

Neuroimaging-Techniken

EEG - Elektroenzephalogramm

Was wird gemessen

- Der elektrische Strom, der durch Neuronen fließt, verursacht auch im umliegenden Medium elektrischen Strom (=Volumenleitung).
- Das EEG erfasst die Volumenleitung der apikalen Dendriten großer Pyramidenzellen, die bis zur Kopfhaut durchdringt.
- Um ein messbares Signal zu produzieren, müssen mind. 10 000 unidirektional orientierte Pyramidenzellen synchron feuern.

Anmerkung: Die Ausbreitung der Volumenleitung ist abhängig von der Leitfähigkeit des umliegenden Gewebes, d.h. durch besser leitfähiges Gewebe fließen größere Ladungen. Da der Schädel eine geringe Leitfähigkeit aufweist, kann man auf der Kopfhaut nur Ladungen mit geringer Amplitude detektieren (ca. 50 microVolt).

Wie wird gemessen

- Für das EEG werden Elektroden an unterschiedlichen Stellen auf der Kopfhaut befestigt. Zudem gibt es eine Referenzelektrode, die keine neuronale Aktivität misst und somit als Baseline dient.
- Die Elektroden sind mit einem Differenzverstärker verbunden, der die Differenz zwischen jeder Elektrode und der Referenzelektrode misst und so verstärkt, dass das Ergebnis als EEG-Signal (pro Elektrode) abgetragen werden kann.
- Aus diesen EEG-Signalen können z.B. ERPs (event related potentials) berechnet werden.

Inverses Problem

- Das EEG-Signal ist vergleichbar mit einem Schatten, anhand dessen man nicht auf die Ursachen des Signals im Gehirn zurückschließen kann.
- Gemessen wird nämlich nicht die elektrische Aktivität aller Neurone, sondern nur die Volumenleitung bestimmter Neurone, die zur Hautoberfläche durchdringt und durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird (z.B. Leitfähigkeit des Gewebes).

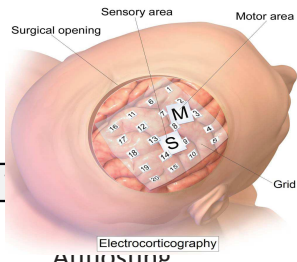
Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
<ol style="list-style-type: none">1. Hohe temporäre Auflösung2. Relativ kostengünstig3. Nicht-invasiv und passend für (fast) jede Art von Patient4. Tragbar (beweglich)	<ol style="list-style-type: none">1. Geringe räumliche Aufklärung (wegen inverse-problem und Volumenleitung-Effekten)2. Limitierte Sensitivität für die Aktivität in tieferen Hirnstrukturen3. Schwer aufzusetzen

Intrakranielles EEG bzw. Elektrokortikographie

Was und wie wird gemessen

- Gleicher Mechanismus wie normales EEG, nur dass die Elektroden innerhalb des Schädels direkt auf der Hirnhaut angebracht werden



ten mit Epilepsie angewandt, um die Quellen der Störung zu identifizieren

/gl. zu normalem EEG

	Nachteile vs. EEG
<p>auch räumliche</p> <p>2. Höhere Amplituden in den EEG-Signalen (=stärkeres Signal)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Invasiv und nur bei epileptischen Patienten möglich 2. Partielle und unkontrollierbare Bedeckung des Gehirns 3. Untypisches neurales Gewebe 4. Streng limitierter Zugang

MEG – Magnetoenzephalographie

Was wird gemessen

Das MEG misst das magnetische Feld, welches durch die elektrischen Signale in den pyramidalen, apikalen Dendriten hervorgerufen wird.

Wie wird gemessen

- Durch supraleitende Spulen oder Spulensysteme werden die neuronalen Magnetfelder erfasst, die dann mithilfe von sog. SQUIDS (superconducting quantum interference device) gemessen werden.
- DIE SQUIDS sind Sensoren, die sich auf der Kopfhaut angebracht werden und Magnetfeldänderungen sehr präzise messen können.
- Für den Betrieb werden große Mengen an Helium zur Kühlung verbraucht.
- Man unterscheidet bei der Messung zwischen Magnetometer (einfache Aufnahmespule) und Gradiometer (mehrere Aufnahmespulen)

Vor- und Nachteile im Vgl. zu EEG

Vorteile vs. EEG	Nachteile vs. EEG
<ol style="list-style-type: none"> 1. Höhere räumliche Aufklärung (weil weniger Verzerrung durch Volumenleitung) 2. Weniger schwierig zu befestigen / aufzusetzen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Noch weniger sensitiv für tieferliegende Strukturen 2. Blind für radiale Quellen 3. Nicht zu transportieren 4. Sehr teuer wegen des Heliums

➔ Man sieht weniger als im EEG, aber was man sieht, sieht man viel besser als im EEG

fMRT – funktionelle Magnetresonanztomographie

Was wird gemessen

- fMRT-Aufnahmen ermöglichen es Durchblutungsänderungen von Hirnarealen sichtbar zu machen, die auf [Stoffwechselforgänge](#) zurückgeführt werden, welche wiederum mit neuronaler Aktivität in Zusammenhang stehen.
- Hierbei macht man sich die unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften von sauerstoffreichem (oxygeniertem) und sauerstoffarmen (desoxygeniertem) [Blut](#) zunutze ([BOLD-Kontrast](#)).

- Die Veränderung des Sauerstoffgehalts im Blut führt nämlich zu einer Veränderung der effektiven transversalen Relaxationszeit (Wie lange Wasserstoffatome nach einer hochfrequenten magnetischen Stimulation brauchen um in ihre Ausgangsposition zurückzukehren)

Wie wird gemessen

- Innerhalb des Scanners befindet sich eine große Kupferspule (in Helium getränkt um die Leitfähigkeit zu verbessern), die ein starkes homogenes magnetisches Feld generiert. Die Stärke dieses magnetischen Felds variiert zwischen ca. 1 und 7 Tesla.
- Die Wasserstoffatome richten sich parallel zu den Feldlinien dieses Magnetfelds aus (da sie selber magnetisch sind)
- Es wird hochfrequente elektromagnetische Energie (radiofrequency) eingestrahlt, die dazu führt, dass die Wasserstoffatome zusätzlich zur Eigenrotation in gleicher Frequenz und gleichem Takt um ihre Hauptachse rotieren
- Wird die radiofrequency wieder ausgeschaltet, kippen die Atomkerne wieder in ihre Ausgangsposition parallel zum B₀-Magnetfeld zurück und hören auf gleich zu rotieren. Die dabei abgegebene Energie wird erfasst.
- Messgrößen sind
 1. T1 weighted image: Dauer, bis alle Atome sich wieder zum B₀-Feld ausgerichtet haben
 2. T2* weighted image: Geschwindigkeit mit der die gleichgeschaltete Rotation zerfällt
 - beide Effekte hängen von Eigenschaften des umgebenden Gewebes ab, sodass anhand des Effekts auf die Beschaffenheit des Gewebes zurückgeschlossen wird

Was ist ein BOLD-Signal?

BOLD = blood oxygenation level dependant response

- Zur Berechnung des BOLD-Kontrasts wird das Verhältnis zwischen oxygeniertem relativ zu desoxygeniertem Blut in den Kapillaren zu zwei Zeitpunkten erfasst und anschließend voneinander abgezogen.
- Da aktive Neuronen mehr Sauerstoff verbrauchen und somit in aktiven Arealen mehr oxygeniertes Blut vorhanden ist, kann der BOLD-Kontrast als Maß für die Gehirnaktivität interpretiert werden.

Weitere Informationen zum fMRT

- - MRT ermöglicht es, hoch aufgelöste 3D-Bilder des Gehirns zu produzieren, in denen die Intensität der 3D-Pixel (voxel) positiv zusammenhängen mit:
 - Der Konzentration von Wasserstoffatomen (diese weisen einen Kernspin auf, d.h. sie haben eine Eigenrotation, und sind daher magnetisch)
 - Der lokalen Homogenität des magnetischen Felds (vor allem für die funktionelle Analyse wichtig)
- Das Verhältnis von oxygeniertem relativ zu desoxygeniertem Blut (BOLD-response) in den Venen
 - Oxygeniertes Blut ist diamagnetisch und führt zu keiner Verzerrung des umgebenden magnetischen Felds – es kommt zu keiner T2*-Reduktion

- Desoxygeniertes Blut ist paramagnetisch und dadurch im fMRT nachweisbar bzw. absorbiert mehr Energie, weshalb das Signal geringer ist – es kommt zu einer T2*-Reduktion
- BOLD-response = blood oxygenation level dependant response
 - Aktive Neuronen brauchen mehr Sauerstoff, wodurch das Blutvolumen in diesen Regionen ansteigt und auch mehr Sauerstoff vorhanden ist
 - Relativ gesehen hat man somit weniger sauerstoffarmes Blut, sodass weniger Energie von diesem absorbiert wird und das MRT-Signal ansteigt
 - Aber Achtung: besonders in großen Venen können sich die BOLD-responses „aufsummieren“, wodurch die räumliche Spezifität des fMRT eingeschränkt sein kann

Vor- Nachteile fMRT mit konventioneller Feldstärke (3T)

Vorteile	Nachteile
1. Hohe räumliche Auflösung (ca. 2mm) 2. Volle Abdeckung des Hirns (und simultane Darstellung des ganzen Hirns) 3. Nicht-invasiv und passt für fast jeden Patienten	1. Geringe zeitliche Auflösung (sehr langsames Signal) 2. Neigt zu falscher Zuteilung von Effekten zu großen trockenen Venen 3. Sehr laut 4. teuer

Vor- und Nachteile fMRT mit hoher Feldstärke (7-9T)

Vorteile	Nachteile
1. noch höhere räumliche Auflösung (ca. 0.5mm) 2. höhere Signal-to-Noise-Ratio (d.h. das Signal wird relativ zum Rauschen besser detektiert) 3. weniger anfällig für Falschlokalisations-Effekten aufgrund großer trockener Venen	1. größerer Inhomogenität des magnetischen Feldes (kann zu Bildstörungen führen) 2. noch teurer

FNIRS – Functional Near Infrared Spectroscopy / Nahinfrarotspektroskopie

- Misst BOLD-Kontraste über die erhöhte nahinfrarote Lichtreflektion oxygenierter vs. desoxygenierter roter Blutzellen

Vorteile vs. fMRT	Nachteile vs. fMRT
1. Tragbar 2. Billig 3. geeignet für Messung an Kindern	1. Geringere räumliche Auflösung 2. Kann keine tieferliegenden Quellen entdecken (nur ca. 2-3 cm)

PET – Positronen-Emissions-Topographie

- Vorgänger von fMRT (für menschliches brain imaging)
- VPn wird eine radioaktiver Markersubstanz verabreicht (fluorodeoxyglucose), welche Gammastrahlung abgibt, die der PET-Scanner detektieren kann
 - die Konzentration des Markers ist in Gewebe mit mehr Blutvolumen höher, sodass PET-Scanner ebenso wie fMRT und NIRS den BOLD-Kontrast messen

- fMRT ist meist überlegen, da:
 - Es eine höhere räumliche Auflösung aufweist
 - Es kein radioaktives Material benötigt
 - PET ist teurer als fMRT

Weitere Techniken (nicht näher besprochen)

1. TMS (transkranielle Magnetstimulation): mit Hilfe starker [Magnetfelder](#) können Bereiche des [Gehirns](#) sowohl stimuliert als auch gehemmt werden
2. tDCS (transkranielle direct current stimulation / transkranielle Gleichstromstimulation): mithilfe von Elektroden wird das Gehirn/der Kortex elektrisch stimuliert, wodurch die kortikale Aktivität beeinflusst werden kann (weniger Risiken als TMS)
3. DTI (Diffusions-Tensor-Bildgebung): durch die räumliche Darstellung der Diffusionsbewegungen von Wassermolekülen kann die Orientierung von Nervenfaserbündeln dargestellt werden
4. MRS (Magnetresonanzzpektroskopie): erlaubt die Darstellung chemischer Substanzen (z.B. Neurotransmitter) im Gehirn