

Melissa E. LIBERTUS, Durham, NC, USA

## **Neuronale Marker der Zahlenverarbeitung in Säuglingen und Kindern**

Neurowissenschaftliche Studien deuten darauf hin, dass der Frontal- und Parietallappen wichtige Bestandteile eines neuronalen Zahlennetzwerkes sind [1,2]. Bildgebende Verfahren zeigen, dass der Parietallappen besonders dann aktiv ist, wenn die Bedeutung von numerischer Information repräsentiert wird [3]. Dabei spielt es keine Rolle, in welchem Format diese Information dargestellt ist (z. B. in symbolischer Form als arabische Zahl oder Zahlwort, oder in nicht-symbolischer Form als Punktmenge). Das Lösen arithmetischer Probleme und anderer komplexer numerischer Aufgaben hingegen aktiviert zusätzlich Regionen im Frontallappen [4,5]. Diese frontalen Regionen scheinen generell für Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis wichtig zu sein, obwohl auch hier bereits zahlenspezifische Repräsentationen gefunden wurden [6].

Verhaltensstudien deuten auf ähnliche Mechanismen der Zahlenverarbeitung in Säuglingen, Kindern und Erwachsenen hin: Bei Säuglingen hängt die Fähigkeit, die Größen von Mengen mit mehr als 4 Elementen zu unterscheiden, davon ab, in welchem Zahlverhältnis diese zueinander stehen [7,8]. Ein ähnliches Muster findet man im Kindes- und Erwachsenenalter bei numerischen Größenvergleichen [9]. Diese und andere Parallelen legen nahe, dass sich im Gehirn schon früh ein mentales Zahlennetzwerk entwickelt, das die Grundlage für die Zahlenverarbeitung im Erwachsenenalter darstellt. Direkte Studien, die diese Hypothese untermauern können, sind allerdings rar. In einem passiven numerischen Adaptionsparadigma wurde gezeigt, dass 4-jährige Kinder ähnliche Regionen im Parietallappen wie Erwachsene aktivieren [10] und im Alter von 5 Jahren zeigen Kinder und Erwachsene einen analogen neuronalen Distanzeffekt, wenn sie numerische Größen vergleichen [11]. Keine dieser Studien hat jedoch bislang das neuronale Zahlennetzwerk in präverbalen Säuglingen untersucht.

### **1. Zahlenverarbeitung im Säuglingsgehirn**

In unserer ersten Studie wurden ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) von 7 Monate alten Säuglingen gemessen. Den Säuglingen wurden zunächst verschiedene Exemplare einer bestimmten Anzahl an Kreisen (8 oder 16) gezeigt (Gewöhnungsphase). Der Gesamtflächeninhalt, Gesamtumfang und die Anordnung der Kreise wurden dabei sorgfältig variiert. Während der Gewöhnungsphase war daher einzig die Anzahl der Elemente konstant. Direkt im Anschluss daran wurden den Säuglingen entweder Mengen mit der

bekannten Anzahl oder einer neuen Anzahl (8 und 16) präsentiert (Testphase). EKPs zu Beginn der Gewöhnungsphase zeigen signifikante Unterschiede in einer frühen negativen EKP-Komponente zwischen 300 und 550 ms post-stimulus. Diese Resultate stehen im Einklang mit Ergebnissen anderer Studien und deuten darauf hin, dass Säuglinge die Mengen von Objekten erfassen, eine mentale Repräsentation erstellen und im Arbeitsgedächtnis verarbeiten. Ein Vergleich der EKPs zwischen Testexemplaren der bekannten und der neuen Anzahl zeigt signifikante Unterschiede im selben Zeitfenster zwischen 300 und 550 ms post-stimulus (Abb. 1). Dieser Effekt ist besonders über frontalen Elektroden erkennbar und deutet darauf hin, dass bereits 7 Monate alte Säuglinge neuronale Korrelate aufweisen, die zwischen bekannten und neuen numerischen Größen unterscheiden.

## **2. Symbolische und nicht-symbolische Zahlenverarbeitung im Gehirn von Grundschulern**

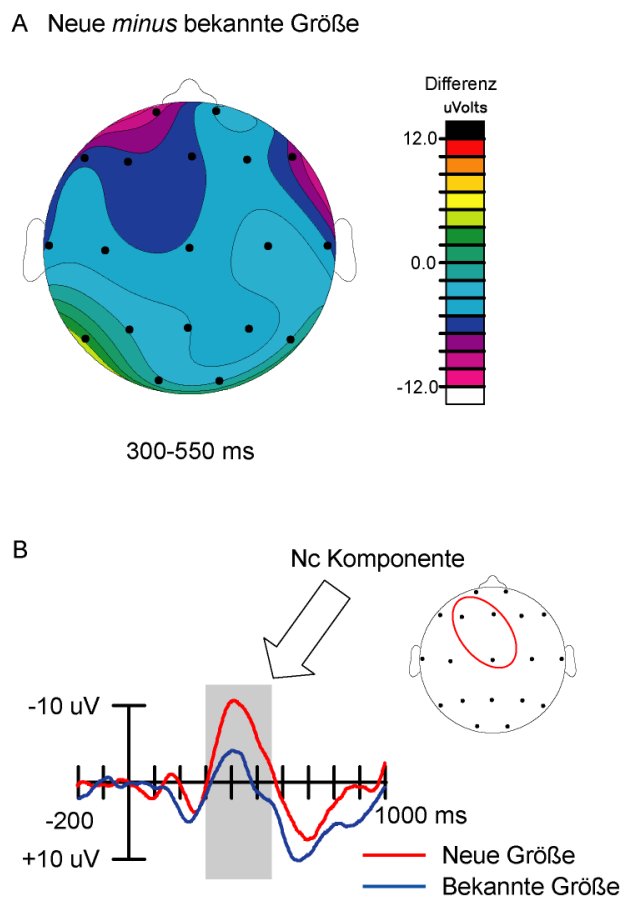
Ein weiterer Meilenstein in der Entwicklung des kindlichen Zahlenverständnisses findet im frühen Grundschulalter statt, wenn Kinder den Zusammenhang zwischen Mengen und numerischen Symbolen, vor allem den arabischen Zahlen lernen. Es bedarf einiger Zeit und Übung, bis diese Verbindung automatisiert ist [12]. Es stellt sich daher die Frage, welche Gehirnregionen bei Kindern in diesem Alter aktiv sind, während sie symbolische und nicht-symbolische numerische Aufgaben lösen.

In unserem zweiten Experiment verglichen 7-jährige Kinder und Erwachsene numerische Größen von arabischen Zahlen und Punktemengen mit einfachen (1:2) und schwierigen (3:4) Zahlenverhältnissen, während ihre Gehirnaktivität mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) erfasst wurde. Bei Erwachsenen finden wir Unterschiede in der Gehirnaktivität zwischen den beiden Zahlenverhältnissen sowohl im linken als auch rechten hinteren Parietallappen, wobei der rechte Parietallappen ausschließlich bei Mengenvergleichen aktiviert wird. Bei Kindern hingegen sind Differenzen nur in der rechten Hemisphäre zu erkennen. Dieser Unterschied deutet darauf hin, dass die exakte Erfassung der Zahlenwerte im Alter von 7 Jahren noch nicht vollständig automatisiert ist und dass der linke Parietallappen für diese automatische Repräsentation der numerischen Information benötigt wird.

Zusammenfassend deuten unsere Studien auf eine frühe Entwicklung des fronto-parietalen Zahlennetzwerkes hin, dessen Funktionalität sich allerdings mit zunehmendem Alter verfeinert.

## Abbildungen

Abbildung 1:



A: Topographische Verteilung der Differenz zwischen neuen und bekannten Mengengrößen im Zeitraum von 300-550 ms post-stimulus. Die größten Effekte zeigten sich über frontalen Elektroden, besonders über der linken Hirnhälfte. B: Ereignis-korrelierte Potenziale für neue (rot) und bekannte (blau) Mengengrößen über drei frontalen und zentralen Elektroden. Im Zeitraum zwischen 300 und 550 ms post-stimulus zeigte sich eine signifikant größere negative EKP-Komponente (Nc Komponente) für neue als für bekannte Größen.

## Literatur

- [1] Nieder, A., Miller, E. K. (2004). A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 101(19), 7457-7462.
- [2] Pesenti, M., Thioux, M., Seron, X., De Volder, A. (2000). Neuroanatomical Substrates of Arabic Number Processing, Numerical Comparison, and Simple Addition: A PET Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(3), 461-479.
- [3] Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L., Wilson, A. J. (2004). Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 218-224.

- [4] Dehaene, S., Spelke, E., Pineda, P., Stanescu, R., Tsivkin, S. (1999). Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain-Imaging Evidence. *Science*, 284, 970-974.
- [5] Kaufmann, L., Koppelstaetter, F., Delazer, M., Siedentopf, C., Rhornberg, R., Golaszewski, S., Felber, S., Ischebeck, A. (2005). Neural correlates of distance and congruity effects in a numerical Stroop task: an event-related fMRI study. *NeuroImage*, 25, 888-898.
- [6] Nieder, A., Freedman, D. J., Miller, E. K. (2002). Representation of the Quantity of Visual Items in the Primate Prefrontal Cortex. *Science*, 297, 1708-1711.
- [7] Xu, F., Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74, B1-B11.
- [8] Lipton, J. S., Spelke, E. S. (2003). Large-number discrimination in human infants. *Psychological Science*, 14(5), 396-401.
- [9] Sekuler, R., Mierkiewicz, D. (1977). Children's Judgments of Numerical Inequality. *Child Development*, 48, 630-633.
- [10] Cantlon, J. F., Brannon, E. M., Carter, E. J., Pelphrey, K. A. (2006). Functional Imaging of Numerical Processing in Adults and 4-y-Old Children. *PloS Biology*, 4(5), e125.
- [11] Temple, E., Posner, M. I. (1998). Brain mechanisms of quantity are similar in 5-year-old children and adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 95(13), 7836-7841.
- [12] Huntley-Fenner, G. (2001). Children's understanding of number is similar to adults' and rats': Numerical estimation by 5-7-year-olds. *Cognition*, 78(1), B27-B40.