

Budde H¹, Machado S^{2,4}, Cunha M^{2,4}, Ringer C¹, Portella CE²,
Silva JG^{2,4}, Velasques B^{2,4}, Bastos VH^{2,4}, Pompeu F³, Basile L^{5,6}, Cagy M⁷, Piedade R², Ribeiro P^{2,3,4}

Integration kortikaler Areale während eines Ball-Fang-Experiments

Integration of Cortical Areas during Performance of a Catching Ball Task

¹Department of Training and Movement Sciences, Institute of Sport Science, Humboldt University Berlin, Germany; ²Brain Mapping and Sensory Motor Integration, Institute of Psychiatry of Federal University of Rio de Janeiro (IPUB/UFRJ), Rio de Janeiro, Brazil; ³School of Physical Education, Bioscience Department (EEFD/UFRJ), Rio de Janeiro, Brazil; ⁴Brazilian Institute of Neural Bioscience (IBBN), Rio de Janeiro, Brazil; ⁵Division of Neurosurgery, University of São Paulo Medical School, Brazil; ⁶Laboratory of Psychophysiology, Faculdade de Psicologia e Fonoaudiologia, UMESP, Brazil; ⁷Division of Epidemiology and Biostatistics, Institute of Health Community, Federal Fluminense University (UFF), Rio de Janeiro, Brazil

ZUSAMMENFASSUNG

Die Studie diente der Aufklärung von elektrophysiologischen und kortikalen Mechanismen, wie sie bei antizipatorischen Handlungen, beispielsweise dem Fangen von frei fallenden Bällen, bei gesunden Probanden auftreten. Gemessen wurden spezifische Änderungen der Alpha-Wellen des quantitativen Elektroenzephalogramms (qEEG). Wir vermuteten, dass bei der Vorbereitung des Handelns (also 2 s vor dem Herabfallen des Balls) Integrationen zwischen dem frontomedialen, dem primär somatomotorischen und parietopostalen Kortex der linken Hemisphäre auftreten, welche eine differenzierte Aktivität bezüglich Erwartungen, Planung und (Handlungs-) Bereitschaft zeigen. Wir gehen davon aus, dass bei Rechtshändern die linke Hemisphäre eine dominante Rolle in der Regulation von motorischem Verhalten einnimmt. Das Kollektiv bestand aus 23 gesunden, rechtshändigen Probanden (13 männlich, 10 weiblich) im Alter zwischen 25 und 40 Jahren ($32,5 \pm 7,5$). Das Experiment bestand aus der Aufgabe, Bälle im freien Fall mit der rechten Hand zu fangen. Die 3-faktorielle ANOVA Analyse zeigte eine Interaktion zwischen den Faktoren Zeitpunkt und (Elektroden)- Position im linken- mediofrontalen Kortex (F3 Elektrode), - somatomotorischen Kortex (C3 Elektrode) und - parietopostalen Kortex (P3 Elektrode, $p < 0,05$). Zusammenfassend war es mittels dieses Tests möglich, die Integrationen zwischen frontalen, zentralen und parietalen Regionen zu beobachten. Diese Integrationen scheinen vor allem in der Phase der Erwartung, Planung und Vorbereitung motorischer Handlungen aufzutreten.

Schlüsselwörter: qEEG, Sensomotorische Integration, Fangen eines Balles

EINLEITUNG

Bewegungsverhalten ist ein fein abgestimmter Prozess aus kortikalen und peripheren Komponenten in Verbindung mit afferenten Informationen. Während der Ausführung von Bewegungsaufgaben werden sensorische Stimuli erfasst, identifiziert und prozessiert (13). Dies sind die elementaren Bestandteile in der Vorbereitung und Anpassung motorischer Handlungen, die durch das Zusammenspiel verschiedener spezialisierter Zentren in die endgültige Bewegungsplanung integriert werden (16). Dies geschieht durch sensorische Integration, indem die sensorischen Informationen vom ZNS eingeordnet werden, um die motorischen Programme zu

SUMMARY

The study aimed to elucidate electrophysiological and cortical mechanisms involved in anticipatory actions when healthy subjects had to catch balls in free drop. Specific alpha absolute power changes were measured in quantitative electroencephalography (qEEG). Our hypothesis is that during the preparation of motor action (i.e., 2 s before the ball drops) integration occurs among the left medial frontal, left primary somatomotor and left posterior parietal cortices, showing a differentiated activity involving expectation, planning and preparedness. We contend that in right-handers, the left hemisphere takes on a dominant role for the regulation of motor behavior. The sample was composed of 23 healthy right handed subjects (13 men and 10 women), with ages varying between 25 and 40 years old ($32,5 \pm 7,5$), absence of mental and physical illness. The experiment consisted of a task of catching balls with the right hand in free drop. The three-way ANOVA analysis demonstrated an interaction between moment and position in left-medial frontal cortex (F3 electrode), somatomotor cortex (C3 electrode) and posterior parietal cortex (P3 electrode; $p < 0,05$). Summarizing, the experimental task enabled the observation of integration among frontal, central and parietal regions. This integration appears to be more predominant in expectation, planning and motor preparation.

Key Words: qEEG, Sensomotor Integration, Catching ball

beeinflussen. D.h., das ZNS generiert aus den externen Sinnesinformationen eine adäquate Verhaltensreaktion. Die Möglichkeit eine bestimmte Aktion an verschiedene Umweltsituationen anpassen zu können, bietet eine Vielfalt an Bewegungen und Fertigkeiten, die für eine Verbesserung der erwünschten motorischen Ausführung nötig sind (15). Einen Ball zu fangen ist eine komplexe Bewegung, die mit der Rekrutierung und Aktivierung verschiedener kortikaler Regionen verbunden ist, welche an der Integration von afferenten Informationen mit der motorischen Aufgabe beteiligt sind (5). Die quantitative Elektroenzephalographie (qEEG) scheint gut geeignet zu sein, um die Veränderungen im Gehirn zu beobachten, die auftreten, während ein Proband effektive Strategien und entspre-

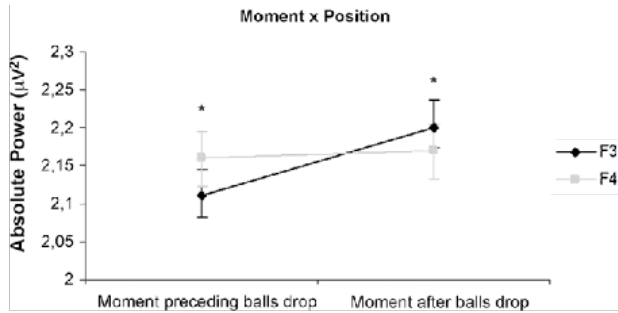


Abbildung 1: Interaktion zwischen dem Zeitpunkt und dem Faktor Position der F3-F4 Elektrodenkombination (abgebildet sind Mittelwert und Standardabweichung; signifikante Differenz (*), $p < 0.05$)

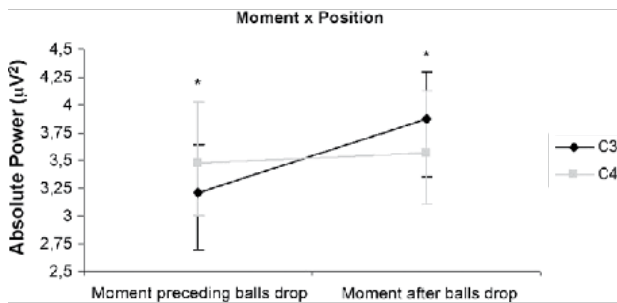


Abbildung 2: Interaktion zwischen dem Zeitpunkt und dem Faktor Position der C3-C4 Elektrodenkombination (abgebildet sind Mittelwert und Standardabweichung; signifikante Differenz (*), $p < 0.05$)

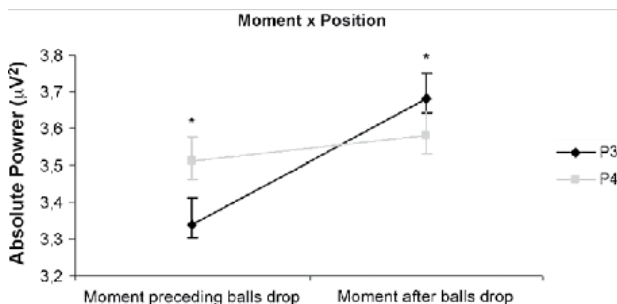


Abbildung 3: Interaktion zwischen dem Zeitpunkt und dem Faktor Position der P3-P4 Elektrodenkombination (abgebildet sind Mittelwert und Standardabweichung; signifikante Differenz (*), $p < 0.05$)

chende Fertigkeiten erwirbt, um eine Aufgabe auszuführen (siehe auch 23). Bestimmte Features in der Elektroenzephalografie (EEG) im Bereich der Alpha Wellen (8-12Hz) sind sensitiv für Veränderungen der Perzeption, Kognition und motorischen Aktionen (2). Die Erfassung der Alpha Wellen eines EEGs zeigt, wie das Gehirn sensorische Informationen organisiert und integriert und wie es motorische Operationen durchführt (23). Diese Studie beleuchtet die elektrophysiologischen und kortikalen Mechanismen, welche bei antizipatorischen Handlungen auftreten (hier untersucht am Beispiel des Fangens eines frei fallenden Balles mittels absoluter Amplitudenauslenkung am qEEG). Die Elektrode F3 (links) und F4 (rechts) repräsentieren den medialen frontalen Kortex, der funktionell vor allem für Motivation, Planung und Programmierung von Bewegungsabläufen zuständig ist (17). C3 (links) und C4 (rechts) repräsentierten den primär somatomotorischen Kortex, zuständig für die Kontrolle und Durchführung von Bewegungen (1, 22).

P3 (links) und P4 (rechts) repräsentieren den parietopostalen Kortex, funktional in Beziehung stehend mit der sensomotorischen Orientierung (21). Der Bereich der α -Wellen (8-12 Hz) wird von Sinnesreizen und motorischen Handlungen moduliert und wurde aus diesem Grund ausgewählt (18). Unsere Hypothese besagt, dass während der Vorbereitung einer motorischen Aktion (also in dem Moment bevor der Ball fällt) eine Integration zwischen dem mediofrontalen, primär somatomotorischen und parietopostalen Kortex in der linken Hemisphäre auftritt, welche eine differenzierte Aktivität hinsichtlich Erwartung, Planung und Bereitschaft aufweist. Wir gehen davon aus, dass bei Rechtshändern die linke Hemisphäre eine dominante Rolle in der Regulation von motorischem Verhalten einnimmt.

MATERIAL UND METHODEN

Es wurden 23 gesunde, rechtshändige Probanden (13 männlich, 10 weiblich) im Alter zwischen 25 und 40 Jahren ($32,5 \pm 7,5$) untersucht. Alle Probanden unterzeichneten eine Einwilligungserklärung und waren über das gesamte Protokoll des Versuchs aufgeklärt. Das Experiment wurde vom Ethikkomitee der Federal University of Rio de Janeiro (IPUB/UFRJ) genehmigt. Die Aufgabe wurde in einem licht- und schalldämpften Raum durchgeführt, um sensorische Interferenzen zu minimieren. Ein elektromagnetisches System wurde direkt vor dem Probanden aufgebaut und entließ alle 11sek einen 8cm großen Ball direkt in die Hand des Versuchskandidaten. Dessen rechte Hand wurde so platziert, dass die vier medialen Metacarpalknochen in Falllinie lagen. Gefangene Bälle wurden sofort wieder losgelassen. Jeder entlassene Ball stellte einen Versuch dar, diese wurden zu Blöcken à 15 Versuchen zusammengefasst. Alle Experimente bestanden aus sechs Blöcken mit einer Dauer von 2,5 min und einem Zwischenintervall von 1 min. EEG: Es wurde das Internationale 10/20 System verwendet (11) (20-Kanal-EEG Braintech 3000; EMSA Medical Instruments, Brasilien). Die 20 Elektroden wurden mittels einer Nylonkappe (ElectroCap Inc., Faifax, VA, USA) positioniert. Des Weiteren wurde ein EMG verwendet, um mögliche Artefakte im Zusammenhang mit dem Fall des Balles zu erfassen und zu beseitigen, die einen Einfluss auf das elektroenzephalografische Signal haben könnten. Die erfassten Parameter des quantitativen EEGs (die absoluten Powerwerte; „absolute power values“) wurden auf eine Dauer von 4 s begrenzt (die ausgewählte Periode begann 2s vor und endete 2s nach dem Trigger, d.h. die Zeiträume 2 s bis zum Fallen des Balles sowie die 2s nach dem Fallen des Balles wurden jeweils gemittelt). In der statistischen Analyse wurden die EEG Amplituden mittels SPSS Software (Version 15.0) logarithmiert, um sie einer Normalverteilung anzunähern. Eine 3-faktorielle ANOVA und ein post hoc Test (Scheffé) wurden durchgeführt, um die Faktoren Zeitpunkt (den Moment vor und nach dem Fall des Balles) und Blöcke (1-6) für jede der Elektrodenkombinationen a) F3/F4, b) C3/C4, c) P3/P4 ($p < 0,05$) zu analysieren.

ERGEBNISSE

Die statistische Auswertung zeigte eine Interaktion zwischen den Faktoren Zeitpunkt und der Position für jede Elektrodenkombination ($p < 0,05$). Im Moment vor dem Fall des Balles fand sich eine

signifikante Verkleinerung der Amplitude in F3 (Mittelwert=2,11; S.D.=0,036) verglichen mit F4 (Mittelwert=2,16; S.D.=0,034). Auf der anderen Seite zeigte sich kurz nach dem Fall des Balles eine Amplitudenvergrößerung in F3 (MW=2,17; S.D.=0,038) verglichen zu F4 (MW=2,2; S.D.=0,027), wie in Abb.1 zu sehen ist. Verglichen mit C4 Elektrode (MW=3,47; S.D.=0,56) fand sich bei der C3 Elektrode eine signifikante Verringerung der Amplitudenhöhe in der Zeit vor dem Herabfallen des Balles (MW=3,21; S.D.=0,43). Nach dem Fallen des Balles zeigt sich eine Amplitudenvergrößerung in C3 (MW=3,57; S.D.=0,47) im Vergleich zu C4 (MW=3,87; S.D.=0,52), wie in Abb.2 ersichtlich. Außerdem zeigte sich im Bereich der P3 Elektrode ein signifikanter Amplitudenrückgang (MW=3,34; S.D.=0,07) verglichen mit der P4 Elektrode (MW=3,51; S.D.=0,068) kurz vor dem Fallenlassen des Balles. Nach dem Fall des Balles zeigte sich eine Vergrößerung der Amplitude in P3 (MW=3,58; S.D.=0,048) beim Vergleich mit P4 (MW=3,68; S.D.=0,037; in Abb.3).

DISKUSSION

Das hier geschilderte Experiment stellt einen Versuch dar, die kortikalen und elektrophysiologischen Mechanismen im Hinblick auf antizipatorische Vorgänge bei willkürlichen Bewegungsabläufen zu verstehen, wie sie beispielsweise auftreten, wenn Probanden versuchen, einen frei fallenden Ball zu fangen. Unsere Ergebnisse zeigen eine Interaktion zwischen dem Faktor Zeitpunkt (bezogen auf den Fall des Balles) und den unterschiedlichen Elektrodenpositionen auf der Kopfhaut (über den mediofrontalen, den primär somatomotorischen und den parietopostalen Kortexarealen). Während der Erwartungsphase (also bevor der Ball fiel) der motorischen Handlung zeigt sich einen Rückgang der absoluten Amplitude im α -Bereich bei den Elektroden F3, C3 und P3 (linke Hemisphäre) im Vergleich zu ihren homologen Elektroden F4, C4 und P4. Traditionell wird die Amplitude im Bereich der Alphawellen als indirekt proportional zur neuronalen Aktivität angesehen. Dies zeigte sich in verschiedenen Experimenten zur Perzeption, Kognition und Motorik (18). Bei unseren Ergebnissen bedeutet eine kleinere Amplitude, beobachtbar im Bereich der Alphawellen, einen Aktivitätszuwachs der an den beobachteten Position gelegenen Pyramidenzellen in dem Moment kurz vor dem Herabfallen des Balles (2), welches eine erhöhte neuronale Aktivität widerzuspiegeln scheint (17), die auf eine gesteigerte Erwartung und eine erhöhte Handlungsbereitschaft hindeutet. Bezüglich der F3 Ergebnisse werden unsere Daten gestützt von Szurhaj et al. (22), welche die Beteiligung des frontomedialen Kortex während der Planung und Vorbereitung motorischer Aktionen aufzeigten. Darüber hinaus beobachteten Szurhaj et al. (22) eine Abnahme der Amplitude, welche im Durchschnitt zwischen 0 und 375 ms vor der Bewegung stattfand, und auf eine differenzierte Aktivität dieser Areale hindeutete. Szurhaj et al. (22) untersuchten allerdings μ - (d.h. 6-9 Hz) und β - (d.h. 13-30 Hz) Bereiche. Im Unterschied hierzu beziehen sich unsere Daten auf den gesamten α -Bereich (d.h. 8-12 Hz). Andere Forschungsergebnisse beschrieben die Beteiligung des präfrontalen und prämotorischen Kortex während der Beurteilung, Planung und Organisation zukünftiger Handlungen (6).

Der Zusammenhang zwischen unseren Ergebnissen und denjenigen früherer Untersuchungen deuten auf eine starke Integration zwischen den Funktionen präfrontaler (zuständig für die Auswahl einer geeigneten Bewegung) und prämotorischer Areale (zuständig für die Organisierung und das Bewegungskommando) (7). Brunia

(4) schlug ein neurophysiologisches Modell, genannt „Thalamocortical Gating“, vor, um vorbereitendes Verhalten zu erklären. Nach diesem Modell wird eine vorbereitende Aufmerksamkeit durch eine kortikale Aktivierung ausgedrückt, welche vor der Präsentation des Stimulus auftritt. Laut Brunia (4) ist solch eine Aktivierung auf diejenigen kortikalen Areale beschränkt, welche mit der Modalität des jeweiligen Stimulus zusammenhängen. Unsere Ergebnisse decken sich mit diesen Experimenten, da die von C3 abgedeckte Region (unter Beachtung der inversen Korrelation zwischen Aktivierung und Amplitude im Alphawellenbereich) während der Phase der Bewegungsplanung deutlich angeregt wurde. Man nimmt an, dass dieses Areal mit der Planung und Vorbereitung von Bewegungen der kontralateralen Extremität in Verbindung steht (22). Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass während der motorischen Vorbereitung ein Vergleich zwischen Elementen die bereits im impliziten Gedächtnis gespeichert sind und neuen Parametern der anstehenden motorischen Aktion stattfindet. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Zang et al. (26) und Kansaku et al. (12), welche zeigten, dass während der Bewegungsvorbereitung der prämotorische zusammen mit dem primär motorischen Kortex aktiviert wird. Zusammengenommen weisen diese und unsere Ergebnisse darauf hin, dass die Beteiligung des somatomotorischen Kortex direkt mit Vorgängen innerhalb des impliziten Gedächtnisses zusammenzuhängen scheint. Solche Vorgänge simulieren interne Abläufe, welche vor der motorischen Aktion auftreten. Interne Simulationen von motorischen Steuerbefehlen wurden auch in Versuchen beobachtet, die von „motor imagery“ (20) oder von Spiegelneuronenparadigmen (10) Gebrauch machten. Deswegen deutet die gesteigerte Aktivität, dargestellt durch die Verkleinerung der α -Amplitude, auf eine Beteiligung zweier neuronaler Regionen (präfrontaler und somatomotorischer Kortex) bei der Prozessierung sensorischer Informationen in Verbindung mit der motorischer Ausführung (hier: Fangen) hin, ähnlich einem parallelen Prozess. Zusätzlich deuten unsere Ergebnisse auf einen Anstieg der kortikalen Aktivität im Bereich der P3 Elektrode während der Planungs- und Vorbereitungsphase von Bewegungen der kontralateralen Extremität hin. Vorangegangene Experimente ergaben, dass der parietopostale Kortex wegen seiner Zuständigkeit für Initiation und sensomotorische Führung die Bewegungen und das Handling von Objekten mit Hilfe von visuellen und propriozeptiven Informationen vorbereitet und so bei der motorischen Planung mitwirkt. Bei der Aufgabe, einen frei fallenden Ball zu fangen, spielen visuelle und propriozeptive Afferenzen eine beachtliche Rolle, was die Aktivierung des linken parietopostalen Kortexes rechtfertigt (3). Deswegen weisen die Daten kurz vor dem Herabfallen des Balles auf eine starke Interaktion zwischen propriozeptiven (Position der Hand) und visuellen Informationen beim Beginn des Falls hin (räumlich-zeitliche Koordination hinsichtlich des Kontaktes von Ball und Hand). Dies erklärt die gesteigerte Erregung des linken parietopostalen Kortexes, besonders im Moment vor dem Herabfallen des Balles. Die von Wheaton et al. (25) erhaltenen Ergebnisse bestätigen unsere Daten. Sie fanden eine Abnahme der α -Amplitude im parietopostalen Kortex während der Bewegungsvorbereitung bei gesunden Probanden. Auch hier konnten die Probanden zusätzlich visuelle Informationen während der frühen Phase des Ballfallens aufnehmen (25). In dieser Phase könnte das von der Elektrode P3 abgedeckte Areal Auskunft über die Koordination von Arm- und Fingerbewegungen beim Annähern an visuell erfassbare Ziele geben (19), ebenso über die antizipatorische Koordination, die nötig ist, um das Objekt sicher und mit ausreichender Kraft greifen zu können (8). Dies spielt sich vor

der eigentlichen Bewegung ab, um diese entsprechend auszurichten und zu organisieren. Im Gegensatz dazu zeigte sich nach Herabfallen des Balles eine α -Amplitudenerhöhung bei den linken Elektroden F3, C3 und P3 verglichen zu den homologen Elektroden F4, C4 und P4, was eine Verringerung der neuronalen Aktivität zu diesem Zeitpunkt widerspiegelt (2). Man könnte es als Deaktivierung der entsprechenden kortikalen Areale interpretieren. Eine Begründung wäre, dass die Spezialisierung der rechten Hemisphäre auf räumliche Funktionen mit der (räumlichen) Kontrolle von visuellen Reizen verbunden ist (14), oder mit einer regulatorischen Funktion in Konfliktsituationen (24), wie sie beispielsweise bei fehlerhafter Interaktion zwischen motorischem, propriozeptivem und visuellem Input auftreten (9). Einschränkend ist zu sagen, dass die räumliche Auflösung mit diesem Messverfahren relativ gering ist und immer mehrere Zentimeter beträgt. Eine weitere Limitation der Studie liegt in der fehlenden Kontrollgruppe. Zusammenfassend konnten durch diesen experimentellen Ansatz Integrationen zwischen mediofrontalem, primär somatomotorischem und parietopostalem Kortex beobachtet werden. Die untersuchten Areale der linken zeigten im Vergleich zu den homologen Arealen der rechten Hemisphäre eine erhöhte Aktivität vor dem Fallen des Balls mit der rechten Hand. Nach dem Fallen kam es in diesen Arealen zu einer Abnahme der neuronalen Aktivität.

DANKSAGUNG

Die Daten wurden bereits auf Englisch unter folgendem Namen publiziert: Machado S, Cunha M, Portella CE, Silva J G, Velasques B, Bastos VH, Budde H, Pompeu F, Basile L, Cagy M, Piedade R, Ribeiro P: Integration of cortical areas during performance of a catching ball task. *Neuroscience Letters* (2008) 446(1):7-10. Elsevier hat freundlicher Weise seine Zustimmung zur Veröffentlichung der Daten erteilt.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.

LITERATUR

1. AJEMIAN R, BULLOCK D, GROSSBERG S: Kinematic coordinates in which motor cortical cells encode movement direction. *J. Neurophysiol.* 84 (2000) 2191-2203.
2. BASTIAANSEN M, BÖCKER K, BRUNIA C, DE MUNCK J, SPEKREIJSE H: Event-related desynchronization during anticipatory attention for an upcoming stimulus: a comparative EEG-EMG study. *Clin. Neurophysiol.* 112 (2001) 393-403.
3. BEURZE S, DE LANGE F, TONI I, MEDENDORP WP: Integration of target and effector information in the human brain during reach planning. *J. Neurophysiol.* 97 (2007) 188-199.
4. BRUNIA C: Neural aspects of anticipatory behaviour. *Acta Psychol. (Amst)* 101 (1999) 213-242.
5. CHAPMAN H, PIERNO A, CUNNINGTON R, GAVRILESCU M, EGAN G, CASTIELLO U: The neural basis of selection-for-action. *Neurosci. Lett.* 417 (2007) 171-175.
6. COULL J, NOBRE A: Where and when to pay attention: the neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI. *J. Neurosci.* 998 (1998) 7426-7435.
7. DUM R, STRICK P: Frontal lobe inputs to the digit representations of the motor areas on the lateral surface of the hemisphere. *J. Neurosci.* 25 (2005) 1375-1386.
8. EHSSON HH, FAGERGREN A, JOHANSSON RS, FORSSBERG H: Evidence for the involvement of the posterior parietal cortex in coordination of fingertip forces for grasp stability in manipulation. *J. Neurophysiol.* 90 (2003) 2978-2986.
9. FINK G, MARSHALL J, HALLIGAN P, FRITH C, DRIVER J, FRACKOWIAK R, DOLAN R: The neural consequences of conflict between intention and the senses. *Brain* 122 (1999) 497-512.
10. HARI R, FORSS N, AVIKAINEN S, KIRVESKARI E, SALENIUS S, RIZZOLATTI G: Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 95 (1998) 15061-15065.
11. JASPER H: The ten-twenty electrode system of the international federation EEG. *Clin. Neurophysiol.* 10 (1958) 371-375.
12. KANSAKU K, MURAKI S, UMEYAMA S, NISHIMORI Y, KOCHIYAMA T, YAMANE S, KITAZAWA S: Cortical activity in multiple motor areas during sequential finger movements: an application of independent component analysis. *NeuroImage* 28 (2005) 669-681.
13. LACQUANITI F, MAIOLI C: Adaptation to suppression of visual information during catching. *J. Neurosci.* 9 (1989) 149-159.
14. MESULAM M: Spatial attention and neglect: parietal, frontal and cingulate contributions to the mental representation and attentional targeting of salient extrapersonal events. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B: Sci.* 354 (1999) 1325-1346.
15. MUSHIAKE H, SAITO N, SAKAMOTO K, ITOYAMA Y, TANJI J: Activity in the lateral prefrontal cortex reflects multiple steps of future events in action plans. *Neuron* 50 (2006) 631-641.
16. NARGEOT R: Voltage-dependent switching of sensorimotor integration by a lobster central pattern generator. *J. Neurosci.* 23 (2003) 4803-4808.
17. NEUPER C, PFURTSCHER G: Event-related dynamics of cortical rhythms: frequency-specific features and functional correlates. *Int. J. Psychophysiol.* 43 (2001) 41-58.
18. PALVA S, PALVA M: New vistas for alpha-frequency band oscillations. *Trends Neurosci.* 30 (2007) 150-158.
19. RAMNANI N, TONI I, PASSINGHAM RE, HAGGARD P: The cerebellum and parietal cortex play a specific role in coordination: a PET study. *NeuroImage* 14 (2001) 899-911.
20. RODRÍGUEZ M, MUNIZ R, GONZÁLEZ B, SABATE M: Hand movement distribution in the motor cortex: the influence of a concurrent task and motor imagery. *NeuroImage* 22 (2004) 1480-1491.
21. SERRIEN DJ, IVRY RB, SWINEN SP: Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. *Nat. Rev. Neurosci.* 7 (2006) 160-166.
22. SZURHAJ W, DERAMBURE P, LABYT E, CASSIM F, BOURRIEZ J, ISNARD J, GUIEU J, MAUGUÏÈRE F: Basic mechanisms of central rhythms reactivity to preparation and execution of a voluntary movement: a stereoelectroencephalographic study. *Clin. Neurophysiol.* 114 (2003) 107-119.
23. VELASQUES B, MACHADO S, PORTELLA CE, SILVA JG, BASILE LF, CAGY M, PIEDADE R, RIBEIRO P: Electrophysiological analysis of a sensorimotor integration task. *Neurosci. Lett.* 426 (2007) 155-159.
24. WENDEROTH N, DEBAERE F, SUNAERT S, VAN HECKE P, SWINEN S: Parietopremotor areas mediate directional interference during bimanual movements. *Cereb. Cortex* 14 (2004) 1153-1163.
25. WHEATON L, SHIBASAKI H, HALLETT M: Temporal activation pattern of parietal and premotor areas related to praxis movements. *Clin. Neurophysiol.* 116 (2005) 1201-1212.
26. ZANG Y, JIA F, WENG X, LI E, CUI S, WANG Y, HAZELTINE E, IVRY R: Functional organization of the primary motor cortex characterized by event-related fMRI during movement preparation and execution. *Neurosci. Lett.* 337 (2003) 69-72.

Korrespondenzadresse:

Dr. Henning Budde

Institut für Sportwissenschaft

Humboldt Universität zu Berlin

Philippstr. 13, Haus 11

10115 Berlin

E-Mail: henning.budde@rz.hu-berlin.de