

## **Anika Schwager**

(2. Preisträgerin Referate Studierende)

# Effekte der motorischen Aufgabenschwierigkeit auf die zerebrale Oxygenierung – eine fNIRS Studie mit Jonglageexperten<sup>1</sup>

## **Summary**

The aim of the present study was to examine the hemodynamic responses during the execution of a complex visuomotor task with near infrared spectroscopy (fNIRS) for the first time. The 5-ball juggling cascade as the vital criterion to this study was to be performed in comparison with less complex tasks, both juggling specific and unspecific. Beforehand all tasks were rated and ranked by an expert juggler concerning their complexity. An altered neurovascular response in our expert jugglers with increasing task complexity could be confirmed and, therefore, the developed ranking was verified.

## **Zusammenfassung**

In der vorliegenden Studie wurde erstmals die Modifizierung der zerebralen Oxygenierung während der Ausführung einer komplexen visuomotorischen Aufgabe mit Hilfe der funktionellen Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS) erfasst. Kriteriumsbezug war die 5-Ball-Jonglage, der sowohl jonglagespezifische als auch jonglageunspezifische Aufgaben mit unterschiedlichem Komplexitätsgrad gegenübergestellt wurden. Für diese nahm ein Jonglageexperte im Vor-

---

<sup>1</sup> Betreuer der Arbeit ist Herr Dr. Andrä, Institut für Sportpsychologie und Sportpädagogik, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig.

feld eine subjektive Reihung entsprechend ihres Schwierigkeitsgrades vor, die später weitestgehend bestätigt werden konnte.

**Schlagworte:** funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS), Gewebeeröygenierung, kortikal-hämodynamische Modifizierungen, Jonglage

## 1. Problemkennzeichnung

fNIRS wurde bisher nur zur Analyse intern valider klein-motorischer Aufgaben (Fingertapping, Fingeroppositions-, Knopfdruck-, Faustschlussaufgaben) und automatisierter großmotorischer Fertigkeiten eingesetzt (Gehen, Laufen, Fahrradfahren; z. B. Piper et al., 2014). In der vorliegenden Studie stand zum ersten Mal die Erfassung transienter kortikal-hämodynamischer Modifizierungen während der Ausführung einer großräumigen extern validen sportmotorischen Handlung, der Balljonglage, im Fokus. In Verbindung mit dem Mechanismus der neurovaskulären Kopplung stellt die durch fNIRS objektivierbare Gewebeeröygenierung einen indirekten Indikator für die kortikale Hirnaktivität dar. So gehen einfache, automatisierte Jonglagemuster hypothetisch mit einer geringeren aufgabenbezogenen Zunahme der zerebralen Öxygenierung einher. Hingegen sollten komplexe, nicht automatisiert beherrschte motorische Handlungen, eine höhere Öxygenierungsrate kennzeichnen. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es zu überprüfen, ob die bei Obrig (2002) beschriebene typische hämodynamische Antwortreaktion bei motorischen Stimulationen auch für komplexe sportmotorische Bewegungen nachweisbar ist sowie aufgabenbezogene Unterschiede im Niveau der zerebralen Öxygenierung bei der Balljonglage aufzuklären.

## 2. Untersuchungsmethodik

Das zentrale Einschlusskriterium stellte das Beherrschen der 5-Ball-Kaskade über 20 Sekunden dar. 15 männliche Jongleure ( $26,3 \pm 5,4$  Jahre) nahmen an der Untersuchung teil. Der zeitsynchronisierte Messplatz bestand aus dem 64-Kanal fNIRS-Messsystem NIRSport (NIRx Medizintechnik GmbH, Berlin) und einem HD-Camcorder (Panasonic, Japan) zur Videobilderfassung. Die Aufgabenschwierigkeit wurde zum einen über die unterschiedliche Anzahl der SIL-X-Jonglagebälle (150 g schwer, 78 mm Durchmesser) abgestuft, zum anderen nahm ein Jonglageexperte im Vorfeld eine subjektive Reihung der Bedingungen entsprechend ihres Schwierigkeitsgrades vor. Die fNIRS-Messungen erfolgten vor, während und nach der Demonstration der 2-Ball-Jonglage rechts und links, der 3-Ball- und der 5-Ball-Kaskade sowie der beiden Kontrollbedingungen K1Hz und K2Hz (einfache Ellbogenstreck-Beugebewegungen, alternierend im Metronomtakt bei 1 bzw. 2Hz). Die Aufgaben wurden nach einem

randomisierten Blockdesign über jeweils acht mal 20 Sekunden ausgeführt. Die Pausenumfänge zwischen den Einzelversuchen betragen 20 Sekunden (gejittertes Protokoll), die Blockpausen 60 Sekunden (vgl. Andrä, 2015; Carius et al., 2016). Die fNIRS-Optoden wurden auf beiden Hemisphären über den zentralen motorischen und sensiblen Arealen (prämotorischer [PMA], primär-motorischer [M1] und primärsensorischer Cortex [S1]) sowie über dem visuellen Areal V5/MT appliziert (Gerber et al., 2014). In die Auswertung einbezogen wurden die 16 Kanäle, die einen Maximalabstand von 3 cm zwischen den Quellen und Detektoren hatten. Die Analyse und Umwandlung der gewonnenen Rohdaten der zerebralen Chromophore oxygeniertes Hämoglobin (oxyHb) und desoxygeniertes Hämoglobin (deoxyHb) erfolgte mit Hilfe der Software nirsLAB (v2014.05, NIRx Medical Technologies). Aufgabenbezogene Unterschiede der erhaltenen statistisch auswertbaren Daten wurden anschließend mittels der einfaktoriellen ANOVA sowie entsprechender Post-Hoc-Tests unter Hinzunahme der Bonferroni-Korrektur in SPSS untersucht.

### 3. Ergebnisse

Die von Obrig (2002, S. 55) beschriebene typische hämodynamische Antwort von oxyHb bei motorischen Stimulationen fand sich auch in den Konzentrationsänderungs-Zeit-Verläufen dieser Untersuchung für alle Jongleure wieder. Sie zeichneten sich durch den typischen initialen *overshoot* bei ca. 5 Sekunden zum Bewegungsanfang, einem anschließenden leichten Abfall gefolgt von einer annähernden Plateauphase während und einem deutlichen *undershoot* ca. 7 Sekunden nach Ende der Bewegungsausführung aus (vgl. Abb. 1).

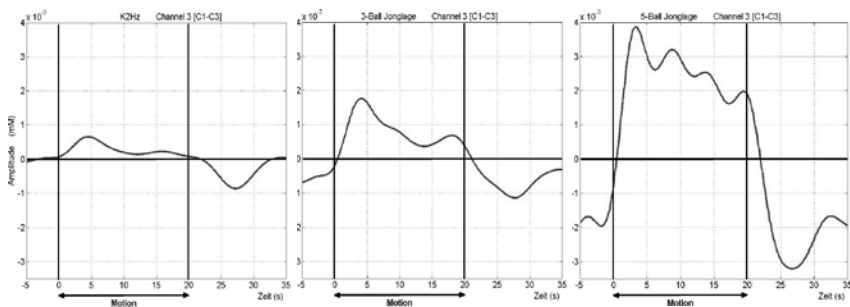


Abb. 1. Konzentrationsänderungs-Zeit-Verläufe für oxyHb über M1 exemplarisch für Jongleur 18 (gemittelt über die 8 Trials) während der Ausführung von K2Hz (links), 3-Ball- (Mitte) und 5-Ball-Kaskade (rechts)

Gewöhnlich wird oxyHb als Hauptindikator für die kortikale Aktivität herangezogen, da dieser Chromophor im Vergleich zu deoxyHb eine wesentlich höhere Amplitude aufweist. Für die 5-Ball-Jonglage zeigt sich hier bereits deskriptiv

eine deutlich höhere mittlere Amplitudenhöhe gegenüber den anderen Jonglage- und Kontrollbedingungen (vgl. Abb. 1). Darüber hinaus hebt sich die 2-Ball-Jonglage im Mittel von den restlichen Bedingungen ab. Diese Unterschiede ließen sich analytisch bestätigen (3-Ball vs. 2-Ball (re):  $p = ,004$ ; 2-Ball (li) vs. 5-Ball:  $p = ,000$ ). Hinsichtlich der Höhe der zerebralen Oxygenierung lag somit folgende aufgabenbezogene Reihung vor: Kontrollbedingung K1Hz = Kontrollbedingung K2Hz = 3-Ball-Kaskade < 2-Ball-Jonglage (re) = 2-Ball-Jonglage (li) < 5-Ball-Kaskade. Es zeigte sich, dass die relative Konzentrationsänderung von oxyHb, das als Indikator für kortikale Aktivität verstanden wird, mit steigender Aufgabenkomplexität *in allen Arealen* zunahm.

Auch die Konzentrationsänderungs-Zeit-Verläufe von deoxyHb (vgl. Abb. 2) zeigten mehrheitlich mit ihrem eher *monophasischen* Verlauf die bei Oberg (2002) beschriebene typische hämodynamische Antwortreaktion dieses Chromophors bei motorischen Stimulationen. Einzig bei der 5-Ball-Kaskade weisen einige Kanäle (vorwiegend über M1 und S1 der linken Hemisphäre) einen atypischen Kurvenverlauf auf, der eher dem von oxyHb ähnelt.

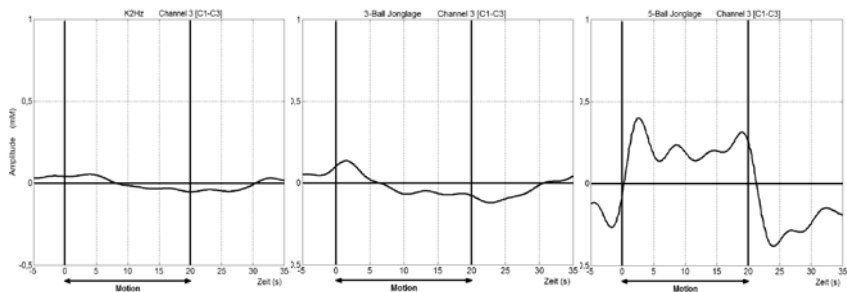


Abb. 2. Konzentrationsänderungs-Zeit-Verläufe für deoxyHb über M1 exemplarisch für Jongleur 18 (gemittelt über die 8 Trials) während der Ausführung von K2Hz (links), 3-Ball- (Mitte) und 5-Ball-Kaskade (rechts)

#### 4. Diskussion

Der im Normalfall gleichzeitige Abfall von deoxyHb gekoppelt mit dem im Vergleich zwei- bis dreifach höheren Anstieg von oxyHb resultiert bei fNIRS häufig in einem Anstieg des gemessenen Gesamt-Hämoglobins (totHb). Dieses stellt wiederum ein Maß für das korpuskuläre Blutvolumen dar. Der bei der 5-Ball-Jonglage in einigen Kanälen beobachtete starke Anstieg beider Chromophore würde folglich eine beträchtliche Erhöhung des totHb in den darunter liegenden Arealen und damit eine erhebliche Vergrößerung des Blutvolumens sowie des Blutflusses bedeuten. Eine mögliche Erklärung für diesen nur bei der 5-Ball-Jonglage auftretenden atypischen Verlauf der deoxyHb-Konzentrationsänderung wäre die der Komplexität geschuldete stark erhöhte Ausschöpfung

des vorhandenen Sauerstoffs bei gleichzeitig unzureichendem Abtransport des sauerstoffarmen Hämoglobins über die Blutgefäße. Durch die anatomische Nähe der betrachteten motorischen Areale zum starrwandigen Sinus sagittalis superior ist es möglich, dass ein enorm vergrößertes Blutvolumen (rCBV) trotz der erhöhten Blutflussgeschwindigkeit (rCBFv) zu einem kurzfristigen Rückstau in den Venen und damit einer Erhöhung der lokalen deoxyHb-Konzentration geführt hat. Bei den anderen Bedingungen wäre der Verbrauch des angeschwemmten Sauerstoffs in Verbindung mit rCBFv und rCBV hingegen gerade so hoch, dass der *Wash-out-Effekt* für deoxyHb noch greift und zu einem Abfall der Konzentration führt.

Bezüglich der Aufgabenschwierigkeit sind motorische Handlungen, die sicher beherrscht werden, mit einer vergleichsweise geringeren aufgabenbezogenen Zunahme von oxyHb in den entsprechenden Cortexarealen assoziiert. Demgegenüber werden komplexe motorische Handlungen, die weniger sicher beherrscht werden und folglich eine geringere Bewegungsautomatisierung aufweisen, durch eine höhere aufgabenbezogene Zunahme von oxyHb charakterisiert, was für diese Untersuchung bestätigt werden kann. So war bspw. die 3-Ball-Kaskade für die geübten Jongleure einfacher als gedacht. Zudem wies sie keinen Unterschied zu den Kontrollbedingungen auf. Grund ist vermutlich die hohe Automatisierung dieses relativ einfachen Jonglage-Musters bei entsprechender Expertise.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Mittels der Konzentrationsänderungs-Zeit-Verläufe konnte bestätigt werden, dass oxyHb immer und deoxyHb mehrheitlich (5-Ball-Jonglage als Ausnahme) auch bei komplexen visuomotorischen Bewegungen die bei motorischer Stimulation *typische hämodynamische Antwortreaktion* zeigen. Des Weiteren konnte die Höhe der kortikalen Aktivierung sowohl in den motorischen Arealen als auch für die visuelle Kontrolle mit der Aufgabenschwierigkeit in Zusammenhang gebracht werden. Regionale Unterschiede hinsichtlich der zerebralen Oxygenierung sowie Expertiseeffekte stellen nächste Analyseschritte dar.

## Literatur

Andrä, C. (2015). Zerebrale Aktivität verstehen – Untersuchungen mittels Nahinfrarotspektroskopie in praxisnahen Settings. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 56 (1), 144-160.

Carius, D., Andrä, C., Clauß, M., Ragert, P., Bunk, M. & Mehnert, J. (2016). Hemodynamic Response Alteration As a Function of Task Complexity and Expertise – An fNIRS Study in Jugglers. *Front. Hum. Neurosci.* 10:126. doi: 10.3389/fnhum.2016.00126.

Gerber, P., Schlaffke, L., Heba, S., Greenlee, M. W., Schultz, T. & Schmidt-Wilcke, T. (2014). Juggling revisited – a voxel-based morphometry study with expert jugglers. *NeuroImage*, 95, 320–325

Obrig, H. (2002). *Nahinfrarotspektroskopie des Gehirns*. Habilitationsschrift, Humboldt-Universität zu Berlin, Medizinische Fakultät Charité.

Piper, S. K., Krueger, A., Koch, S. P., Mehnert, J., Habermehl, C., Steinbrink, J., Obrig, H., Schmitz, C. H. (2014). A wearable multi-channel fNIRS system for brain imaging in freely moving subjects. *Neuroimage*, 85 (Pt 1), 64-71.

### **Verfasserin**

**Schwager, Anika**, M.Ed., Institut für Sportpsychologie und Sportpädagogik, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig