

Live aus der Denkzentrale

Neue bildgebende Verfahren machen es möglich, die Hirnaktivität in Echtzeit zu beobachten. Mit dieser Technik könnten Patienten lernen, fehlerhafte Schaltkreise selbst zu korrigieren.

VON HEATHER CHAPIN UND SEAN MACKEY

AUF EINEN BLICK

Selbsteilung im Labor

1 Beim fMRT-Neurofeedback beobachten Probanden im Magnetresonanztomografen ihre Hirnaktivität in Echtzeit und versuchen sie per Gedankenkraft zu steuern.

2 Die Technik könnte es Patienten erlauben, fehlerhafte Schaltkreise im Gehirn selbst zu kontrollieren und somit chronischen Schmerz, Parkinson oder Suchterkrankungen zu lindern.

3 Auch Kreativität und Merkfähigkeit lassen sich auf diese Weise fördern.

Melanie Thernstrom liegt reglos in der Röhre eines Magnetresonanztomografen. Sie versucht, das laute Brummen der Maschine zu ignorieren, denn ihre Aufmerksamkeit soll etwas anderem gelten: einer flackernden Flamme auf einem Bildschirm vor ihren Augen. Das Feuer hüpfert auf und ab und verändert dabei laufend seine Größe. Ähnlich wie der brennende Schmerz, den sie in Nacken und Schultern verspürt. Mal lodert er grell auf, mal glimmt er fast unmerklich vor sich hin.

Tatsächlich repräsentiert die Größe der Flamme die Aktivität eines bestimmten Areals in Thernstroms Gehirn, des anterioren zingulären Kortex (ACC, siehe Hirnscan S. 54). Dieser Bereich des Vorderhirns ist unter anderem an der Schmerzwahrnehmung beteiligt. In dem Maß, wie das Brennen im Rücken zunimmt, erhöht sich auch die Aktivität des ACC – und entsprechend schwillt das Feuer auf dem Monitor an. Die Patientin soll nun die Flamme kraft ihrer Gedanken zum Schrumpfen bringen. Die Hoffnung der Wissenschaftler, die die Frau durch ein Fenster im Kontrollraum beobachten: Mit dem neuronalen Aufruhr in jener Region sollte auch das Schmerzempfinden nachlassen.

Wie viele Menschen leidet Thernstrom unter chronischen Rückenschmerzen (siehe GuG 5/2010, S. 68). Sie hat sich in unserer Arbeitsgruppe

in der Stanford University (Kalifornien) gemeldet, um eine neue Technologie zu erproben – das Echtzeit-fMRT-Neurofeedback. Die Idee: Anhand der Muster ihrer eigenen Hirnaktivität können Patienten womöglich selbst schädliche oder unerwünschte kognitive Prozesse abstellen. Statt neue Verhaltensweisen einzuüben, sollen die Betroffenen bei diesem Ansatz das Feuern der Neurone allein per Gedankenkraft verändern.

Wir baten insgesamt acht gesunde Teilnehmer und acht Patienten mit chronischen Schmerzen in unser Labor. Sie sollten mentale Strategien entwickeln, das Feuer auf dem Bildschirm zu löschen. Währenddessen analysierte eine Software die Aktivität ihres ACC und passte die Größe der Flamme entsprechend an (siehe Grafik S. 55). Anschließend bewerteten die Schmerzpatienten die Stärke ihrer Beschwerden auf einer Skala von eins bis zehn. Bei den gesunden Probanden ermittelten wir die Schmerzschwelle mit einer so genannten Thermode auf ihren Handflächen: Dieses kleine Gerät lässt sich schrittweise erhitzen, bis es anfängt weh zu tun.

Doch die eigene Hirnaktivität zu beeinflussen ist gar nicht leicht. Ähnlich wie ein Baby durch Versuch und Irrtum lernt, mit seinen Fingern einen Gegenstand zu greifen, müssen die Probanden zunächst herausfinden, welche Gedanken das Feuer schüren und welche es ersticken. So stellte sich Melanie Thernstrom anfangs vor, sie läge am Strand, und das Brennen sei die ange-



Draht zum Gehirn
Mittels Bildgebungs-
techniken können
Patienten ihre Hirn-
aktivität live verfolgen
und lenken.

Was kostet ein MRT-Scan?

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft veranschlagt für den reinen Betrieb eines Magnetresonanztomografen etwa 150 Euro pro Stunde. Dazu kommen Personalkosten, Wartungskosten et cetera. Da erfolgreiches Neurofeedback eines intensiven Trainings bedarf, summieren sich die Kosten schnell auf vier- bis fünfstellige Beträge.

nehme Wärme der Sonne. Doch die erhoffte Wirkung blieb aus – die Flamme wurde sogar noch größer.

Schließlich kommt ihr der zündende Gedanke. Sie erinnert sich an eine Geschichte über einen religiösen Märtyrer, der auf dem Scheiterhaufen verbrannte. Als sie sich ausmalt, wie sie in seine Lage schlüpft, schrumpft plötzlich das Feuer auf dem Bildschirm, und das Stechen im Nacken lässt nach. So findet jeder seine eigene Strategie, Herr über seine Hirnaktivität zu werden.

Wie wir feststellten, gelang es sowohl Gesunden als auch Schmerzpatienten ihre Beschwerden zu manipulieren. Je besser die Teilnehmer ihren ACC kontrollierten, desto stärker ließ ihr Schmerz nach. So reduzierten ihn die Patienten nach eigener Einschätzung um durchschnittlich die Hälfte. Mehr noch: Schalteten wir den Bildschirm aus – verschwand also das visuelle Feedback –, so behielten die Probanden dennoch eine gewisse Zeit lang die Kontrolle über ihren ACC. Das Training schien nachhaltig zu wirken.

Pionierarbeit mit EEG-Haube

Während Neurofeedback per Echtzeit-fMRT eine vergleichsweise junge Therapiemethode ist, erforschten Wissenschaftler bereits vor etwa 40 Jahren eine entsprechende Anwendung der Elektroenzephalografie (EEG). Mit Hilfe von Elektroden erfassten sie die elektrische Aktivität von Nervenzellverbänden an der Kopfoberfläche und übertrugen sie in ein Bild, das der Proband auf einem Monitor sah. Wie auch in unserem fMRT-Experiment bestand die Aufgabe darin, das Bild vor dem inneren Auge zu verändern und so die eigene Hirnaktivität zu regulieren.

Das therapeutische Potenzial des Neurofeedback weckte schon bald das Interesse zahlreicher

Forscher. Sie erprobten die Methode an diversen Störungsbildern, darunter Angststörungen, Depressionen, Suchterkrankungen und chronischen Schmerzen. Sogar manche Epilepsiepatienten lernten, die neuronalen Rhythmen zu regulieren, welche ihren Anfällen zu Grunde lagen.

Doch das EEG-Neurofeedback hat einen großen Haken: Die von den Elektroden gemessenen Signale lassen sich nur schwer einem spezifischen Hirnareal zuweisen. Insbesondere die Aktivität tiefer Hirnstrukturen, die an vielen Erkrankungen beteiligt sind, ist an der Schädeloberfläche kaum zu erfassen.

In den 1990er Jahren hielt die funktionelle Magnetresonanztomografie Einzug in die neuronale Bildgebung (siehe GuG 4/2012, S. 62). Bei dieser mittlerweile weit verbreiteten Technik misst ein Scanner den Sauerstoffgehalt im Blut. Werden die Neurone in einer bestimmten Hirnregion aktiv, benötigen sie mehr Sauerstoff aus den benachbarten Blutgefäßen und kurbeln so den Blutfluss in dieser Region an. Das Verhältnis von sauerstoffreichem zu sauerstoffarmem Blut ist daher ein zuverlässiger Indikator für das Ausmaß der Hirnaktivierung.

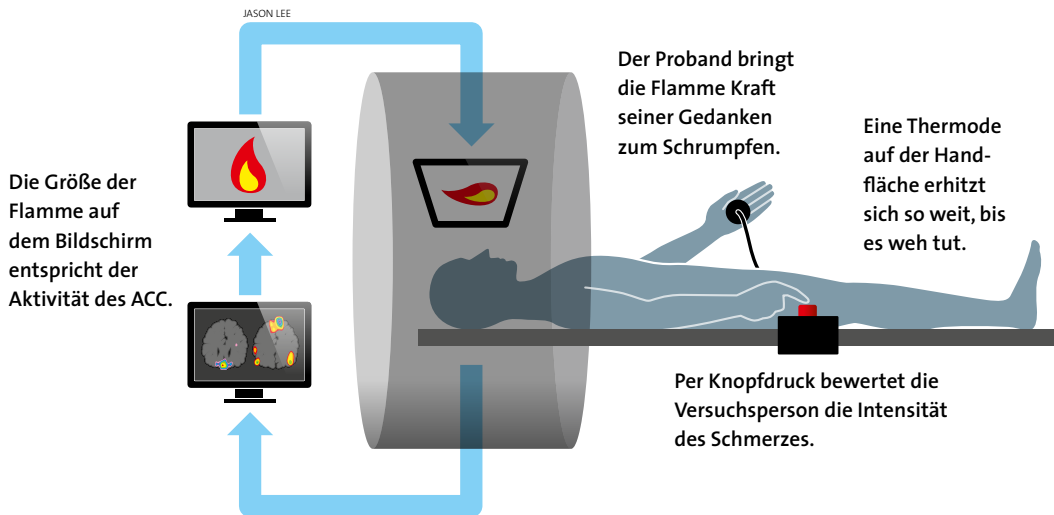
Den ersten Schritt in Richtung fMRT-Neurofeedback machten 1995 Robert Cox und seine Kollegen, damals am Medical College of Wisconsin in Milwaukee (USA). Die Biophysiker fanden einen Weg, Daten aus Gehirnschans in Echtzeit – und nicht, wie bis dahin üblich, im Anschluss an das Experiment – zu analysieren. Forscher konnten das fMRT-Signal nun zeitnah ihren Probanden präsentieren, damit diese es per Gedankenkraft veränderten.

Wenig später begann unsere Arbeitsgruppe in Stanford zusammen mit dem Neurowissenschaftler Christopher deCharms, das Echtzeit-

Hort der Pein

Verspüren wir Schmerzen, regt sich unser anteriorer zingulärer Kortex (gelbe Fläche im Fadenkreuz). Per fMRT-Neurofeedback lässt sich seine Aktivität reduzieren und damit der Schmerz lindern.





Lauschangriff im Gehirn

Beim Neurofeedback per Echtzeit-fMRT registriert ein Magnetresonanztomograf die Nervenzellaktivität in einem bestimmten Hirnareal, etwa im anterioren zingulären Kortex (ACC), der an der Schmerzwahrnehmung beteiligt ist. Ein Computer wandelt das Signal in ein symbolhaftes Bild um – zum Beispiel das einer Flamme, deren Größe je nach ACC-Aktivität variiert. Der Proband versucht, das Feuer per Gedankenkraft zu ersticken und damit sein Schmerzempfinden zu dämpfen.

fMRT für die praktische Anwendung in der Therapie zu testen. Dabei konzentrierten wir uns auf die Behandlung von Schmerzpatienten wie Melanie Thernstrom.

Andere Wissenschaftler nutzten das fMRT-Neurofeedback, um die Symptome der Parkinsonkrankheit zu lindern. So testeten Leena Subramanian und ihre Kollegen von der Cardiff University in Wales im Jahr 2011 die Technik an Parkinsonpatienten im Frühstadium. Dazu baten sie die Studienteilnehmer zweimal ins Labor. Beim ersten Besuch sollten sie sich im Scanner eine bestimmte Bewegung vorstellen. Währenddessen präsentierten die Neurowissenschaftler ihnen die momentane Aktivität ihres supplementär-motorischen Areals (SMA) auf einem Bildschirm. Diese Region der Großhirnrinde ist an Bewegungsabläufen beteiligt und bei Parkinsonpatienten meist weniger aktiv als bei Gesunden. Sobald die Patienten an die entsprechende Bewegung dachten, regte sich ihr SMA.

Imaginäre Turnübungen

Während einer sechsmonatigen Pause sollten die Teilnehmer ihre Strategie, das Hirnareal gedanklich zu »beleben«, zu Hause weiter üben. Eine Kontrollgruppe, die während des Scans kein Feedback über die Aktivität ihres Motorkortex bekommen hatte, wiederholte in der gleichen Zeit ebenfalls regelmäßig den imaginären Bewegungsablauf.

Als die Forscher die Teilnehmer zum zweiten Mal in die Röhre schoben, war bei den Patienten, die Neurofeedback erhalten hatten, das SMA

deutlich stärker aktiviert als bei den Kontrollprobanden. Außerdem schnitten sie bei einer Geschicklichkeitsaufgabe besser ab. Und das Wichtigste: Auch die klinischen Symptome der Parkinsonerkrankung hatten deutlich nachgelassen, etwa das typische Zittern, der Tremor.

Das Betrachten einzelner Hirnregionen per Echtzeit-fMRT brachte, wie diese Studien zeigen, faszinierende Erkenntnisse – doch die Methode stieß bald an Grenzen. Denn jeder Gedanke und jedes Gefühl aktiviert ausgedehnte Netzwerke von Nervenzellverbänden. Selbst die simpelsten Vorgänge wie das Schnuppern an einer Blume gehen mit einer präzisen Choreografie neuronaler Prozesse einher.

Deshalb wäre es ein großer Fortschritt, wenn Patienten mit Hilfe des Neurofeedback lernten, das Zusammenspiel mehrerer Hirnareale zu dirigieren. Doch dafür müssen Wissenschaftler die komplexen Aktivierungsmuster im Gehirn bestimmten mentalen Zuständen zuordnen. Tatsächlich ist Forschern bereits eine einfache Form dieses »Gedankenlesens« per fMRT gelungen (siehe GuG 6/2011, S. 14).

Die Suche nach der neuronalen Signatur bestimmter Vorstellungen ist mühsam: Zunächst muss sich der Betreffende im MRT-Scanner Tausende von Fotos ansehen. Die entsprechenden Aktivierungsmuster werden dann zusammen mit den Bildern in eine Datenbank eingespeist. Registriert nun der Computer während eines fMRT-Scans ein bekanntes Muster, kann er darauf zurückschließen, was der Proband gerade vor seinem inneren Auge sieht (siehe GuG 10/



MEHR ZUM THEMA

Lenke dein Gehirn!

Wie Forscher Hirnaktivität in Echtzeit nachverfolgen (GuG 10/2011, S. 28)

»Das ist wie Radfahren«

Interview mit dem Neuropsychologen Niels Birbaumer über Neurofeedback in der Therapie (GuG 10/2011, S. 36)

Quellen

- Chapin, H. et al.:** Real-Time fMRI Applied to Pain Management. In: Neuroscience Letters 520, S. 174–181, 2012
- LaConte, S. M.:** Decoding fMRI Brain States in Real-Time. In: NeuroImage 56, S. 440–454, 2011
- Subramanian, L. et al.:** Real-Time Functional Magnetic Resonance Imaging Neurofeedback for Treatment of Parkinson's Disease. In: Journal of Neuroscience 31, S. 16309–16317, 2011

2011, S. 40). Da sich die Kodierung von Gedanken und Erinnerungen im Gehirn von Mensch zu Mensch unterscheidet, müssen die Forscher eine solche Datenbank für jeden Probanden gesondert anlegen.

Eine erste Anwendungsmöglichkeit für diese Methode fand Stephen LaConte, heute am Virginia Tech Carilion Research Institute in Roanoke (USA). Ihm gelang es, anhand von Aktivierungsmustern im Gehirn anzugeben, ob ein Raucher gerade Verlangen nach einer Zigarette verspürt oder nicht. Würde es gelingen, die Aktivität des Hirnnetzwerks per Gedankenkraft einzudämmen, könnten Suchtkranke möglicherweise ihr Laster überwinden.

Das Potenzial von Echtzeit-fMRT beschränkt sich jedoch nicht auf die Behandlung von Krankheiten. So könnten Menschen mit Hilfe von Neurofeedback auch Taktiken entwickeln, mit denen sie ihre Kreativität steigern. Sobald sie herausgefunden haben, wie sie einen »kreativeren« Gehirnzustand erzeugen, müssten sie ihn im Alltag trainieren – ähnlich wie die Patienten in der besagten Parkinsonstudie.

Tatsächlich haben Neurowissenschaftler erste Fortschritte darin erzielt, mit Hilfe von Echtzeit-fMRT die Leistungsfähigkeit von Probanden zu steigern. Schon lange ist bekannt, dass unsere Fähigkeit, neue Informationen aufzunehmen, schwankt: Mal fällt es uns besonders leicht zu lernen, mal können wir uns noch so anstrengen – die Vokabeln wollen einfach nicht hängen blei-

ben. Ein Team um John Gabrieli vom Massachusetts Institute of Technology in Cambridge versuchte 2012, per Echtzeit-fMRT die Zeitfenster aufzuspüren, in denen Probanden besonders aufnahmefähig waren. Ließe sich so vielleicht der Lernerfolg steigern?

Die Forscher zeigten den Teilnehmern im Scanner 250 Fotos und werteten gleichzeitig die Aktivität des parahippocampalen Ortsareals (englisch: parahippocampal place area, PPA) in Echtzeit aus. Diese Region regt sich immer dann, wenn wir uns bestimmte Szenen einprägen und uns später an sie erinnern. Im Anschluss an den Scan sollten die Probanden aus 500 Bildern die bereits gesehenen wiedererkennen.

Wie die MIT-Forscher feststellten, erinnerten sich die Teilnehmer besser an Szenen, die sie gesehen hatten, als ihr PPA besonders aktiv war. Es scheint also durchaus möglich, Lernprozesse zu beschleunigen, indem wir unser Trainingsprogramm an den aktuellen Zustand des Gehirns anpassen.

Für die breite Anwendung eignet sich das fMRT-Neurofeedback momentan allerdings noch nicht. Der Hauptgrund: So ein fMRT-Scanner kostet ein Vermögen (siehe »Was kostet ein MRT-Scan?«, S. 54). Zum bloßen Vokabeln lernen ist eine Messung daher schlicht viel zu teuer. Deshalb werden Mediziner mit der Methode in erster Linie Erkrankungen behandeln, die mit konventionellen Therapien nur schwer zu heilen sind, etwa chronische Schmerzen oder Sucht.

Möglicherweise ließe sich die Echtzeit-fMRT mit erschwinglicheren, mobilen Bildgebungstechnologien wie dem EEG oder der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) kombinieren. Das Prinzip der NIRS ähnelt dem der fMRT – nur registriert sie die Hirnaktivität mit Hilfe von Licht an Stelle eines Magneten. Allerdings bilden die Techniken die Hirnfunktionen nicht in der gleichen Auflösung ab wie ein Scan. Forscher könnten jedoch per Echtzeit-fMRT ein Porträt der Hirnaktivität erstellen und dieses dann in eine EEG- oder NIRS-Signatur übertragen. Die eigentliche Therapie fände dann außerhalb des Scanners statt. Doch das ist bislang noch Zukunftsmusik. ~

Heather Chapin arbeitet als Postdoc an der Stanford School of Medicine (Kalifornien). *Sean Mackey* ist dort Professor für Schmerzmedizin und Neurologie.