

Kortikale Bewegungsevaluation und sensorische Reafferenz Korrelate der Efferenzkopie

U. Thiemann¹, F. Resch¹, M. Weisbrod^{2,3}, S. Bender^{1,2}

¹ Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie, Zentrum für Psychosoziale Medizin, Universitätsklinikum Heidelberg
² Sektion Experimentelle Psychopathologie, Zentrum für Psychosoziale Medizin, Universitätsklinikum Heidelberg
³ Abteilung für Psychiatrie, SRH Klinikum Karlsbad-Langensteinbach

Zielsetzung

Die Theorie der Efferenzkopie postuliert, dass bei der Ausführung von Willkürbewegungen afferente sensorische Rückmeldungen aus der Peripherie mit einer im Rahmen der Bewegungsplanung erstellten hypothetischen Kopie des Bewegungsablaufs verglichen werden.

Die motorische Teilkomponente der postimperativen negativen Variation (motorische PINV) stellt ein Korrelat von motorischer Aktivierung dar, die das reine Kommando zur Muskelkontraktion überdauert und somit zum Abgleich mit sensorischen Rückmeldungen geeignet ist. Diese Aktivierung ließ sich topographisch von der anderen Komponente deutlich abgrenzen und bildet eher frühe Vorbereitungsstadien motorischer Aktivität ab.

Um eine motorische Efferenzkopie von sensorisch-propriozeptiver Reafferenz abzugrenzen und das Zusammenspiel motorischer und sensorischer Areale genauer zu differenzieren, wurde eine temporäre Deafferenzierung durchgeführt

Methodik

Zur Abgrenzung einer motorischen Efferenzkopie von sensorisch-propriozeptiver Reafferenz und um das Zusammenspiel motorischer und sensorischer Areale genauer differenzieren zu können, untersuchten wir anhand eines Reaktionszeit-Paradigmas die bewegungskorrelierten Potentiale von zehn gesunden, rechtshändigen Probanden im Alter von 21 bis 25 Jahren (sieben Frauen und drei Männer, Ø 24,0 ± 1,0 Jahre) im hochauflösenden EEG nach temporärer Ausschaltung der afferenten sensorischen Rückmeldung. Dies wurde durch Anlage einer Blutsperrung über ca. 30 Minuten erreicht. Wir differenzierten eine Komponente der sensorischen Reafferenz (350-600 ms post Stimulus bzw. 70-170 ms nach EMG-Onset) und eine Komponente der motorischen Nachverarbeitung (motorische PINV; 700-1200 ms post Stimulus bzw. 500-1000 ms nach EMG-Onset). Diese wurden auch als LRP (lateralisiertes Bereitschaftspotential, gebildet durch Mittelung der Differenzkurven beider Reaktionsseiten) zur Erfassung lateralisierter motorischer Aktivierung untersucht.

Ergebnisse

Unter den Bedingungen der temporären Deafferenzierung zeigte sich, dass die Aktivierung über dem primär-motorischen Cortex während der motorischen PINV sogar zunahm, sobald die Bewegung nicht mehr oder nur noch unter verstärkter Anstrengung (Effort) durchgeführt werden konnte: Die Daten an den Elektroden C3 und C4 zeigten in der Messwiederholungs-ANOVA mit den Faktoren „Block“ (Messblöcke vor Blutsperrbeginn, unter Blutsperrung bis zur vollständigen temporären Deafferenzierung und nach Blutsperrung), „Hemisphäre“ und „Reaktionsseite“ eine hochsignifikante Interaktion zwischen allen drei Faktoren ($F(7;63)=5,8$; $p=0,002$; Greenhouse-Geisser-Epsilon=0,5). Dies weist auf eine zusammen mit der Reaktionsseite wechselnde verstärkte lateralisierte Aktivierung des motorischen Cortex unter Deafferenzierung hin (Newman-Keuls-Post-Hoc-Tests $p<0,001$). Die Aktivierung des Dipols im postzentralen Gyrus reduzierte sich parallel zum Wegfall der somatosensiblen und propriozeptiven Rückmeldung hingegen deutlich: Für die LRP zeigte sich während der sensorischen Reafferenz ein Haupteffekt des Faktors „Block“ in der Messwiederholungs-ANOVA mit den Faktoren „Block“ und „Elektrode“ (CP3/4 über dem primären somatosensorischen Cortex und P9/10 als Projektionsfläche tangentialer Dipole in SI/SII) mit $F(7;63)=4,0$; $p=0,02$ (Greenhouse-Geisser-Epsilon=0,38), wobei Newman-Keuls-Post-Hoc-Tests zeigten, dass der deafferenzierte Zustand gegenüber allen anderen Läufen vor und nach Blutsperrung signifikant reduzierte Werte aufwies ($p<0,003$).

Schlussfolgerung

Die motorische PINV scheint somit Teil einer motorischen Gedächtnisspur zu sein, die unabhängig von sensorischer Rückmeldung besteht und einen Abgleich mit dem motorischen Programm im Sinne der Efferenzkopie ermöglichen könnte.

Literatur

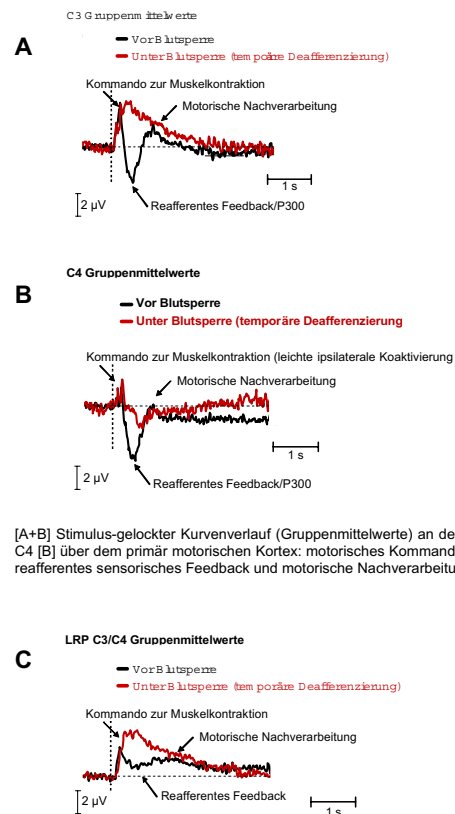
Bender, S., Becker, D., Oelkers-Ax, R., Weisbrod, M., Cortical motor areas are activated early in a characteristic sequence during post-movement processing. *NeuroImage* 2006 (32): 330-351.

Kristeva, R., Chakarov, V., Wagner, M., Schulte-Mönting, J., Hepp-Reymond, M.-C., Is the movement-evoked potential mandatory for movement execution? A high-resolution EEG study in a deafferented patient. *NeuroImage* 2006 (31): 677-685.

Danksgiving:

Besonderer Dank gilt Frau K. Herwig und dem Team des EEG-Labors sowie Dr. P. Lages vom SRH Kurpfalzkrankenhaus Heidelberg, der die hämatologische Beurteilung des Thrombopliescreenings zur Teilnahme an der Untersuchung mit Blutsperrung übernahm.

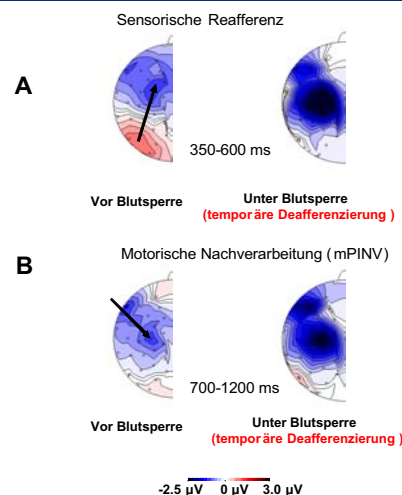
Abbildung 1



[A+B] Stimulus-gelockter Kurvenverlauf (Gruppenmittelwerte) an den Elektroden C3 [A] und C4 [B] über dem primär motorischen Cortex: motorisches Kommando zur Muskelkontraktion, reafferentes sensorisches Feedback und motorische Nachverarbeitung.

[C] LRP (lateralized readiness potential) Erfassung lateralisierter motorischer Aktivierung unabhängig von stimulus-evozierter Verarbeitung, die immer kontralateral zur Antwortseite lateralisiert ist (Differenzwellenbildung) Eliminierung von P300-Effekten.

Abbildung 2



[A+B] Topographie der lateralisierten (LRP-) Gruppenmittelwerte (Grand Averages). Visueller Stimulus bei 0 ms, auf den mit Tastendruck reagiert wurde. Man beachte die Verstärkung der motorischen Nachverarbeitung (mPINV) über dem motorischen Cortex (MI) unter temporärer Deafferenzierung [B], während der Dipol der sensorischen Reafferenz nicht mehr nachweisbar ist [A].