

# Überblick

## NERVENSYSTEM — ÜBERBLICK

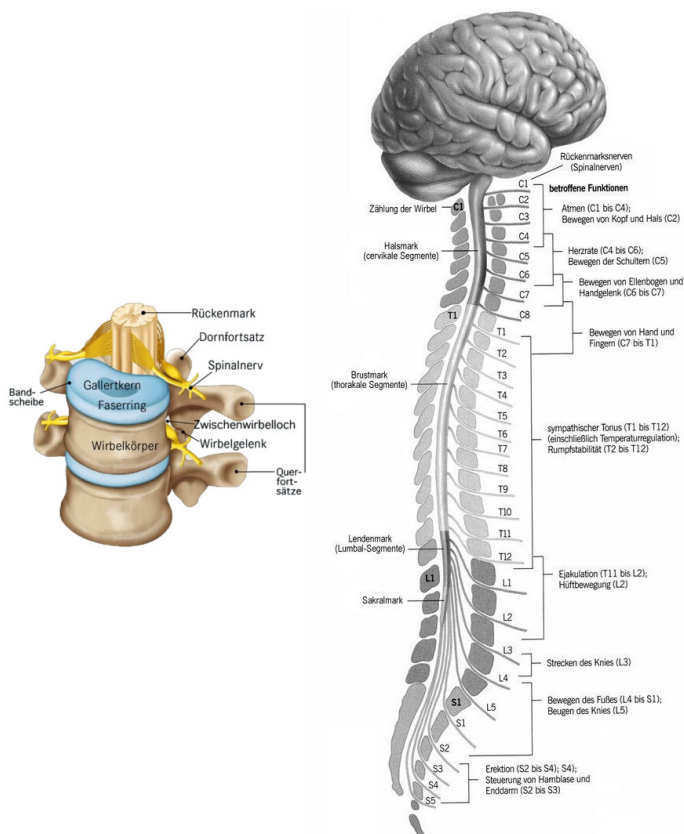
- Unterscheidung nach Lage
- **Zentrales Nervensystem (ZNS):** Gehirn und Rückenmark
- **Peripheres Nervensystem (PNS):** Außerhalb von Gehirn und Rückenmark
- **Autonomes Nervensystem (ANS):** Steuerung lebenswichtiger Funktionen

## AUTONOMES NERVENSYSTEM — UNTERTEILUNG

- **Sympathisches Nervensystem** (*fight or flight*): Bei Stressreizen → Notfallfunktionen des Organismus werden aktiviert:
  - Steigerung Puls + Blutdruck + Blutglukosespiegel (mehr Energie)
  - Steigerung Aufmerksamkeitslevel + Schweißproduktion
  - Vergrößerung Pupillen
  - Erhöhung Muskeltonus (= Grundspannung der Muskel)
- **Parasympathisches Nervensystem** (*rest and digest*): Stoffwechsel + Aufbau Körperreserven bei Erholung:
  - Reduktion Herz-Pumpleistung
  - Steigerung Darmaktivität

## DERMATOM + SPINALNERV

- **Spinalnerv:** Nerv, der zu einer bestimmten Seite und einem bestimmten Rückenmarksegment gehört (zw. 2 Wirbeln treten jeweils 2 Spinalnerven aus Wirbelkanal)
- **Dermatom:** Hautbereich, der von den sensiblen Fasern einer Spinalnervenzwurzel autonom versorgt wird.



## HIRNNERVEN

- Besondere Paar-Nerven mit Ursprung im Hirn (statt Rückenmark)
- Nummerierung: römisch von oben nach unten (je nach Austrittsstelle)

## NERVEN

- Kommunikationssystem des Körpers
- Geben Impulse zwischen ZNS und Körperbereichen weiter
- Bestehen aus vielen Neuronen
- Ernährung + Sauerstoffversorgung durch Blutgefäße
- **Aufbau:**
  - Nervenfaserbündel, umgeben von Bindegewebshülle
  - Alle Bündel umgeben von weiterer Bindegewebshülle (hält alle zusammen)

# Motorik und Sensorik

## ÜBERSICHT MOTORIK

- Motorik = Gesamtheit der Aktionen der Muskulatur
- **Sensomotorik:** Zusammenhang zwischen Sinneseindrücken und Muskelaktivität (Steuerungs- und Regelsysteme)
- **Psychomotorik:** Zusammenhang zwischen geistig-seelischer Verfassung und Körperbefindlichkeiten (Gestik, Körperhaltung,...)

## ÜBERSICHT SENSORIK

- Sensorik (in Technik) = Sensoren nutzen für Messung + Regulation von biologischen/technischen Systemen
- Üblicherweise: Verwendung von *Einheitssignalen*

## MUSKULATUR — STRUKTUR

- Motorische Endplatte: überträgt elektrischen Nervenfasers-Reiz als chemischen Impuls an Muskelfaser (chemische Synapse, Neurotransmitter Acetylcholin)
- Muskel → Muskelfaser-Bündel → Muskelfaser → Muskelfibrille → Sarkomer → Myosin- und Aktin-Filamente

## MUSKULATUR — ZELLULÄRE GRUNDLAGEN

1. ATP-beladene Myosinköpfchen über Troponin an Aktinfilament angedockt
2. ATP zerfällt zu ADP und P, Ca wird abgestoßen, ADP bleibt in Myosinköpfchen
3. Myosinköpfchen schlagen um → Kontraktion
4. ADP wird abgegeben, Myosinköpfchen in Endstellung
5. Aktin-Myosinbindung wird gelöst, Myosinköpfchen durch ATP neu gespannt → ATP macht Myosinköpfchen "weich"

## MUSKULATUR — KONTRAKTION

- = Aktinfilamente bewegen sich zu Zentrum von dickstem Filament
- Bewegung durch Klappbewegung Myosinköpfchen → Ruderbewegung
- ATP zur Lösung von Myosin und Aktin benötigt → Totenstarre wenn keine

## TROPONIN

- = An Muskelkontraktion beteiligtes Strukturprotein
- Tropomyosinfaden blockiert Myosinbindungsstelle
- Muskelkontraktion → Anstieg  $Ca^{2+}$ -Konzentration → Bindung  $Ca^{2+}$  an Troponin → Troponinmoleküle bewegen Tropomyosinfaden → Kontaktstelle zwischen Aktin und Myosinköpfchen frei

## MOTORCORTEX

- = abgrenzbarer Großhirnrinde-Bereich und funktionelles System
- steuert willkürliche Bewegungen
- Zusammenstellung komplexer Bewegungsabfolgen aus einfachen Mustern
- Reizleitung Motorkortex → Rückenmark → Nerv (siehe motorische Endplatte)
- **Primär-Motorische Rinde (M1):** unmittelbare Bewegungssteuerung (liegt überwiegend auf *gyrus praecentralis*)
- **Supplementär-Motorische Rinde (SMA):** Erstellen Bewegungsabfolgen aus Bewegungs-Fundus + Vorbereitung willkürlicher (bewusst + unbewusst) Bewegungen

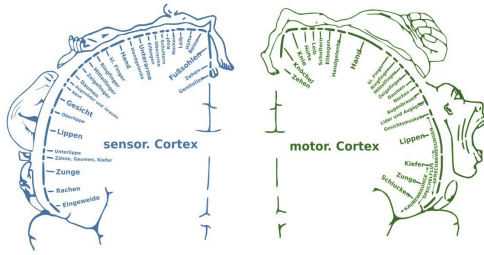
## SOMATOSENSORISCHER CORTEX

- = abgrenzbarer Großhirnrinde-Bereich
- zentrale Verarbeitung haptischer Wahrnehmungen (Tasten + Temperatur)
- **Mechanorezeptoren:** Sinneszellen, die mech. Kräfte in Signale wandeln
- Berührungs- und Druckrezeptoren:
  - Vater-Pacini-Körperchen: Mechanorezeptoren auf Haut, besonders gut bei Vibrationsempfindungen
  - Merkelsche Scheiben: Mechanorezeptoren auf Haut, Druckrezeptoren
  - Haarfollikelrezeptoren, ...
- Wärmerezeptoren:
  - Krausche Endkolben: Ermitteln Temperatur auf Hautoberfläche

## SOMATOTOPIE

- = Abbildung Körperregionen/-strukturen auf Nervenzellenareale im Gehirn

- **Homunculus:** Modell neuronale Beziehung zwischen kortikalen Bereichen und Skelettmuskeln/sensorischen Feldern  
→ Benachbarte Körperregionen auf benachbarte Kortexgebiete abgebildet
- Unterscheidung sensorischer und motorischer Cortex



## NERVENZELLE — AUFBAU

- **Soma:** Zellkörper, enthält Zellkern + verschiedene Organellen (raues/glattes ER, Mitochondrien,...)
- **Dendriten:** Von Soma auswachsende, fein verästelte Zellfortsätze  
→ Kontaktstellen für andere Zellen, Erregungsübertragung über Synapse
- **Axon:** Zellfortsätze, entspringen Axonhügel, Weiterleitung Erregung an andere Zellen
- **Synaptischer Spalt:** Zwischenraum zwischen präsynaptischer Membranregion (Präsynapse) und postsynaptischer/subsynaptischer Membranregion (Postsynapse) bei einer nachgeschalteten Zelle
- **Neurotransmitter:** Botenstoffe an chemischen Synapsen für Erregungsübertragung (Transmission): Acetylcholin, Noradrenalin, Dopamin, Serotonin, ...  
1. Senderzelle schüttet bei Erregung Neurotransmitter präsynaptisch aus  
2. Neurotransmitter überbrücken synaptischen Spalt  
3. Empfängerzellen-Rezeptoren empfangen postsynaptisch Neurotransmitter

## AKTIONSPOTENTIAL, ELEKTRO-CHEMISCHE MECHANISMEN

- **Zellmembran:**
  - Lipid-Doppelschicht, lipophile Seite innen, hydrophile Seite außen
  - Proteine mit verschiedenen Funktionen in Lipid-Doppelschicht integriert (z.B. Ionenkanäle)
- Ionenkonzentration unterschiedlich → viele  $K^+$ , wenige  $Na^+$  im Zellinneren
- Ionenpumpe hält Konzentrationsgefälle aufrecht  
→ Energiegewinnung durch ATP-Spaltung
- Einige  $K^+$ -Kanäle immer offen →  $K^+$ -Ionen diffundieren aus Zelle heraus
- Gleichzeitig wenige  $Na^+$ -Kanäle offen → kaum  $Na^+$ -Ionen zum Ausgleich  
→ Zellinneres verliert positive Ladungen, negative Spannung entsteht
- **Ruhepotential:** Potentialdifferenz bremst Ausstrom von  $K^+$   
→ Gleichgewichtszustand zwischen nach außen gerichteter Diffusions-Tendenz und nach innen gerichteter elektrischer Anziehung der  $K^+$
- **Depolarisation:**
  - Axon durch elektrischen Reiz leicht depolarisiert → einige spannungsgesteuerte  $Na^+$ -Poren öffnen sich
  - Depolarisation erreicht Schwellwert → alle  $Na^+$ -Kanäle offen, Anzahl durchlässiger  $K^+$ -Poren zuerst gleich  
→ Überschuss positiver Ladung im Inneren des Axons
- **Repolarisation:**  $Na^+$ -Poren schließen nach kurzer Zeit wieder, alle noch geschlossenen  $K^+$ -Kanäle öffnen → schneller  $K^+$ -Ausstrom führt zu Rückkehr des Membranpotentials zu Ruhewert

## NERVENLEITUNG

1. Reizung an bestimmter Stelle → Aktionspotential → Angrenzung positiver und negativer Ladungen ohne trennende Membran
2. Ausgleichsströme entstehen → Membranpotential benachbarter Stellen wird erniedrigt → Schwellwert wird erreicht, Aktionspotential auch bei Nachbar
3. Signal wird weiterverbreitet

## SIGNALMODULATION

- Aktionspotential hat immer selbe Amplitudenform
- Information codiert über Frequenz + Dauer der Entstehung von Aktionspotentialen
- **Gewöhnung (Habituation):** verminderte Neurotransmitter-Ausschüttung bei wiederholter Reizung
- **Sensibilisierung:** erhöhte Ausschüttung bei Wiederholung
- Habituation + Sensibilisierung kurzfristig, langfristige Änderungen durch strukturelle Veränderung der Synapsenregion

## SYNAPSE

- Neurotransmitter in Nervenzelle produziert, wandern zu Axon-Endköpfchen
- Synapse: Umwandlung elektrisches in chemisches Signal
  1. Aktionspotential → Freisetzung Neurotransmitter
  2. Öffnung spannungsaktivierter  $Ca^{2+}$ -Kanäle → Anstieg intrazelluläres  $Ca^{2+}$
  3. Vesikel binden an präsynaptische Membran, Vesikel-Inhalt wird in synaptischen Spalt freigesetzt
- Chemische Botenstoffe diffundieren durch synaptischen Spalt zu angrenzenden Zellen → bewirken dort auch elektrischen Impuls
- Informationsübertragung meist chemisch, gibt aber auch elektrische
- **Elektrische Synapse:** Aktionspotential wird direkt auf nachfolgende Zelle über direkte Verbindungskanäle weitergeleitet (*gap junctions*)
- **Chemische Synapse:** Unterscheidung zwischen exzitatorischen (aktivierende) und inhibitorischen (hemmende) Synapsen
  - Effektorsynapsen: Enden an Drüsen/Muskelzellen
  - Rezeptorsynapsen: Zwischen Nerven- und Sinneszellen
  - Interneuronale Synapsen: Stellen Kontakt zwischen einzelnen Nervenzellen (vor allem im Gehirn) her

## GANGLION

- = Ansammlung von Nervenzellkörpern → Verdickung Nervenstrang
- Kommt besonders im PNS vor
- **Prä-Ganglionär:** Nervenfasern/Neuronen von vegetativem Nervensystem, ziehen von ZNS zu Ganglion
- **Post-Ganglionär:** Nervenfasern/Neuronen von vegetativem Nervensystem, ziehen vom Ganglion zu Zielorgan

## HAUT

- **Oberflächensensibilität:** Empfindungen, die über Hautrezeptoren wahrgenommen werden (Mechano-, Thermo-, Schmerzrezeptoren)
- **Tiefensensibilität:** Wahrnehmung bestimmter Reize aus Körperinnerem (Lage-, Kraft-, Bewegungssinn)
- **Zwei-Punkt-Diskrimination:** Fähigkeit, zwei taktile Reize räumlich unterscheiden zu können (hoch z.B. an Lippe, gering z.B. am Hintern)

## Sinnesorgane

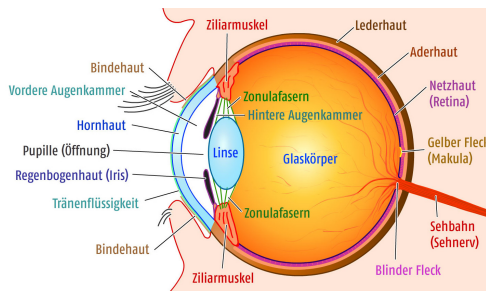
### GERUCHSSINN

- **Nase:** Atmung (Reinigung + Filterung) + Geruchswahrnehmung
- **Geruchswahrnehmung:**
  - komplexer chemisch-neuraler Vorgang
  - Riechschleimhaut: Luft scheidet Geruchsmoleküle an Rezeptormoleküle ab
  - Auf einzelne Duftstoffe ansprechende Rezeptoren (>350 Rezeptortypen) bilden durch Riechköpfchen Matrixstruktur an Oberfläche der Riechschleimhaut
  - Vereinigung Duftmolekül + Rezeptor → Kaskade in Rezeptorzellen → neuronale Signale über Riechnerv-Axone an Großhirn
  - Olfaktorisches System hochkomplex, Verbindungen zu Hypothalamus (Nahrungsaufnahme + Sexualverhalten) und limbischem System (Instinktiverhalten + Gedächtnisleistungen)

### GESCHMACKSSINN

- 5 Grundqualitäten:
  1. **Süß:** Zucker + Derivate, Aminosäuren, Peptide, Alkohole
  2. **Salzig:** Speise- + Mineralsalze
  3. **Sauer:** saure Lösungen, organische Säuren
  4. **Bitter:** Bitterstoffe, Alkaloide, Glycoside (Chinin, Wermut)
  5. **Umami:** Glutaminsäure, Asparaginsäure  
! Scharf kein Geschmack, sondern Schmerzsignal
- **Primärer gustatorischer Cortex (Inselcortex):** für Geschmackswahrnehmung zuständige Hirnstruktur, mit anderen Sinneindrücken (z.B. Tast- und Temperaturinformationen) aus Mundhöhle integriert
- **Sekundärer gustatorischer Cortex:** in orbito-frontalem Cortex (überlappt mit sekundären olfaktorischen Cortex)

## VISUELLE WAHRNEHMUNG — AUGE

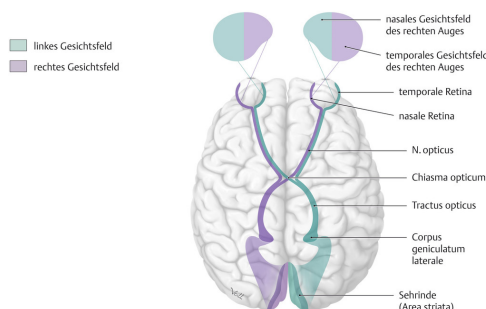


- **Augapfel:** kugelförmig, kardanische Aufhängung → beliebig drehbar
- Auge besteht aus drei Schichten:
  1. **Äußere Augenhaut:**
    - Durchsichtige Hornhaut (*cornea*) dort, wo Licht ins Auge tritt
    - Geht über in weiße Lederhaut (*sclera*), größter Teil der Augapfelhülle — teils von Bindehaut bedeckt, nur Cornea wird direkt von Tränenflüssigkeit benetzt
    - Tränenflüssigkeit: fließt von Tränendrüse über *canaliculi lacrimalis superior* und *inferior* (oberer + unterer Tränenkanal) in Nasenhöhle ab
  2. **Mittlere Augenhaut uvea:**
    - hinten gut durchblutete Aderhaut → Nährstoffversorgung
    - Übergang zu Ziliarkörper (*corpus ciliare*) → Aufhängung Augenlinse
    - vorne Regenbogenhaut (*iris*) + Pupille → Regulierung Lichteinfall
  3. **Innere Augenhaut:**
    - Netzhaut + Retina, enthält Lichtsinneszellen (Photorezeptoren)
    - Blinder Fleck dort, wo Sehnerv das Auge verlässt (Sehnervpapille)
    - Gelber Fleck (*fovea*): Stelle des schärfsten Sehens
- **Sensorzellen** in Retina:
  - Stäbchen: Lichtsensoren (Hell-Dunkel-Unterscheidung), im peripheren Bereich
  - Zapfchen: Farbsensoren (3 Gruppen, violett-grün-gelb), im Fovea-Bereich

## VISUELLE WAHRNEHMUNG — WEITERLEITUNG ZUM HIRN

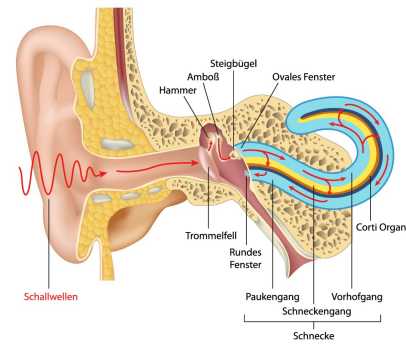
- Zapfchen + Stäbchen ergänzt durch Rezeptoren, an welche spezielles G-Protein gebunden ist (bestehen aus Bestandteilen von Vitamin A + Opsin-Protein)
- **Ablauf:**
  1. Eintreffende Photonen lösen in Vitamin A Strukturveränderung aus → Opsin kann mit Vitamin A agieren, Enzym-Ausschüttung
  2. Negative Ladung in Zellmembran ⇒ optisches zu elektrischem Signal
  3. Auswertezellen in Netzhaut: verarbeiten elektrisches Signal
  4. Weiterleitung Ganglienzellen, Fortsätze bilden II. Hirnnerv (*nervus opticus*)

## VISUELLE WAHRNEHMUNG — VISUELLES SYSTEM



- **Sehrinde:** Empfängt elektrische Impulse über Sehbahnen
- **Sehnervenkreuzung (chiasma opticum):** Hier kreuzen sich nach Eintritt in Schädelhöhle die Sehnerven der beiden Augen
- Äußere Fasern verlaufen weiter, Innere kreuzen zur Gegenseite → Fasern linke Netzhauthälfte beider Augen in linke Hirnhälfte, rechte analog
- **Tractus opticus:** Weiterleitung Nervenfasern zu **seitlichen Kniehöckern (corpus geniculatum laterale)**
- breite Fächerung der Sehstrahlung hin zur **Sehrinde** (visueller Cortex)

## GEHÖRSINN — OHR



- **Äußeres Ohr** (Ohrmuschel, Ohrknorpel, äußerer Gehörgang): Einfangen von Schall, Codieren der Einfallsrichtung
- **Mittelohr** (Trommelfell, Gehörknöchelchen, Eustachische Röhre): Mechanische Impedanzwandlung → optimale Übertragung Außenohr-Innenohr
- **Innenohr** (Labyrinth: Gehörschnecke (*cochlea*), Bogengänge, Hörnerv): Gehörschnecke setzt Schall in Nervenimpulse um, Innenohr beherbergt Gleichgewichtsorgan (besteht aus drei Bogengängen + zwei Aussackungen (*utricle*, *sacculus*))
- Steigbügel = Übertragungselement zur Gehörschnecke
- Schwingungen erregen Haarzellen in Cochlea, welche mit Hörnerv verbunden sind → Ausschüttung Neurotransmitter → Weiterleitung ans Gehirn

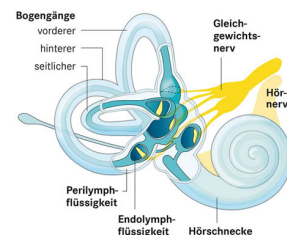
## GEHÖRSINN — COCHLEA + EINORTSTHEORIE

- Frequenzabhängiges Schwingungsmaximum zw. Steigbügel und *helicotrema*
- Hohe Frequenz → nah bei Steigbügel, tiefe Frequenz → nah bei *helicotrema*
- Anregung Sinneszellen bei Maximum → erregte Zellen frequenzabhängig → Konstante Töne weniger angenehm als variierende

## GEHÖRSINN — AUDITIVES WAHRNEHMEN

- **Auditiver Cortex:** Auditorische Fasern rückverschaltet → Impulse beider Ohren kommen in beiden auditiven Cortices an → Richtungshören, Resthörempfinden bei Schäden
- **Oberer Olivenkomplex:** Rücksendung von Fasern zum Innenohr → Empfindlichkeitsmodulierung

## GEHÖRSINN — GLEICHGEWICHTSSINN



- **Utriculus + Sacculus:** besitzen von Gallertmasse umhüllte Sinneshaarzellen
- **Calciumkarbonatkristalle** auf Sinneshaarzellen, umgeben von weniger dichter Flüssigkeit
- Translationsbewegung → Kristalle hinken gegenüber Bewegung nach → Beugung + Reizung Sinneshaarzellen
- Rotatorische Bewegungen: Ermittlung durch 3 Bogengänge
- Signale über VIII. Hirnnerv in Vestibularis-Kerne im Stammhirn weitergeleitet
- Nutzung zusätzlicher Informationen von Augen, Kopf und Körperstellung zur eindeutigen Lagebestimmung

## Gehirnfunktionen

### DENKEN UND LERNEN

- **Denken:** Geistige Modelle bilden + in Verbindung setzen (psychologische Grundfunktion)
- **Lernen:** Erwerb von geistigen, körperlichen und sozialen Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten

## INTELLIGENZ

- = Geistige Leistungsfähigkeit; Fähigkeit, Probleme und Aufgaben effektiv + schnell lösen und in ungewohnten Situationen zurecht finden zu können
- **Neuropsychologie:** Neuronale Grundlagen von Intelligenz (Verarbeitung von Signalen und Informationen)
- **Großhirn** (Neocortex): Neurale Leistung für Intelligenz besonders relevant
- **Kleinhirn, Stammhirn** + andere phylogenetisch ältere Bereiche: für Intelligenzforschung weniger relevant
- **Dezentral:** Intelligenz nicht in bestimmten Gehirnbereichen lokalisiert
- **Generalfaktor g** vs. **multiple Intelligenzen:** Manche Forscher vermuten bereichsübergreifenden Intelligenzfaktor, andere vermuten unabhängige Intelligenzen (verbales Verständnis, räumliches Vorstellungsvermögen, ...)
- **Erbe** vs. **Umwelt:** Intelligente Personen sterben mit mehr Synapsen
- **Intelligenzquotient:** Maß zur Bewertung intellektuelles Leistungsvermögen
  - Durchschnitt 100
  - Standardabweichung 15
  - Frauen und Männer gleicher Mittelwert, Männer größere Varianz

## MEDIKAMENTE

- **Methylphenidat** (Ritalin): steigert Kapazität des räuml. Arbeitsgedächtnis und Planungsfähigkeit
  - Amphetamin-ähnliche Substanz, hauptsächlich bei ADHS eingesetzt
  - Anwendung bei Narkolepsie, Steigerung Antidepressia-Wirksamkeit
  - Vertrieben als Ritalin
- **Modafinil:** steigert Leistung bei Mustererkennung + räumliches Planen, verbessert Kurzzeitgedächtnis für Zahlen
  - Gehört zur Psychostimulanzien-Gruppe
  - Behandlung bei Narkolepsie
  - hält wach und fördert Konzentration → *brain-booster*
- **Physostigmin** (Acetylcholinesterase-Hemmer): verbessert Arbeitsgedächtnis bei Gesichtserkennung
  - Hydrolisiert Acetylcholin zu Essigsäure und Cholin
  - wirkt ähnlich wie Insektizid Parathion (E 605) oder chemische Kampfstoffe Sarin und Tabun
  - Verursacht erhöhte Acetylcholin-Konzentration in synaptischem Spalt und damit eine Erhöhung des Parasympathikotonus (Erregung)
  - Krämpfe im Magen-Darm-Trakt, Tod durch Atemlähmung
- **Erythropoetin:** steuert Bildung von Erythrozyten aus Vorgängerzellen in Knochenmark, verursacht eine Woche nach einmaliger Injektion Wortflüssigkeit (Vermutung: Erhöhung Neuroplastizität)
- **GTS-21:** Steigert Leistungsfähigkeit Arbeitsgedächtnis, in Zulassungsphase

## KOGNITION UND GEDÄCHTNIS

- **Kognition:** Oberbegriff höhere geistige Funktionen (Denken, Erkennen, Wahrnehmung, Verstand)
- Abgrenzung zwischen kognitiven und geistigen Fähigkeiten
  - Unterschied zwischen Gehirn und Geist
- **Gedächtnis:** Fähigkeit, Wahrnehmungen (Sinnesreize) + psychische Erlebnisse zu merken (engrammieren) + erinnern (ekphorieren)
  - **Amnesie:** Gedächtnisverlust
  - **Sensorisches Gedächtnis** (Ultrakurzzeitgedächtnis): speichert Informationen 5ms-20sec, elektrische Impulse
  - **Arbeitsgedächtnis** (Kurzzeitgedächtnis): speichert Informationen Minuten bis Tage, Bildung von Proteinen in speziellen Neuronen
  - **Langzeitgedächtnis:** speichert Informationen über Jahre, Einlagerung der Proteine in Neuronen

## GEHIRN — GROSSHIRN

- = *cerebrum, telencephalon*
- **Großhirnrinde:** äußere, Nervenzellen-reiche Schicht (graue Substanz)
  - Frontallappen: motorische Funktionen
  - Temporallappen: primärer auditorischer Cortex, Wernicke-Sprachzentrum, wichtige Gedächtnis-Strukturen (Hippocampus)
- **Lateralisation:** Zuordnung zwischen körperlichen/mental Funktionen und Großhirnhemisphäre
- **Balken** (*corpus callosum*): dicker Nervenstrang, verbindet beide Hemisphären

## GEHIRN — ZWISCHENHIRN

- Thalamus + Hypothalamus
- Zentren für Riech-, Seh- und Hörbahn, Oberflächensensibilität, Tiefensensibilität, emotionale Empfindung
- Weitere überlebenswichtige Empfindungen, Triebe und Instinkte (Hunger, Durst, Schlaf- und Fortpflanzungsbedürfnis, Überlebensinstinkt)

## GEHIRN — KLEINHIRN

- = Cerebellum
- **Kleinhirnrinde:** äußere, Nervenzellen-reiche Schicht (graue Substanz)
- **Steuerung Motorik:** Koordination + Feinabstimmung, unbewusste Planung, Erlernen von Bewegungsabläufen

## GEHIRN — STAMMHIRN

- = Mittelhirn
- Steuert überlebenswichtige Funktionen (Atmung, Blutdruck, Reflexe, ...)

## HIPPOCAMPUS

- = Struktur, die Erinnerungen generiert
- Ort des Informationszusammenflusses verschiedener Sensorsysteme
- Verarbeitung von Informationen, Zurücksenden an Cortex
- Cortex speichert Gedächtnisinhalte an verschiedenen anderen Stellen
- wichtig für Gedächtniskonsolidierung (Überführung von Kurzzeit- zu Langzeitgedächtnis)
- **Anterograde Amnesie:** beide Hippocampi zerstört → keine neuen Erinnerungen formbar, alte Erinnerungen bleiben erhalten

## DEMENZ

- = Oberbegriff für Erkrankungsbilder mit Verlust geistiger Funktionen (Denken, Erinnern, Orientierung, Verknüpfung Denkinhalte)
  - alltägliche Aktivitäten nicht mehr eigenständig durchführbar
- **Alzheimer-Demenz:** Häufigste Demenz-Form
  - Ursache: Störung im Glutamat-Gleichgewicht
    - Absterben von Hirnzellen
    - Ablagerung von Eiweiß-Spaltprodukten (Amyloide) im Gehirn
    - Behinderung Reizübertragung
    - Entstehung seniler Plaques
  - Konsequenzen: immer weniger Acetylcholin wird produziert
    - Glutamatkonzentration zwischen Nervenzellen durchgehend erhöht
    - Signale können nicht richtig erkannt/weitergeleitet werden
    - Nervenzelle stirbt aufgrund von Überreizung ab
  - Behandlung: Störungen durch Antidementiva (z.B. Memantine) mindern
- **Vaskuläre Demenz:** Durchblutungsstörung, plötzliche Hirnleistungs-Verschlechterung → schlaganfallartige Symptomatik
- **Sekundäre Demenzen:** Verursacht durch nicht-hirnorganische Grunderkrankungen
  - Rückbildung Gedächtnisstörung nach erfolgreicher Behandlung möglich
  - Mögliche Ursachen: Stoffwechselstörungen, Schilddrüsenerkrankungen, B12-Mangel, Alkoholismus, andere chronische Vergiftungen, Infektionskrankheiten (Hirnhautentzündungen, AIDS, ...)
- **Morbus Pick, Fronto-Temporale Demenz** und weitere

## HIRNHÄLFTEN

- **Split-Brain-Entdeckung:** Großhirn besteht aus zwei physiologischen Hemisphären mit unterschiedlichen Funktionen
- Erkenntnisse:
  - Stärkere Beanspruchung *beider* Seiten
    - Entwicklung einer Hirnhälfte kommt auch anderer zugute
  - Stärkere Beanspruchung unterschiedlicher Funktionsbereiche
    - Erhöhung Gesamtkapazität Gedächtnis
- Schul- und Bildungssystem beansprucht hauptsächlich linke Seite
- **Gedächtnistraining:** Soll gefühl- und fantasieorientierte rechte Gehirnhälfte besser in Merkprozess einbeziehen

## NEUROINFORMATIK UND ROBOTIK

- **Neuroinformatik:** Informationsverarbeitung in neuronalen Systemen zur technischen Anwendung → Arbeitsweise Gehirn simulieren
- **Künstliche Intelligenz:** Maschinen/Programme mit "intelligenten" Ergebnissen entwickeln
- **Computational Neuroscience:** Aus Neurobiologie, Verständnis biologisch-neuronaler Systeme durch mathematische Modelle
- **Robotik:**
  - Stereotaktische Operationen: Platzieren von Ableitelektroden
  - Endoskopische Operationen: Instrumente gezielt führen + exakt halten



# Neurodiagnostik

## DIAGNOSTIK

Unterscheidung invasive und nicht-invasive Diagnostik

- **Lumbalpunktion** (Liquordiagnostik): Hohlnadel wird in Lumbalkanal auf Lendenhöhe eingeführt + Nervenwasser entnommen
- **Ultraschall**
- **Elektrophysiologie**
- **Positronen-Emmissions-Tomographie** (PET, Radiologische Diagnostik):
  1. Zerfall eines Radionuklids → Positron entsteht
  2. Positron trifft auf Elektron → Annihilation
  3. Zwei Protonen entstehen (Gammastrahlung) → Abstrahlung
  4. Winkel 180° zwischen Gammastrahlen → treffen je auf Detektor

## ELEKTROPHYSIOLOGIE

- = Neurophysiologie-Teilbereich, befasst sich mit elektrochemischer Signalübertragung in Nervensystem
- **Klinische Elektrophysiologie:** Neurologie-Teilbereich, Unterschiedliche Methoden zur Messung ganzer polysynaptischer zentraler Nervenbahnen + peripherer Nerven
    - Methoden: Elektroenzephalographie (EEG), Messung evozierter Potenziale (somatosensorisch, motorisch, visuell, akustisch evoziert), Elektroneurographie (ENG) mit Messung Nervenleitgeschwindigkeit (NLG), Elektromyographie (EMG)

## ELEKTROENZEPHALOGRAPHIE (EEG)

- Wegen CT + MRT nicht mehr häufig eingesetzt
- Aufzeichnung Hirnströme als Maßeinheit elektrischer Hirnaktivität (5-100  $\mu$ V)
- **Oberflächen-EEG:** Messung mit auf Kopfhaut aufgebrachten Elektroden
- Spannungsunterschiede zwischen Elektroden (= Hirnströme) auf Monitor wellenförmig sichtbar
- Einteilung Hirnströme nach Frequenz in 3-4 Rhythmen
- **Frequenz schnell** → Person wach, Hirnaktivität normal
- **Frequenz langsam** → Schlafstadium oder krankhafter Befund
- **Alpha-Wellen** (8-13 Hz): wach, entspannt
- **Beta-Wellen** (14-30 Hz): Medikamente oder fehlende Entspannung
- **Gamma-Wellen** (>30 Hz): Starke Konzentration
- **Theta-Wellen** (4-7 Hz): bei Kindern/Jugendlichen normal
- **Delta-/Subdelta-Wellen** (0.5-3 Hz): Tiefschlaf, Trance
- **Spiked/Sharp Waves:** Epilepsie

## NERVENLEITGESCHWINDIGKEIT (NLG)

- **Prinzip:**
  1. Kurzer elektrischer Impuls am Arm oder Bein → Reizung Nerv
  2. Nerv depolarisiert → Weiterleitung in beide Richtungen→ Messung ausgelöste Spannungsänderung entlang Nerv
- **Berechnung:**
  - Nerv an zwei Orten stimulieren
  - Reizantworten im Muskel messen
  - Differenz Leitungszeiten (Latenz, ms) und Reizorte (mm) bestimmen
  - $NLG = \Delta mm / \Delta ms$
- **Verwendung:** Ort + Schwere von Nervenschaden ermitteln, z.B. Polyneuropathie oder Nervenkompressionssyndrom (Karpaltunnelsyndrom)

## ELEKTROMYOGRAPHIE (EMG)

- = elektrische Muskelaktivität messen durch Einstechen von dünner Nadelelektrode in Muskel → Ableitung von Potentialschwankungen einzelner motorischer Einheiten durch konzentrische Nadelelektroden
- Feststellbar, ob Muskel- oder Nerv-Erkrankung bei Muskelschwäche → Differenzierung zwischen Myo- und Neuropathien
  - **Intraoperativ:** EMG als Monitoring von Rückenmarksfunktion bei Wirbelsäulenoperation oder Registrierung Hirnnervenfunktionen bei Hirnstamm-Operationen

## EVOZIERTE POTENTIALE

- **Prinzip:**
  1. Sinnesreiz → el. Potentialänderung in sensorischen Großhirnrinde-Arealen
  2. Wesentlich kleinere Amplituden (schwer erfassbar)→ Evozierte Aktivität =  $\emptyset$  mehrere evozierte Potentiale

- **Somatosensorisch evozierte Potentiale** (SSEP): Beurteilung zentrale somatosensible Leitungsbahnen + peripherer, sensibler Nerven
- **Visuell evozierte Potentiale** (VEP): Beurteilung Sehnerv und -bahn

## SONOGRAPHIE (ULTRASCHALL)

- **Ultraschall:** Schall oberhalb des hörbaren Frequenzbereichs (20 kHz - 1GHz)
- **Sonographie** (Echographie): Ultraschall als bildgebendes Verfahren für medizinische Untersuchung organisches Gewebe
- **Ultraschallgerät:** Elektronik Schallerzeugung, Signalverarbeitung + -darstellung, Schnittstellen für Monitor/Drucker/Speichermedien, auswechselbare Ultraschallsonde (Schallkopf)
- **Schallkopf:**
  - Kristalle, die bei Wechselspannung mitschwingen (piezoelektrischer Effekt)
  - Sendet Schwingungen → unterschiedliche Reflektion d. Organe/Gewebe
  - Impedanz: Wellen-Ausbreitung entgegenwirkender Widerstand
  - Grauwert = Reflexionsstärke (hohe Reflexion an Grenzflächen zweier Stoffe mit großem Impedanzunterschied)
- **Dopplereffekt:** Bestimmung Blutflussgeschwindigkeit → reflektiertes Signal um Frequenz relativ zu ausgesandter verschoben (Dopplersonographie)

## RÖNTGEN

- **Röntgendiagnostik:** Körper mit kurzweiliger, unsichtbarer Strahlung durchstrahlen (Wellenlänge 0.01 - 10nm)
- **Durchleuchtung:** Durchstrahltes Gewebe schwächt Strahlung ab → Darstellung mit fluoreszierendem Schirm/Bildverstärker
- **Radiographie:** Sichtbar-machen auf Filmmaterial oder durch elektronische Sensoren (digitale Radiographie)
- **Erzeugung:** Elektronen von Glühwendel (Kathode) beschleunigt, treffen auf Anode → Abbremsen, entstehung von Bremsstrahlung (= Röntgenstrahlung) + viel Wärme
- Röntgenstrahlen-Absorption durch Gewebe dichteabhängig → keine Abbildung des Körperinneren möglich
- Häufigste Indikation bei Verdacht auf Knochenbruch
- Unterschiedliche Strahlenqualitäten (weich/hart), um unterschiedlich dichte Gewebe (Fett, Muskel, Knochen) zu durchdringen
  - wenige kV auf Röntgenröhre → weiche Strahlung
  - 25-35kV (Mammographie), 38-120kV (Rest)
  - weicher → höhere Absorption → höhere Strahlenbelastung
  - weicher → feinere Gewebeunterschiede sichtbar
  - härter → durchdringt mehr (>100kV durchdringt sogar Bleischürzen)
  - härter → weniger Kontrastunterschiede

## NATÜRLICHE STRAHLENBELASTUNG

- **Maßeinheit:** Millisievert (mSv)
- **Äquivalentdosis:** Dosisgröße für ionisierende Strahlung
  - berücksichtigt übertragene Energiedosis
  - berücksichtigt relative biologische Wirksamkeit (RBW) von Strahlenarten
- **Kosmische Strahlung:** 0.3mSv/Jahr. Entsteht in äußerer Atmosphäre durch Kollision von Wasserstoff-Atomkernen und Luftmolekülen
- **Terrestrische Strahlung:** 0.4mSv/Jahr. Emittiert durch Radionuklide in Böden/Gesteinen der Erdkruste
- **Innere Strahlung:** 1.4mSv/Jahr. Emittiert durch Zerfall natürlicher radioaktiver Stoffe, Aufnahme durch Essen, Trinken, Atmen
- **Hauptbelastung:** Inhalation von Radon

## KÜNSTLICHE STRAHLENBELASTUNG

- **Medizinische Anwendungen:** 2.0mSv/Jahr
- **CT:** einmalig 10-25mSv
- Zigaretten, Flugreisen,...
- **Militärische Radaranlagen:** Größere Strahlenbelastung durch in Geräten erzeugte Röntgenstrahlung (*nicht* durch eigentliche Radar-Mikrowellenstrahlung!)

## COMPUTERTOMOGRAPHIE (CT)

- = Computer-Auswertung vieler Röntgenaufnahmen aus versch. Richtungen
- **Spiralverfahren:** Patient wird mit konstanter Geschwindigkeit entlang Längsachse durch Strahlenebene bewegt, während Strahlenquelle mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotiert
  - **Herkömmliches Röntgen:** Projektion von Volumen auf Fläche
  - **CT:** 3D-Rekonstruktion aus Einzelschnitten

## ANGIOGRAPHIE

- = mit Kontrastmittel gefüllte Blutgefäße durch Röntgenstrahlung darstellen
- **Phlebographie:** Darstellung von arteriellen und venösen Blutgefäßen
- **Lymphographie:** Darstellung von Lymphgefäßen
- Exakte Darst. Gefäßarchitektur → Aufspüren von Engstellen + Blutungen
- **Digitale Subtraktionsangiographie (DSA):**
  1. Leeraufnahme anfertigen
  2. KM über Katheter in Gefäß spritzen
  3. schnell hintereinander Aufnahmen machen
  4. Leeraufnahme subtrahieren → Störungen (zB Knochen) ausblenden
- Informationsgewinn aus Hämodynamik (Blutbewegung)
- Reine Diagnose zunehmend auch mit CT/Kernspintomographie
- **Interventionelle Radiologie:** Angiographie zur Problembehandlung
- **Ballondilatation:** Aufweitung Gefäßverengungen durch winzige Ballons
- **Stents:** kleine Drahtkörbchen zur Gefäßwandabstützung
- **Coils:** kleine Platinspiralen zur inneren Blutungsverschließung

## MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE (MRT)

- **Konzept:** Atomkerne mit ungerader Protonen-/Neutronenzahl verfügen über Eigendrehimpuls (Spin) → werden zu winzigen Magneten
- Nutzung starker Magnetfelder und elektromagnetische Wechselfelder:
  1. Resonante Anregung Atomkerne im Körper (meist H)
  2. Induktion elektrischer Signale in Empfängerstromkreis
- Nutzung von Wasserstoff-Spins → besonders wasserhaltige Gewebe gut abbildbar (zB innere Organe, Rückenmark, Gehirn)
- Unterscheidung nach Magnetfeldstärke:
  - <0.5 Tesla: Permanentmagnete oder konventionelle Elektromagnete
  - 1.5-3 Tesla: supraleitende Magnete
- **Relaxation:** Nach Abschalten von hochfrequentem Wechselfeld richten sich Spins wieder zu normalem Magnetfeld aus  
→ unterschiedliche Abklingzeit  
→ unterschiedliche Signalstärken (= Helligkeiten) im Bild
- **Gefahr:** durch magnetische Metalle am Körper
- **Auflösung:** klinische Standardsysteme auf ca. 1mm begrenzt
- **Artefakte:** Auslöschungs- und Verzerrungsartefakte
  - lokale Magnetfeldinhomogenitäten
  - Bewegungs- und Flussartefakte
  - Funkstörungen + metallische Gegenstände
- **Untersuchungsmodalitäten**
  - Anatomische Bildgebung
  - Diffusionsbildgebung (Diffusion von Wasser in Gewebe messen)
  - Perfusionsbildgebung (Durchblutung darstellen + quantifizieren)
  - Spektroskopie (Konzentration bestimmter Moleküle in Bereich)
  - Funktionelle MRT (fMRT, Größen wie uB Blutfluss messen)
  - Zelluläre Bildgebung

## SONSTIGES

**Koloskopie:** Darmspiegelung, **Gastroskopie:** Magenspiegelung

# Neurologische Krankheitsbilder

## STRATEGIE

- **Anamnese:** Erhebung Krankheitsgeschichte
- **Untersuchung:** klinisch + neurologisch
- **Adaptive Diagnostik**
- **Therapie** + Planung
- **Nachuntersuchungen** (*follow-up*)

## ÜBERSICHT NEUROLOGISCHE ERKRANKUNGEN

Unterscheidung **zerebral** (Großhirn betreffend) + **spinal** (zur Wirbelsäule, zum Rückenmark gehörend)

- **Zirkulationsstörungen**
  - Infarkt: Gewebsuntergang (Nekrose) infolge einer Sauerstoffunterversorgung (Hypoxie) durch unzureichenden Blutzufluss (Ischämie)
  - Infarzierung: Hypoxie durch Abluffhindernis
  - Thrombose: Bildung Blutgerinnsel (Thrombus) in Blutgefäß
  - Blutung (Hämorrhagie): Austreten von Blut aus beliebigem Bereich von Blutbahn/-kreislauf
- **Raumforderungen:** Benigne + maligne Tumore, Blutungen

- **Infektionen:** Bakteriell, Viral, durch Prionen (Proteine, die in normalen und pathogenen Konformationen vorliegen können), Parasitär (Protozoen (Urtiere), Würmer, Pilze), Autoimmunerkrankungen (zB multiple Sklerose)
- **Gefäßmissbildungen:**
  - Aneurysmen: Krankhafte Gefäßaussackung
  - Angiome: Tumorartige Gefäßneubildung oder Gefäßfehlbildung
  - Kavernome: Hämangiom (= Gefäßmissbildung)
- **Epilepsien**
- **Stoffwechselerkrankungen:** Speicherkrankheiten, Vergiftungen, ...
- **Erkrankungen PNS**
- **Myopathien** (Muskelerkrankungen)
- **Neuropathien**
- **Systemerkrankungen ZNS:**
  - Nukleäre Atrophien: Gewebe-Verkleinerungen
  - Spinalparalyse
  - Amyotrophe Lateralsklerose (ALS)
- **Psychiatrische Störungen**
  - Schizophrenie, Psychose, Neurose, Angst
  - Anpassungsstörungen, Persönlichkeitsstörungen

## QUERSCHNITTSSYNDROM

- = Schädigung Rückenmark in gesamtem Durchmesser
- darunterliegende Spinalnerven funktionslos

## EPILEPSIE

- **Krankheitsbild:** spontan auftretende Krampfanfälle
- **Grund:** Folge anfallsartiger (paroxysmaler) synchroner Entladungen von Neuronengruppen im Gehirn → plötzliche, unwillkürliche Verhaltens- oder Befindensstörungen
- **Diagnostik:** Anamnese, Hirnstromkurve mit EEG, ggf Hirn-MRT
- **Therapie:** Antikonvulsiva (krampfunterdrückende Medikamente)
  - therapieresistent → operative Methoden
- **Gelegenheitskrämpfe** (Fieberkrämpfe): Haben 4-5% aller Menschen wenige Male im Leben
- **Fokale Anfälle:** nur eine Hirnregion in einer Gehirnhälfte betroffen  
→ Erkrankung geht von "Krankheitsherd" aus (Ausgangsstelle)
- **Aura:** Sinneswahrnehmungen, die bei manchen Menschen kurz danach ein-treffenden epileptischen Anfall ankündigen
- **Generalisierte Anfälle:** Betrifft gesamtes Hirn, Anfallsverlauf und Symp-tome zeigen keine anatomisch begrenzte Lokalisation
- **Absencen:** Bewusstseinspausen (*petit-mal*)
- **Tonisch-klonische Anfälle:** Anfall mit Bewusstseinsverlust, Sturz, Verkrampfung, rhythmische Zuckungen, Zungenbiss (*grand-mal*)
- **Astatische Anfälle:** Sturzanfälle mit atoner Muskulatur (Erschlaffung)
- **Status epilepticus:** Anfallsserie (ggf lebensbedrohlich)

## GEHIRNTUMORE — BEGRIFFE

- **Ossär:** Knochen betreffend
- **Neurogen:** Nervensystem betreffend
- **Vaskulär:** Blutgefäße betreffend
- **Intrasellär:** Liegt in Sella (Teil von Schädelknochen), beinhaltet Drüse (Hirnanhangsdrüse), die wichtige Botenstoffe herstellt
- **Rezidiv:** Wiederauftreten einer Krankheit

## GEHIRNTUMORE — GUTARTIG

- **Definition:** Basierend auf Morphologie/Histologie, Wachstumsverhalten (Zellteilungsindex, Verteilung in andere Gewebe (*infiltrativ*)), Lokalisation, Größe, ärztliche Einschätzung, klinische und statistische Ergebnisse
- **Hirneigene Tumore:**
  - Astrozytome: ursprünglich in Astrozyten (gehören zu ZNS-Stützgewebe)
  - Gliom: Sammelbegriff für einige ZNS-Hirntumoren, entstehen aus Gli-azellen (Stütz- und Nährgewebe von Nervenzellen), treten meist in Gehirn auf, aber auch in Rückenmark und Hirnnerven möglich
  - Oligodendrogliome: Neuroepithelialer Tumor, geht vermutlich von Oligo-dendrozyten (Glia-Telltyp) aus
  - Mischgliome/Oligoastrozytome: diffuse Gliome, weisen Anteile von Oligo-dendrogliom und Astrozytom auf
  - Ependymome
- Meningeome, Hypophysenadenome, Neurinome, Hämangioblastome, Dys-plasome
- **Kraniopharyngeom:** Entsteht durch Fehlbildung von Restgewebe bei Hirnanhangsdrüse

## FISTEL

- = pathologische oder künstlich angelegte rohrförmige Verbindung zwischen zwei Hohlorganen oder zwischen Organ und Körperoberfläche
- **Koagulation:** Gerinnung durch Wärmeentwicklung
- **Dura:** Äußerste Haut

## ANATOMISCHE HAUPTRICHTUNGEN

- dorsal: rückenseits, am Rücken gelegen
- ventral: bauchseits, am Bauch gelegen
- kranial: zum Schädel hin
- kaudal: zum Schwanz (Gesäß) hin
- proximal: zum Körperzentrum hin
- distal: vom Körperzentrum entfernt
- medial: in der Mitte gelegen
- lateral: seitlich

## ANEURYSMA

- **Ursachen** (Pathologie): Embryonaler Gefäßwanddefekt, Gefäßteilungsstellen, Exogene Faktoren, Entzündungen, Hämodynamik
- **Ruptur:** Riss Gefäßwand durch Schwäche des Gefäßes, je nach Gefäßlage lebensbedrohlich
- **Subarachnoidalblutung** (SAB): Freies Blut gelagt in mit Hirnflüssigkeit (*liquor cerebrospinalis*) gefüllten Subarachnoidalraum
- **Symptome innozentier Aneurysmen:** Symptomlos, Warnblutungen, anfallsartige Kopfschmerzen, Visusminderung (Sehschärfe), Schädigung von Nerven
- **Symptome ruptierter Aneurysmen:** plötzlicher vernichtender Kopfschmerz, Bewusstseinstörung, Bewusstlosigkeit, Nackenschmerz, Nackensteifheit, Steigung intrakranieller Druck (ICP), Abfall zerebraler Perfusionsdruck

# Neurochirurgische Therapie

## NEUROCHIRURGIE

- **Gehirnchirurgie:** Hirntumore, Gefäßmissbildungen, Aneurysmen, ...
- **Wirbelsäulenchirurgie:** Bandscheiben (Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule (HWS, BWS, LWS)), Verletzungen, Rückenmarktumore, Gefäßmissbildungen, ...
- **Periphere Nerven Chirurgie:** Nervenengpass, Tumore, Verletzungen

## STRATEGIE

1. Individuelle Beratung
2. Fallbezogene Aufklärung
3. Risikoabschätzung
4. Alternative Therapieoptionen
5. Zeitplanung
6. Operationsziel (Funktionenerhaltend?)

## OPERATIONSTECHNISCHE HILFSMITTEL

- Bildgebende Diagnostik
- Computer-assistierte Chirurgie
- Intraoperative Bildgebung, Elektrophysiologie und Dopplersonographie
- Neuroendoskopie

## OPERATION — BENIGNE TUMOREN

- Trepanation (Zugangsplanung)
- Adäquate Tumor-Exposition (so klein wie möglich, so groß wie nötig)
- Kosmetik und Funktion: Vermeidung Sinusöffnung (Nasennebenhöhlen), knöcherne Rekonstruktion

## OPERATION — PLANUNG

- Anatomisch geführte Zugänge
- **Kraniotomie:** Öffnung des Schädels
- Indirekter Zugang

## OPERATION — CHIRURGISCHE DURCHFÜHRUNG

- Lagerung Patient: Kopf eingespannt, Haarschnitt (makro-, mikrochirurgisch)
- Hautdesinfektion, steriles Abdecken
- Hautschnitt, Darstellung Kalotte (Schädeldecke)
- Kraniotomie (Schädelöffnung)
- Eröffnung Hirnhaut
- Auffinden Läsion (Verletzung/Störung)
- Tumorentfernung (Mechanisch, Ultraschall, Laser, bipolare Koagulation)

## ANEURYSMEN — THERAPIE

- **Clipping:** Klammer aus Aneurysma-Hals ausetzen, um Blutzustrom in Aus-sackung vollständig zu unterbinden (offene Gehirnoperation)
- **Coiling:** Platin-Spirale in Aneurysma platzieren → füllt Aneurysma aus (minimalinvasive Operation, meist über Leistenarterie)

# Fehleranalyse Neuronavigation

## HAUPTPROBLEME

- **Maschinenfehler**
- **Strategische Fehler:** menschengemachter Fehler (zB wenig Erfahrung)
- **Brain Shift:** Gehirn verschiebt sich
- **Datenakquise:** Inkompatibel, Datentransfer, Artefakte, image reconstruction
- **Registrierung:** Wie Kopf positionieren? Wie möglichst fest? Wie den Halt nicht verlieren?
- **Marker-Probleme:**
  - Skin Marker: Können leicht abgezogen werden
  - CT-Marker: besser
  - Knochen-Marker: sehr exakt, aber invasiv
  - Tooth Splints: wiederholbar, akkurat, nicht-invasiv, aber teuer
- **Interoperatives Data Refreshing:** mobile CT, ...
- **Interoperativer Workflow:** Displays, Instrumente, ...
- **Education, Simulation, Training:**
  - Präoperative Planung
  - Mikrochirurgische Anatomie
  - Ansätze, Trajektorienplanung
  - *unbloody training*, Operationssimulation

## NAVIGATIONSGEFÜHRTE OPERATION — WORKFLOW

1. Datenakquise
2. Simulation + Planung
3. Registrierung
4. Navigation
5. Fehlerquellen