Pupillenverengung durch Lichteinfall ins Auge
- Fasern aus Retina via Fasciculus opticus und Brachium colliculi sup (bs) → Area praetectalis (Pt●), von da wie oben → M sphincter pupillae. Ausfall des Parasympathicus am Auge → Weitstellung der Pupille (Mydriasis)
- Antagonist = M dilatator pupillae, via laterales retikulospinales System durch Sympathicus aktiviert («sympathetic tract»). Ausfall des Sympathicus am Auge → Horner-Syndrom mit enger Pupille (Miosis, Ausfall M dilatator pupillae) und schlaffem Lid (partielle Ptose, Ausfall M tarsalis)



Efferente Bahnen des Kleinhirns und Nucleus ruber

pcs Pedunculus cerebellaris sup.

- Tr cerebellothalamicus = dentatothalamicus (ct): → kontralateraler Thalamus (→ Grosshirnrinde, Eingriff in motorische Planung ... und Wahrnehmung?)
- Tr cerebellorubralis (cu): → kontralateraler Nc ruber (R)
- Tr cerebelloreticularis (cr): bilateral! → motorische Zentren der Formatio reticularis (FR): Eingriff in Blick- und via retikulospinales System (mr) in Stützmotorik

pci Pedunculus cerebellaris inf.

- Tr cerebellovestibularis (cv) bilateral! → Nc vestibulares (V●), von da → Tr vestibulospinalis (vs) und → Formatio reticularis (FR) (Eingriff in Stützmotorik)

• Nc ruber

- Input 1. aus Cerebellum via Tr cerebellorubralis (cu) und 2. Info über Bewegungsplan aus Grosshirnrinde via Tr corticorubralis (cxr) und via Kollateralen des Tr corticospinalis und -nuclearis (csn)
- Relais für Signale aus Cerebellum (und Grosshirnrinde) an spinale Motoneurone:
 1. Tr rubrospinalis (rs) direkt (Eingriff in Zielmotorik, va distale Flexoren),
 2. Tr rubroreticularis (rr) via mot. retikulospinales System (mr) (Eingriff in Stützmotorik)
- motorisches Lernen: Tr rubroolivaris (ro) im Tr tegmentalis centralis (tc) + Kollateralen aus Tr corticospinalis und -nuclearis (csn) liefern Soll/Plan-Signal (aus Cerebellum + Grosshirnrinde) für Nc olivaris inf (Oi●): dieser berechnet Δ zu Ist/Feedback-Signal → Fehler-Signal → gekreuzter Tr olivocerebellaris (oc) → Kletterfasersystem im Kleinhirn

