

Relevance of Computers in Deep Brain Stimulation

Die Relevanz/Bedeutung/Wichtigkeit von Computern bei
der Tiefen Hirnstimulation

Gliederung

- Einleitung: Tiefe Hirnstimulation und ihre Grenzen
- Anatomischer Überblick
- Technische Grundlagen/Medizinische Informatik
- Computergestützte Planung und Stereotaxie
- Numerische Simulation: Der Digitale Zwilling
- Intraoperative Verifizierung
- Adaptive DBS
- Risiken & Herausforderungen
- Ethische Sicht
- Fazit

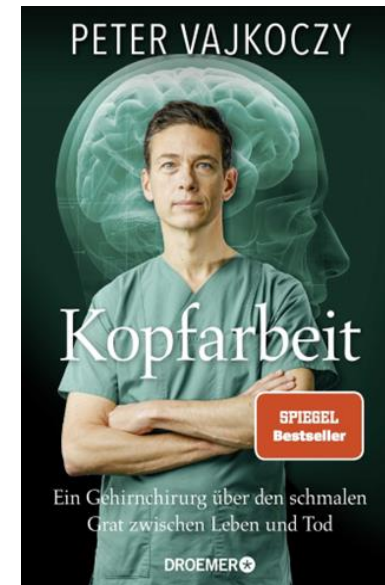
Tiefe Hirnstimulation (THS)

- Neurochirurgisches Verfahren zur (symptomatischen!) Behandlung von v.a. Bewegungsstörungen
- Platzierung v. Elektroden im Gehirn
- Elektrische Stimulation v. bestimmten Arealen soll zur Verbesserung d. Symptome führen
- Indikationen: Morbus Parkinson, Tremor, Dystonie, Chorea Huntington, Epilepsie
- Kosten: ca. 20 000 €

Nebenwirkungen & Nachteile

- Sprach-, Sensibilitäts-, Gleichgewichts-, Sehstörungen
- Unwillkürliche Bewegungen
- Psychiatrische Nebenwirkungen

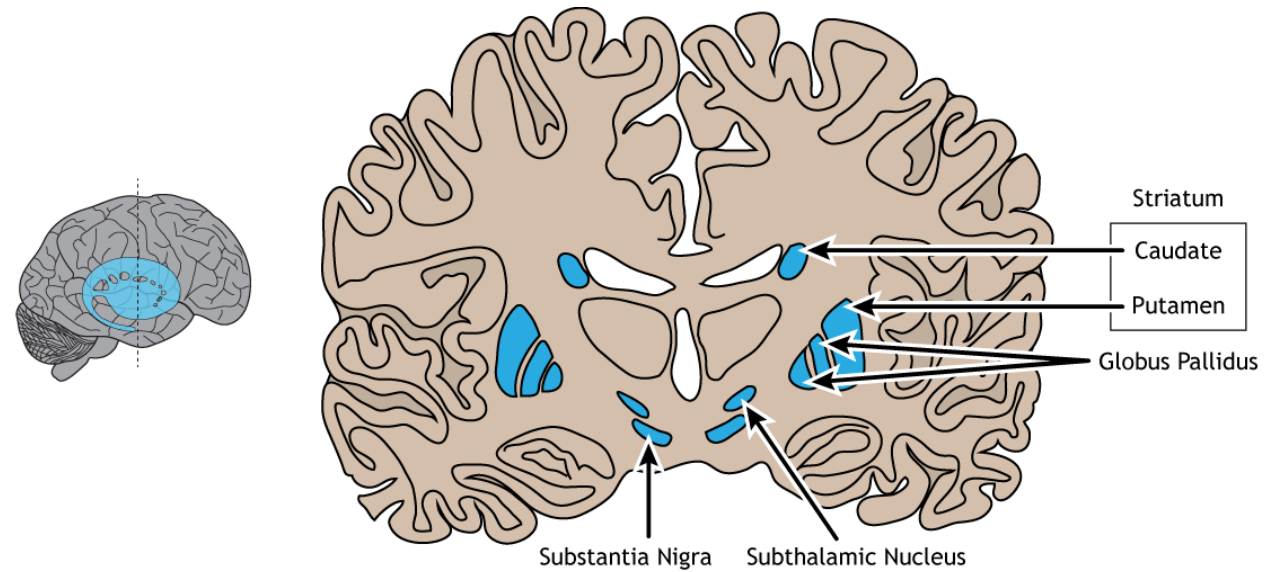
ABWÄGEN!!



Buchempfehlung:
„Kopfarbeit“ von Prof.
Peter Vajkoczy

Exkurs: Was ist Morbus Parkinson?

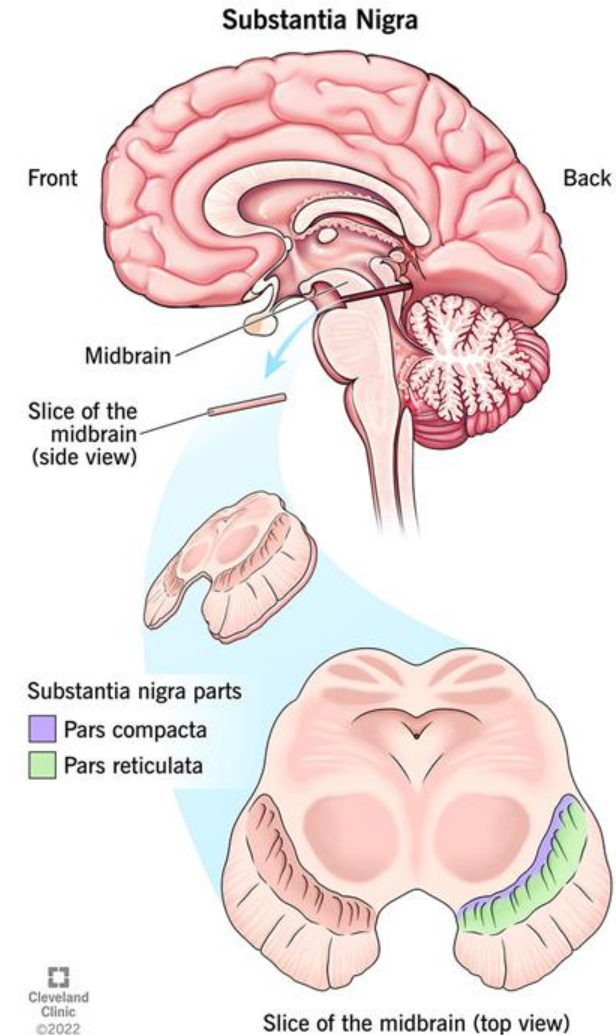
- Neurodegenerative Erkrankung, Nervenzellen (=Neurone) in bestimmtem Gehirnbereich (Substantia Nigra) sterben ab u. Erfüllen Funktion (Produktion v. Dopamin) nicht mehr
- Symptome: Hyposmie (=verminderte Geruchswahrnehmung), Depressionen, Schlafstörungen, Bradykinese (=verlangsamte Bewegungen), Rigidity (=Starrheit, erhöhte Muskelspannung), Tremor (=Zittern)
- Tests: PET, SPECT, CT, MRT, ...
- Sehr häufig: 1% d. über 60-Jährigen sind betroffen!
- Nicht heilbar, aber Medikamente (z.B. L-Dopa) => Besserung d. Symptome



Anatomischer Überblick

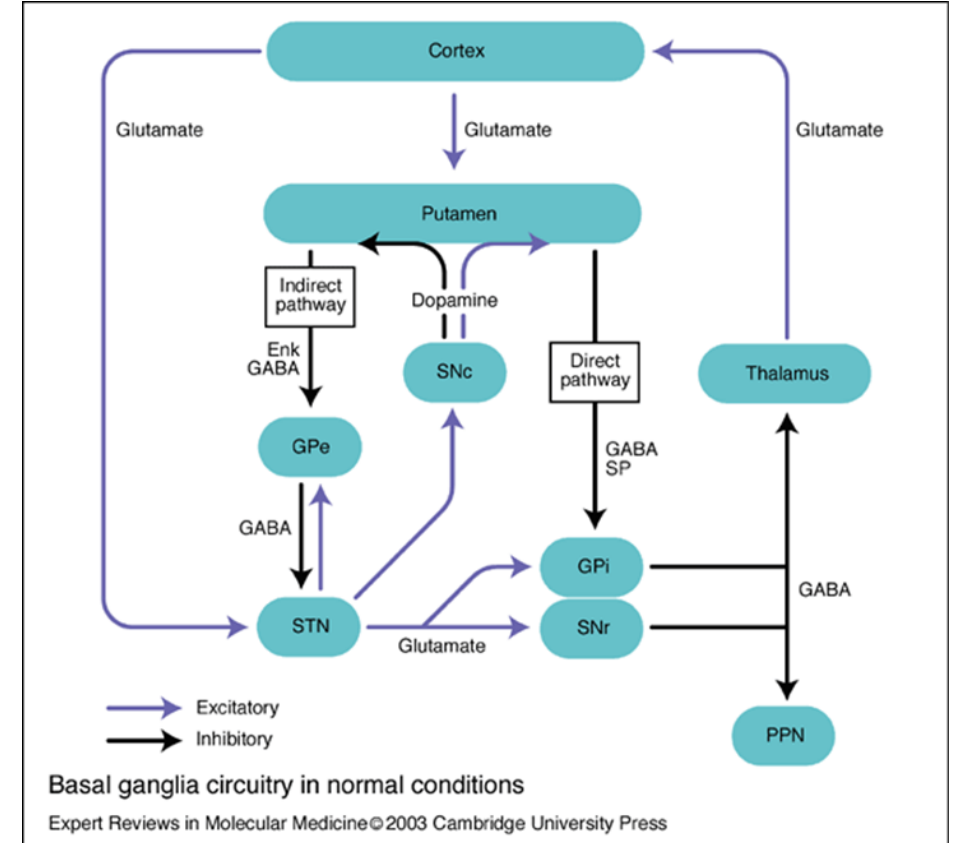
Motorische(s) System(e)

- Gehirn besteht aus Gehirnrinde (=Cortex) u. subkortikalen Strukturen (=„unter dem Cortex“, in der Mitte des Gehirns)
- Sämtliche Muskeln angesteuert durch Neurone aus d. Cortex
- "Normaler" Bewegungsablauf braucht mehr als Muskelaktivierung: Gleichgewicht, adäquate Muskelspannung, Koordination, Planung d. Bewegungsablaufs, Initiierung d. Bewegung, Wahrnehmung d. eigenen Körpers im Raum, routinierte vs. neue Bewegungsabläufe (z.B. Stiegensteigen vs. komplizierte Bastelarbeit), ...
- Basalganglien übernehmen viele d. Funktionen, Schädigungen d. Basalganglien => Erkrankungen wie Parkinson, Huntington, Tourette, ...
- **Bsp. Parkinson: Substantia Nigra gehört funktional zu Basalganglien (Neuronen sterben ab => Bewegungsabläufe gestört)**



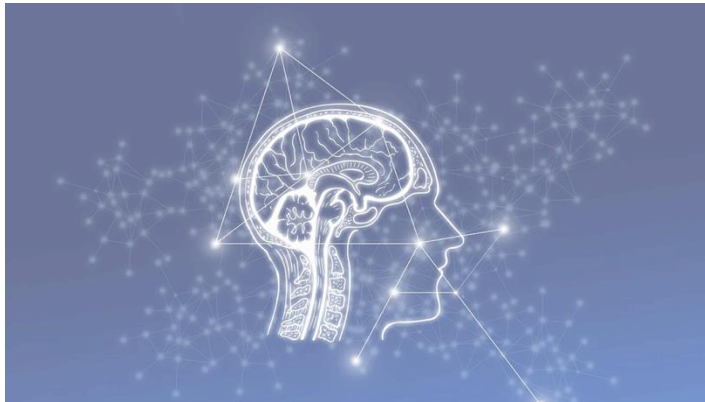
Zielstrukturen der THS

- STN (= Nucleus subthalamicus)
- GPi (= Globus pallidus internus)
- VIM (= Nucleus ventralis intermedius)



Technische Grundlagen

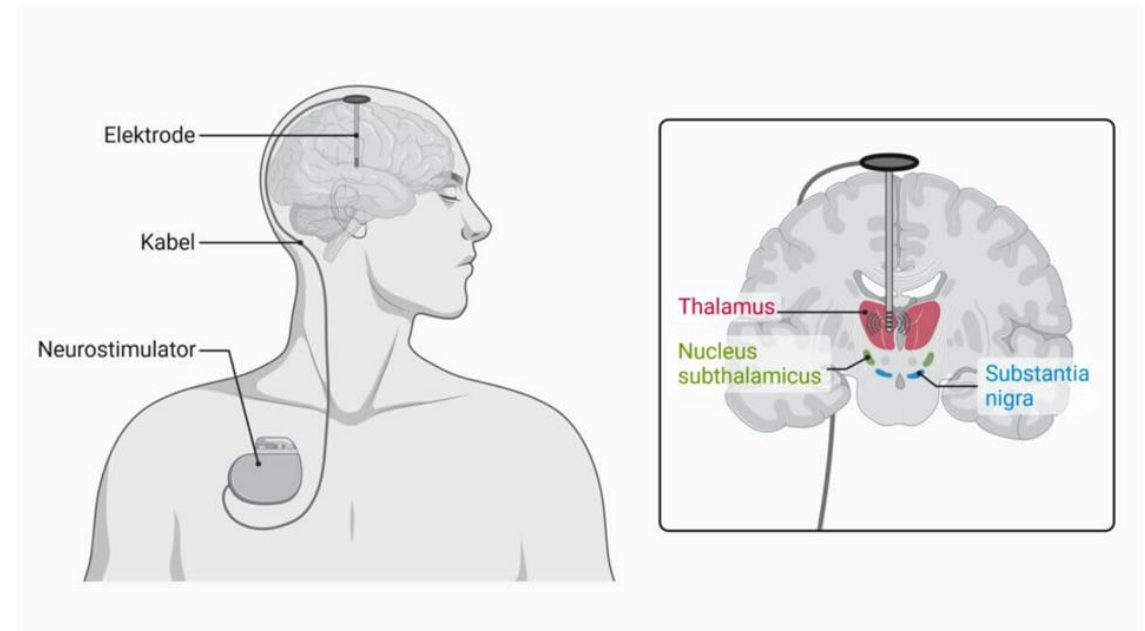
<=>



Medizinische Informatik

THS – umgangssprachlich „Hirnschrittmacher“

- Herzschrittmacher?
- Ähnliche Technologie bei THS: Schrittmacher = elektronischer Spannungsimpulsgeber
- Regt zu "normaler" Frequenz an
- Notwendig: elektronische Schaltung + Schwingkreis + langlebige Batterie in flachem Gehäuse
- Unter der Haut implantiert
- Davon gehen Elektroden aus zu Zielstruktur im Gehirn



Was ist Medizinische Informatik?

- 1.: Medizinische Bildverarbeitung, Visualisierung u. Mustererkennung (CT, MRT, ...)
- 2.: Krankenhaus-Informationssysteme (medizinische Daten v. Patienten, ...)
- 3.: Evidenzbasierte Medizin (wissenschaftliche/klinische Studien, ...)
- 4.: E-health (=„electronic health“) (Vernetzung v. Patient, Gesundheitseinrichtungen u. DEVICES, ...)
- 5.: Telemedizin (Trotz DEVICES normaler Alltag zuhause, ...)
- 6.: Medizinische Robotik (Navigation bei neurochirurgischen OPs, ...)

Warum Planung so entscheidend ist

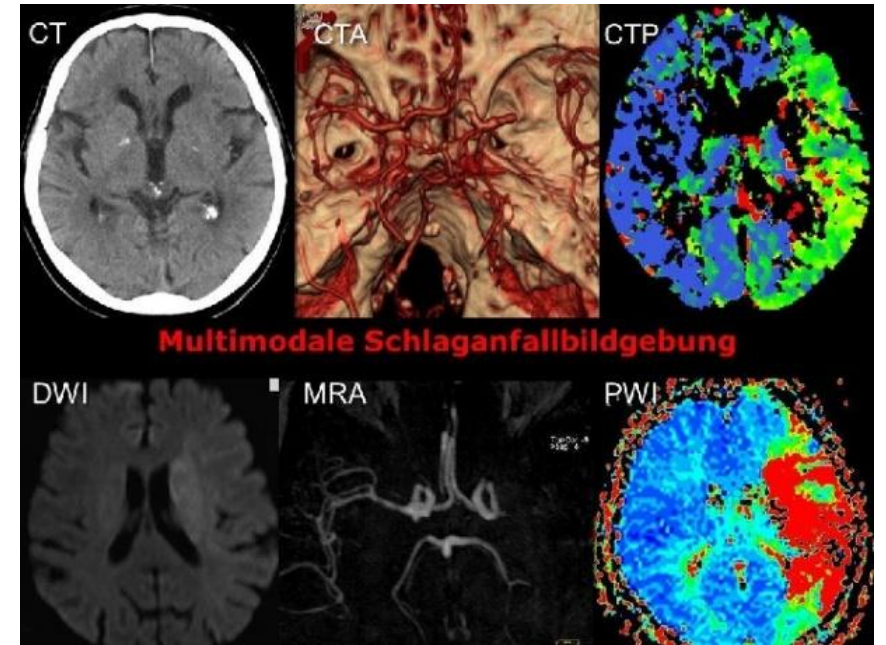
- Der Erfolg der Therapie hängt stark von der Elektrodenposition ab
- Bereits Millimeter machen einen Unterschied
- Falsche Platzierung kann Nebenwirkungen verursachen
- Deshalb ist eine exakte Vorbereitung unerlässlich

Computergestützte Planung und Stereotaxie

- Moderne DBS-Operationen werden digital vorbereitet
- Planung erfolgt mithilfe spezieller Software
- Stereotaktische Systeme übertragen die Planung in den OP
- Ziel ist eine möglichst präzise Umsetzung

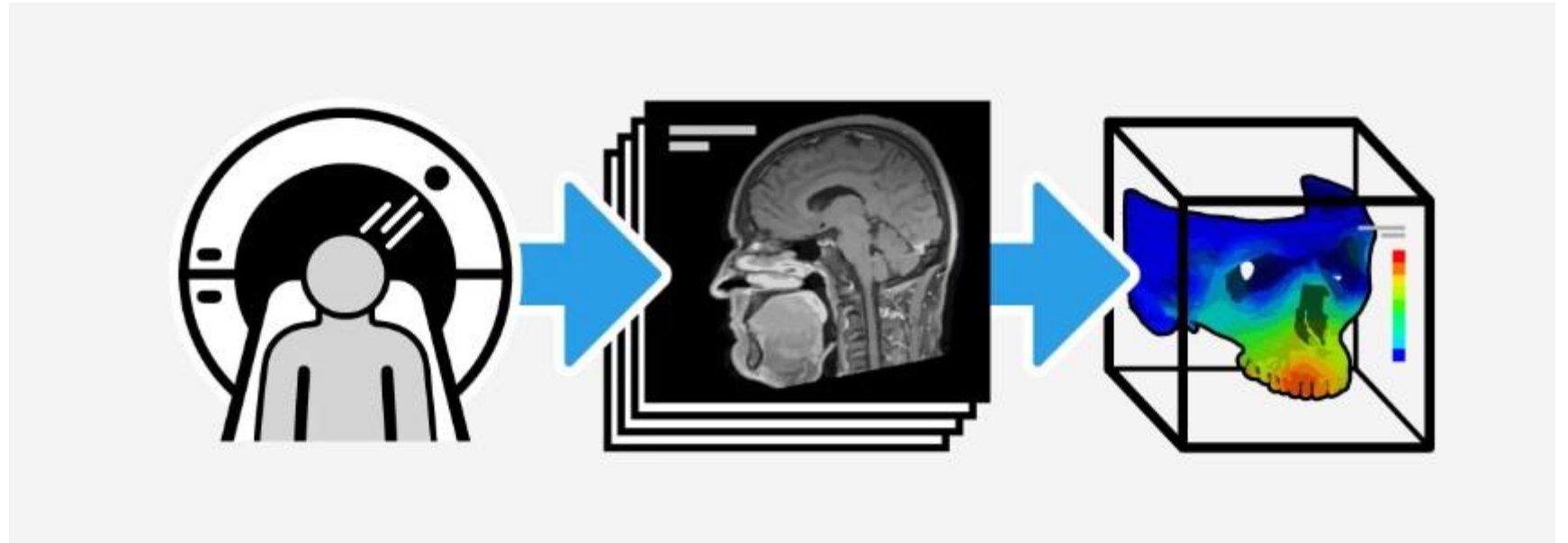
Multimodale Bildgebung

- Kombination verschiedener Bildgebungsverfahren
- MRT zur Darstellung der Zielstrukturen
- CT für knöcherne Orientierung und Referenzen
- Durch Bildfusion entsteht ein genaues Gesamtbild



Planung der Trajektorie

- Festlegung des Weges von der Schädeloberfläche zum Ziel
- Kritische Strukturen müssen vermieden werden
- Verlauf wird mehrfach überprüft und angepasst
- Endgültige Entscheidung trifft der Operateur



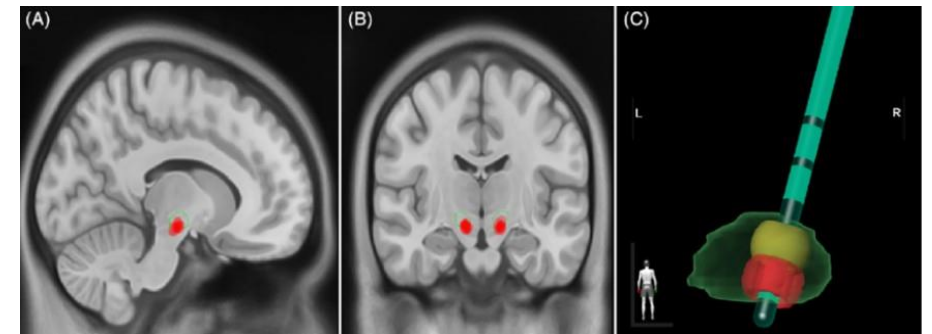
Numerische Simulation: Der Digitale Zwilling

Digitaler Zwilling und Simulation

- Unterstützt eine individuell angepasste Therapie
- Virtuelles, patientenspezifisches Gehirnmodell
- Ermöglicht Simulation der elektrischen Stimulation
- Hilft, Wirkung und mögliche Nebenwirkungen abzuschätzen

Aktiviertes Gewebevolumen (VTA)

- Beschreibt den Bereich, der durch die Stimulation beeinflusst wird
- Grundlage für das Verständnis der Stimulationswirkung
- Berechnung mithilfe physikalischer Modelle
- Wichtig für die Optimierung der Parameter



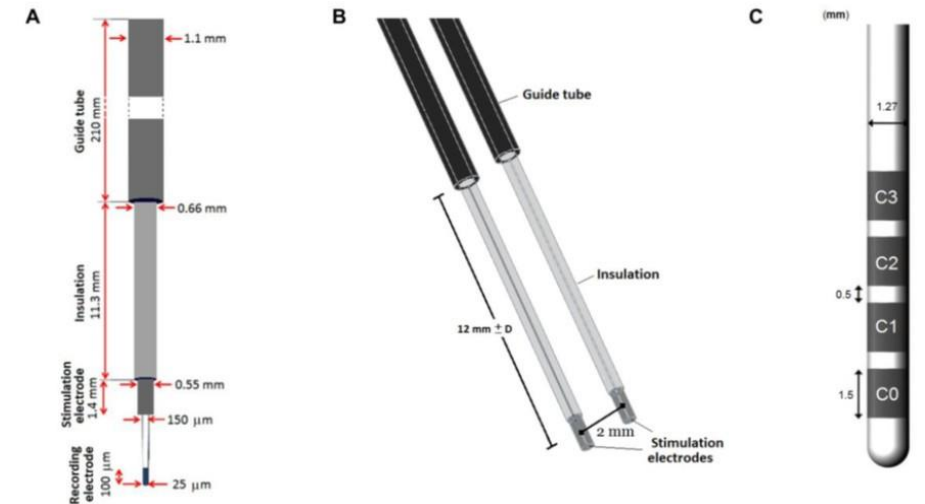
Intraoperative Verifizierung

Intraoperative Verifizierung

- Trotz genauer Planung ist Kontrolle im OP notwendig
- Bestätigung der Elektrodenlage während der Operation
- Ziel ist maximale Sicherheit für den Patienten

MER und Teststimulation

- Microelectrode Recording ermöglicht funktionelle Feinkartierung
- Teststimulation erfolgt häufig bei wachen Patienten
- Direkte Rückmeldung über Wirkung und Nebenwirkungen
- Beide Methoden ergänzen sich sinnvoll



Adaptive DBS

Klassische Tiefenhirnstimulation (cDBS)

- Konstante elektrische Stimulation
- Unabhängig vom Zustand des Patienten
- Keine Anpassung an Schlaf, Bewegung oder Medikamente

Problem:

- Über- und Unterstimulation
- Nebenwirkungen möglich

Adaptive Tiefenhirnstimulation (aDBS)

- Stimuliert nicht dauerhaft
- Misst gleichzeitig Gehirnsignale
- Passt sich dem aktuellen Zustand an

→ Closed-Loop-System

Physiologische Grundlage: Beta Aktivität & Symptome

- Messung neuronaler Aktivität im Gehirn
- Fokus: Beta-Frequenzband (13-35 Hz) im Nucleus subthalamicus gemessen
- Beta-Aktivität tritt in kurzen Phasen auf
- Beta-Bursts
- Zusammenhang mit:
 - Bewegungsverlangsamung
 - Muskelsteifigkeit

→ Je stärker die Bursts, desto stärker die Symptome

Funktionsprinzip der aDBS

- Kontinuierliche Überwachung der Gehirnaktivität
- Überschreitung eines Schwellenwerts → Stimulation
- Abnahme der Aktivität → Stimulation wird reduziert

Klinische Vorteile

- Bessere motorische Sensoren
- Effektivere Symptomkontrolle
- Weniger Nebenwirkungen
- Individuellere Therapie

Technische Vorteile

Optimierte Stimulation:

- Vermeidung von Überstimulation
- Geringere Ausbreitung des elektrischen Feldes

Energieeffizienz:

- Low-Power-Embedded- System
- Durch ereignisbasierten Ansatz → Duty Cycle reduziert
- Niedriger Energieverbrauch
- Längere Batterielebensdauer

Risiken & technische Herausforderungen

Medizinische Risiken

- Invasiver Eingriff
- Blutungen, Infektionen

Technische Risiken

- Sensorfehler
- Algorithmusfehler
- Hardwareprobleme
 - Kabelbruch
 - Veränderung Elektrodeigenschaften

Ethik & Autonomie

Grenzen der Selbstbestimmung

- Algorithmus entscheidet autonom
- Frage nach Kontrolle und Entscheidungsgewalt
- Möglicher Einfluss auf Emotionen
- Besonders sensibel bei limbischen Arealen

Fazit

Ausblick

- Datenspeicherung & Analyse
- Machine Learning
- Neue Einsatzgebiete:
 - Depression
 - Zwangsstörungen
 - Alzheimer

Fazit

- DBS = intelligentes, datenbasiertes System
- Großen Chancen, aber auch Verantwortung

Danke für eure
Aufmerksamkeit!