

Funktionelle Nahinfrarotspektroskopie

Die neurokognitiven Prozesse, die der Verarbeitung und dem Verständnis auditiver Informationen zugrunde liegen, sind seit langem ein zentrales Forschungsthema in den Neurowissenschaften. Trotz bedeutender Fortschritte durch bildgebende Verfahren wie die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) und die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) ist das Sprachverständnis noch nicht vollständig geklärt. In den letzten Jahren hat sich die funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS) als ein wichtiges Instrument etabliert (Obrig und Villringer 2003).

Die fNIRS wurde erstmals 1977 durch Jobsis demonstriert. Er zeigte, dass es durch Nahinfrarotspektroskopie (NIR) möglich ist, nichtinvasiv die zerebrale Konzentration von oxygeniertem ([oxy-Hb]) und desoxygeniertem Hämoglobin ([deoxy-Hb]) zu messen. Ein wesentliches Problem bis dahin war die Überwindung der Schädeldecke, was durch die Verwendung von Nahinfrarotlicht gelöst wurde, da Haut und Knochen für diese Wellenlängen durchlässiger sind (Obrig und Villringer 2003). Die Methode nutzt Licht im Bereich von 600 bis 950 nm (Scholkmann et al. 2014) und hat sich aufgrund ihrer Vorteile gegenüber anderen Verfahren stark verbreitet.

Wenn das Gehirn durch einen Stimulus erregt wird, kommt es in der zuständigen Region zu einer erhöhten Aktivität, was einen verstärkten Sauerstoff- und Glukoseverbrauch zur Folge hat. Dies führt aufgrund der neurovaskulären Koppelung zu einem erhöhten Blutfluss in die Region, wodurch sich [oxy-Hb] und [deoxy-Hb] lokal verändern (Wolf et al. 2002; Pinti et al. 2020)). Diese hämodynamische Antwort kann durch das BOLD-Signal mittels fMRT nachgewiesen werden, auch wenn die physiologischen Prozesse noch nicht vollständig verstanden sind (Buxton 2012). Durch den gesteigerten Blutfluss kommt es zur funktionellen Hyperämie mit einer Erhöhung von [oxy-Hb] und einer Erniedrigung von [deoxy-Hb] (Pinti et al. 2020). In fMRT-Analysen entspricht dies einer Aktivierung jener Region, in der eine Abnahme von [deoxy-Hb] gemessen wird (Obrig und Villringer 2003; Kleinschmidt et al. 1996). Zudem kann das gesamte Hämoglobin gemessen werden, das mit dem Blutvolumen korreliert (Rossi et al. 2012).

Die fNIRS-Methode basiert auf Lichtabsorption und -streuung, wobei die Absorptionsrate von der molekularen Zusammensetzung abhängt (Obrig und Villringer 2003; Pinti et al. 2020). Im Nahinfrarotbereich wird Licht von Wasser, Hämoglobin und Proteinen nur minimal absorbiert, was die Durchdringung tieferer Gewebeschichten ermöglicht. Da oxygeniertes Hämoglobin Licht über 800 nm stärker absorbiert als desoxygeniertes, werden mindestens zwei Wellenlängen eingesetzt, um beide Formen differenzieren zu können. Diese Tatsache ist auch für die Pulsoxymetrie relevant, bei der durch Lichtabsorption der Oxygenierungsgrad des Blutes bestimmt wird (Pinti et al. 2020; Sinex 1999).

Wenn NIR-Licht auf die Kopfhaut trifft, wird ein Teil absorbiert und ein anderer reflektiert. Detektoren, die in einer gewissen Distanz zur Lichtquelle angebracht sind, erfassen das reflektierte Licht. Die Penetrationstiefe des Lichts hängt von der Distanz zwischen Quelle

und Detektor ab: größere Abstände erhöhen die Sensitivität für tiefere Gewebeschichten, aber auch das Signalrauschen. Als Kompromiss werden meist Distanzen von 3 bis 3,5 cm gewählt (Pinti et al. 2020). Die Absorption des Lichts durch [oxy-Hb] und [deoxy-Hb] ermöglicht die Messung ihrer Konzentrationsveränderungen. Absolute Werte können nicht erfasst werden, aber dies reicht für funktionelle Messungen in der Neurowissenschaft aus (Pinti et al. 2020; Gratton und Fabiani 2001).

Die fNIRS untersucht nicht die neuronale Aktivität selbst, wie z.B. die Elektroenzephalographie (EEG), sondern die hämodynamische Reaktion. Da es sich um ein intrinsisches Signal handelt, sind keine externen Substanzen erforderlich. Da neuronale und vaskuläre Aktivität gekoppelt sind, erlaubt die Methode Rückschlüsse auf die zeitlichen Abläufe im Gehirn. Allerdings reicht die Eindringtiefe des Lichts nur 3 bis 5 cm tief, weshalb vor allem der Kortex abgebildet wird (Gratton und Fabiani 2001).

Verglichen mit anderen Verfahren bietet fNIRS einige Vorteile, besonders in der Sprachforschung, aber auch Nachteile. Die räumliche Auflösung ist auf wenige Zentimeter begrenzt und im Vergleich zur fMRT geringer. Allerdings ist die Methode portabel und erlaubt Messungen in natürlicher Umgebung, weshalb sie häufig bei Kindern oder bettlägerigen Patienten eingesetzt wird. Zudem ist fNIRS im Gegensatz zur fMRT lautlos, was die Verwendung auditiver Stimuli ohne Störung ermöglicht. Die EEG hat hingegen eine hohe zeitliche, aber niedrige räumliche Auflösung, während bei der fNIRS das Gegenteil zutrifft. Die Kombination beider Methoden ermöglicht eine präzisere Darstellung der Gehirnaktivität, was zunehmend praktiziert wird (Pinti et al. 2020; Rossi et al. 2012).

Die Risiken der fNIRS sind gering. Eine potenzielle Gewebeüberhitzung durch Lichtbestrahlung ist möglich, aber unbedeutend. Wichtiger ist der Schutz der Augen vor direkter Lichtaussetzung. Die Strahlungsstärke von NIR-Licht ist jedoch im Vergleich zu Sonnenlicht sehr gering, sodass keine erheblichen Gefahren bestehen (Scholkmann et al. 2014).

Literatur:

- Buxton RB. Dynamic models of BOLD contrast. *Neuroimage*. 2012; 62(2):953–61.
- Gratton G, Fabiani M. Shedding light on brain function: the event-related optical signal. *Trends Cogn Sci*. 2001; 5(8):357–63.
- Kleinschmidt A, Obrig H, Requardt M, Merboldt KD, Dirnagl U, Villringer A et al. Simultaneous recording of cerebral blood oxygenation changes during human brain activation by magnetic resonance imaging and near-infrared spectroscopy. *J Cereb Blood Flow Metab*. 1996; 16(5):817–26.
- Obrig H, Villringer A. Beyond the Visible—Imaging the Human Brain with Light. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2003; 23(1):1–18.
- Pinti P, Tachtsidis I, Hamilton A, Hirsch J, Aichelburg C, Gilbert S et al. The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience. *Ann N Y Acad Sci*. 2020; 1464(1):5–29.
- Rossi S, Telkemeyer S, Wartenburger I, Obrig H. Shedding light on words and sentences: near-infrared spectroscopy in language research. *Brain Lang*. 2012; 121(2):152–63.
- Scholkmann F, Kleiser S, Metz AJ, Zimmermann R, Mata Pavia J, Wolf U et al. A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *Neuroimage*. 2014; 85 Pt 1:6–27. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.05.004 [Epub 16.05.2013].
- Sinex JE. Pulse oximetry: principles and limitations. *Am J Emerg Med*. 1999; 17(1):59–67.
- Wolf M, Wolf U, Toronov V, Michalos A, Paunescu LA, Choi JH et al. Different time evolution of oxyhemoglobin and deoxyhemoglobin concentration changes in the visual and motor cortices during functional stimulation: a near-infrared spectroscopy study. *Neuroimage*. 2002; 16(3 Pt 1):704–12.