ARTIKEL DES QUARTALS

Vorgestellt von Josef P. Rauschecker, Department of Physiology and Biophysics, Georgetown University School of Medicine, Washington DC, USA

A voice region in the monkey brain

Christopher I. Petkov, Christoph Kayser, Thomas Steudel, Kevin Whittingstall, Mark Augath und Nikos K. Logothetis

Erschienen in *Nature Neuroscience*, März 2008; 11(3): 367-74

Funktionelle Magnetresonanztomografie beim Rhesusaffen: Eine Stimmregion im vorderen Temporallappen

Wie bestimmt unser Gehirn die Identität eines Anrufers, wenn wir seine Stimme am Telefon hören? Gesprochene Sprache enthält außer den semantischen Informationen, die uns den Sinngehalt eines Satzes angeben, noch mehrere andere Ebenen, die wir gleichzeitig auswerten: Die Emotion (Freude, Trauer, Erregung, Zorn), mit der ein Satz gesprochen wird; das Geschlecht des Sprechers, seine Herkunft (z. B. aufgrund eines Akzentes) und sein ungefähres Alter; ja, wir können sogar eine bestimmte Person an ihrer Stimme erkennen, wenn wir sie zuvor schon öfters gehört haben, und können sie als diese identifizieren, auch wenn sie einmal heiser ist. Obwohl die auditorische Hirnforschung noch recht weit davon entfernt ist, die einzelnen Merkmale („Features“) zu kennen, die bei diesen Prozessen eine Rolle spielen, beginnt sie die Hirngebiete zu identifizieren, die dabei aktiv sind.

Beim Hören, genau wie beim Sehen und anderen Sinnessystemen auch, können wir zwei fundamentale Funktionen unterscheiden: Wir wollen wissen, woher ein Geräusch kommt (räumliche Analyse; „wo?“) und welches Objekt oder Lebewesen möglicherweise dieses Geräusch erzeugt hat (Objektidentifikation; „wer oder was?“). Beim Sehvorgang ist diese funktionelle Unterscheidung seit Längerem bekannt und unterschiedlichen Hirnregionen zugeordnet. Zum Beispiel kann man Rhesusaffen darauf trainieren, eine Unterscheidung von visuell dargebotenen Reizen aufgrund ihrer Gestalt (Identität) oder aufgrund des Ortes im Gesichtsfeld (oder in Relation zu anderen Objekten) zu erlernen. Wird durch eine Läsion ein Gebiet im Parietallappen zerstört, so kann der Affe die räumliche Unterscheidung nicht mehr machen; wird dagegen ein Gebiet im unteren vorderen Temporallappen lädiert, kann der Affe die Objekte nicht mehr aufgrund ihrer Form unterscheiden.

Zwei analoge Verarbeitungszweige für Lokalisation und Identifikation wurden mit elektrophysiologischen und neuroanatomischen Methoden auch im kortikalen Hörsystem des Rhesusaffen nachgewiesen (Rauschecker und Tian, PNAS, 2000) und kürzlich auch bei der Katze in Ausschaltversuchen bestätigt (Lomber und Malhotra 2008). Beim Menschen wurde die Existenz dieser dualen Systeme (sowohl im visuellen als auch im auditorischen System) mit funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT), Magnetoenzephalografie (MEG) und anderen bildgebenden Methoden ebenfalls bestätigt. Eine neue Arbeit von Petkov und Kollegen am Max-Planck-Institut für Biologische Kybernetik in Tübingen schlägt nun die Brücke zwischen den invasiven Studien beim Affen und den Ergebnissen der Bildgebung am Menschen, indem es fMRT-Studien am Rhesusaffen durchführte (Petkov et al., *Nature Neurosci.*, 2008). Diese Technik wurde in den letzten Jahren am gleichen Institut von Logothetis weitgehend selbst entwickelt und perfektioniert und kann nun zur Beantwortung fundamentaler Fragen wie der eingangs gestellten verwendet werden.

Eine Stimmregion beim Menschen wurde schon vor ein paar Jahren auf der Grundlage von fMRT-Untersuchungen von einer Gruppe in Montreal postuliert. Sie befindet sich im Sulcus temporalis superior (STS), ebenfalls im vorderen oberen Temporallappen. Diese Hirnregion antwortet mit erhöhter Durchblutung bzw. erhöhtem Sauerstoffverbrauch nicht nur auf das Ertönen menschlicher Sprachlaute, sondern auch auf von Menschen erzeugten anderen Stimmlauten, wie Lachen oder Weinen, aber nicht auf Tierstimmen oder Maschinengeräusche.

Die von Petkov und Kollegen entdeckte Hirnregion beim Affen reagiert ebenfalls hochselektiv auf artspezifische Laute und ist ebenfalls nicht auf die Art der Vokalisation beschränkt, sondern identifiziert den Rufer unabhängig von dem genauen Typ des Lautes. Zwar liegt die Stimmregion beim Affen etwas höher im Temporallappen als die entsprechende Region beim Menschen, sie befindet sich jedoch in derselben generellen Gegend im Primatengehirn, nämlich im vorderen oberen Temporallappen. Dies zeigt, dass verschiedene Primatenarten im Laufe der Evolution bis hin zum Menschen die gleiche Hirnregion zum Zweck der auditorischen Objekterkennung verwenden und dass Stimmenerkennung ein ähnlich hoch spezialisierter Vorgang ist wie die Gesichtererkennung im visuellen Bereich.

Einzelzellableitungen bei wachen Affen müssen nun zeigen, wie sich einzelne Neurone in diesem Hirngebiet verhalten. Entsprechende Untersuchungen am National Institute of Mental Health in Bethesda, Maryland und an der Georgetown-Universität in Washington DC sind bereits im Gange und zeigen eine hohe Selektivität der Zellen für artspezifische Laute (im Vergleich zu artifiziellen oder maschinenartigen Geräuschen). Diese

Primaten erkennen ihre Artgenossen anhand von Ruf Lauten, genau so, wie wir Menschen andere Personen an ihrer Stimme erkennen, und das Gehirn beider Spezies verwendet dabei die gleichen Areale. Die Arbeit von Dr. Petkov und Kollegen belegt, dass die Fähigkeit des Gehirns Stimmen zu erkennen und Individuen zuzuordnen nicht auf Menschen beschränkt ist, und lässt vermuten, dass sich die Grundlagen zur Verarbeitung von Sprache sich aus diesen einfacheren Strukturen entwickelt haben. Kurz gesagt, dass die neuronalen Grundlagen zur Stimm- und Spracherkennung nicht einzigartig, und auf Evolutionsebene im Menschen neu entstanden sind, sondern sich langsam aus den entsprechenden Arealen in unseren Vorfahren entwickelt haben. Die Magnetresonanztomografien oben zeigen die primäre Hörwind (blau, ganz rechts) sowie die Position der neu entdeckten Stimmregion (rot).

Thomas Steudel, Christopher Petkov, Nikos Logothetis, Mark Augath, Christoph Kayser und Kevin Whittingstall (von links nach rechts)

Selektivität nimmt von der primären Hörrinde ausgehend innerhalb des oberen Temporal-lappen nach anterior stetig zu. Injektion von anterograden und retrograden Tracern in die so identifizierten kortikalen Gebiete wird außerdem zeigen, woher diese selektiven Regionen ihre Eingänge bekommen. Viel spricht dafür, dass die Musterverarbeitung im Hörsystem auf diesem Niveau ähnlich verläuft wie im visuellen System, nämlich in Form einer Konvergenz auf mehreren hierarchischen Ebenen. Diese Verschaltung führt letztendlich zu hoher Selektivität einerseits und zu hoher Invarianz gegenüber Störeinflüssen andererseits.

Assoziation zwischen gehörter und gesehener Information führt schließlich dazu, dass wir das Gesicht unseres Freundes förmlich vor uns sehen, wenn wir seine Stimme am Telefon hören.

Literatur

Rauschecker, J.P. und Tian, B. (2000): Mechanisms and streams for processing of "what" and

"where" in auditory cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97, 11800-11806.

Lomber, S.G. und Malhotra, S. (2008): Double dissociation of 'what' and 'where' processing in auditory cortex. *Nat Neurosci.* 2008 May; 11(5): 609-616.

Kurzbiografien

Christopher Petkov ist Neurowissenschaftler und führt vergleichende Studien zum Hörsystem durch, mit dem Ziel, die evolutionären Grundlagen unserer vokalen Fähigkeiten wie der Spracherkennung zu verstehen. Er machte seinen Abschluss (PAD) in Neurowissenschaften an der Universität von Kalifornien Davis, wo er untersuchte wie Zellen im Hörsystem eine stabile Wahrnehmung trotz einer sich ändernden und veräuschten Umgebung erzeugen. Momentan arbeitet er als Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Biologische Kybernetik in Tübingen, wo er in der Abteilung von Prof. Logothetis moderne bildgebende Methoden mit neurophysiologischen Ansätzen kombiniert. Dabei wurde er durch Stipendien der Alex-

ander- von-Humboldt- und der Max-Planck-Gesellschaft unterstützt. Im Herbst 2008 wird er an das Neurowissenschaftliche Institut der Universität von Newcastle ziehen, wo seine Arbeitsgruppe die neurobiologischen und evolutionären Grundlagen der Kommunikation weiter verfolgen wird.

Nikos K. Logothetis ist Direktor der Abteilung „Physiologie kognitiver Prozesse“ am Max-Planck-Institut für Biologische Kybernetik in Tübingen. Er machte einen Abschluss in Mathematik an der Universität von Athen und in Biologie an der Universität von Thessaloniki. Seine Doktorarbeit in menschlicher Neurobiologie führte ihn an die Ludwig-Maximilians-Universität in München. Nach einer Zeit am Massachusetts Institute of Technology zog er 1990 an das Baylor College of Medicine in Houston, Texas, wo er an den neuronalen Grundlagen der bewussten visuellen Wahrnehmung und der Objekterkennung arbeitete. Sieben Jahre später wurde er Direktor am MPI in Tübingen, wo er seine Arbeit an den Grundlagen der Wahrnehmung mittels Kombination von bildgebenden und neurophysiologischen Verfahren fortsetzte. Prof. Logothetis erhielt die DeBakey-Medaille, den Golden Brain Award der Minerva-Stiftung, den Louis-Jeantet-Prize für Medizin, sowie den Zülch- und den IPSEN-Preis.

Korrespondenzadresse

Christopher Petkov

Max-Planck-Institut für Kybernetik
Spemannstraße 38, 72076 Tübingen
Tel.: + 49 (0) 7071 601 659
Fax: + 49 (0) 7071 601 652
E-Mail: chris.petkov@tuebingen.mpg.de

SFB 780: Synaptische Mechanismen neuronaler Netzwerkfunktion (Synaptic mechanisms of neuronal network function)

Peter Jonas

Seit dem Beginn des Jahres 2008 fördert die Deutsche Forschungsgemeinschaft den neuen Sonderforschungsbereich „Synaptische Mechanismen neuronaler Netzwerkfunktion“ („Synaptic mechanisms of neuronal network function“) in Freiburg im Breisgau. Der Son-

derforschungsbereich wird im Wesentlichen durch Arbeitsgruppen der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg getragen. Dabei kommen die Teilprojektleiter aus dem Institut für Anatomie und Zellbiologie, dem Physiologischen Institut, dem Institut für Experimentelle und

Klinische Pharmakologie und Toxikologie, der Neurologischen Universitätsklinik, der Neurochirurgischen Universitätsklinik, der Radiologischen Universitätsklinik, den Instituten für Biologie I und III, dem Zentrum für Neurowissenschaften (ZfN), dem klinischen Neurozentrum und dem „Bernstein Center for Computational Neuroscience“ (BCCN) in Freiburg. Darüber hinaus ist eine Arbeitsgruppe aus dem Friedrich-Miescher-Institut in Basel beteiligt. Derzeit besteht der Sonderforschungsbereich aus 16 Teilprojekten und einem Zentralprojekt.

Ziel des neuen Sonderforschungsbereiches ist es, ein detailliertes und quantitatives Bild