

Auswirkungen von unterschiedlichen Ergometerbelastungen auf das Elektroenzephalogramm (EEG) und das Bereitschaftspotential (BP)

Th. Barthel, T. Wehr, R. Schnittker, D. Mechau, H. Liesen, M. Weiß
Sportmedizinisches Institut, Universität Paderborn

Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung war die Erfassung des EEGs und Bereitschaftspotentials nach unterschiedlich starker Belastung zur Findung psychophysiologischer Parameter und Dokumentierung mentaler Erschöpfungsauswirkungen.

Methodik: 15 freiwillige, ausdauertrainierte, rechtshändige (13), männl. Erwachsene (22 bis 30 Jahre alt) wurden zwei Stunden nach einem standardisierten Frühstück und 20minütiger Ruhephase mit einem fahrradergometrischen Stufentest bis zu einer durch Voruntersuchung bestimmten maximalen Leistung belastet. Die Stufendauer und Intensitäten lagen im Mittel bei 10 Min. mit 27%, 6 Min. 44%, 6 Min. 60%, 6 Min. 77%, 6 Min. 94% der maximalen Vortestleistung und ergaben sich aus den Stoffwechselforgaben: erste Stufe im Bereich des Basislaktats (<2 mmol/l), Stufe 2–4 unter, im und über dem aerob-anaeroben Übergangsbereich (2–4 mmol/l), Stufe 5 im anaeroben Bereich (>6,5 mmol/l). Unmittelbar nach Ruhe, Aufwärmung (nach 1. Stufe), submaximaler Belastung (nach 4. Stufe) und nahezu maximaler Ergometerbelastung (nach 5. Stufe) erfolgten die Messungen des Spontan-EEGs (3 Min. Augen geschlossen) sitzend auf dem Ergometer und des BPs vor ca. 60 willkürlichen Antrittsbewegungen (mit Blickfixierung). Es gingen nur artefaktfreie EEG-Abschnitte in die Analyse ein.

Ergebnisse: Auch nach intensiven Ergometerbelastungen kann ein typisches BP vor Antrittsbewegungen auf einem Fahrradergometer erfaßt werden. Es zeigt, abhängig von der Belastungsintensität, Zunahmen bei den BP-Parametern (Power, max. Amplitude). Im Spontan-EEG nahmen die spektralen α -2 und β -2 Leistungen nach Aufwärmung und submaximalen Belastungen zu, durch die max. Belastungsstufe wurden die höchsten Veränderungen im δ -Frequenzbereich festgestellt.

Schlußfolgerungen: Eine zunehmende physische Erschöpfung zeigt Auswirkungen bezüglich der kortikalen Aktivierung im EEG und der Bewegungsinitiierung im Bereitschaftspotential. Vermutlich erfordern die kortikalen und subkortikalen Bewegungsvorbereitungen und -durchführungen nach höheren Beanspruchungen größere willentliche Anstrengungen. Dies ist mittels EEG-Parameter erstmals objektivierbar. Da das BP auch unter erschöpfenden Bedingungen erfaßt werden kann, eröffnet sich ein neues Feld zur Feststellung psychischer Parameter im Sport.

Schlüsselwörter: Elektroenzephalographie, Bereitschaftspotential, kortikale Bewegungsvorbereitung, erschöpfende Ergometerbelastung

The effect of different levels of exercises on an ergometer on EEG and readiness potential (RP)

Th. Barthel, T. Wehr, R. Schnittker, D. Mechau, H. Liesen, M. Weiß

Abstract

The aim of this study was the recording of EEG and readiness potential (RP) after exhaustive exercise in order to find new psychological parameters and to register mental effects of exhaustion.

Methods: 15 voluntary, endurance trained, right-handed, male adults, in the age between 22–30, completed as follows a step test on a bike ergometer after being accustomed to the equipment and after their blood-lactat-intensity-curve had been determined: 1.) 10 minutes below the beginning of rising lactat 2.) Three levels, each 6 min., below, at and above the aerob-anaerobic transition 3.) Highest intensity, which could be maintained in the pretest for 6 min. 2 hours after a standardized breakfast spontaneous EEGs (3 min. with eyes closed) and RPs before approximately 60 triggered pedalling movements with adjusted eyes were examined on the ergometer in this order: after 20 min. of rest, after 1.), 2.) and 3.). Only artefact free EEG segments were analysed.

Results: After intensive exercises on an ergometer a typical RP before pedalling movements can also be determined. Depending on the intensity, increases of the RP parameters (power, max. amplitude) were found. In spontaneous EEG the spectral α -2 and δ power were higher.

Conclusions: With increasing exhaustion the preparation and contribution of a performance requires more mental effort. This can be objectified by EEG parameters.

Key words: Electroencephalography, readiness potential, cortical-movement-preparation, exhaustive exercise

Neurol Rehabil 2002; 8 (1): 23-28

Einleitung

Spontan-EEG-Ableitungen während und nach unterschiedlichen körperlichen Belastungen lassen unterschiedliche elektrische kortikale Aktivitätsniveaus erkennen [1, 16]. Das nach einer Belastung abgeleitete Spontan-EEG wird als Nachwirkung der körperlichen Beanspruchung durch die Gesamtbelastung verstanden [17, 18].

Das Bereitschaftspotential (BP) wird als zerebrales Korrelat beabsichtigter Entscheidungsprozesse vor zielgerichteten, willkürlichen Bewegungshandlungen betrachtet [10, 15]. Aufgrund der schwierigen meßtechnischen Erfassung wurde dieses Potential bisher nicht nach physisch erschöpfenden Belastungen gemessen und bei sportwissenschaftlichen Fragestellungen über die Beschreibung hinaus [15] nicht weiter analysiert.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, experimentelle Voraussetzungen zur Erfassung des Bereitschaftspotentials (BPs) nach erschöpfender (Fahrradergometer-) Belastung zu schaffen und die spezifischen Veränderungen (des Kurvenverlaufes) im Zustand zunehmender Ermüdung erstmalig zu charakterisieren, um damit ein solches Verfahren als neue psychophysiologische Messung in der sportmedizinischen Forschung zu etablieren. Es gilt, methodische Vorkenntnisse für die Erforschung der Bedeutung von Bewegungserfahrung, Befindlichkeit, Aufmerksamkeit und Motivation vor der willkürlichen Ausführung einer gelerten Bewegungsaufgabe zu erarbeiten [9].

Methodik

Probanden

15 gesunde, ausdauertrainierte, rechtshändige (13) männliche Erwachsene im Alter von 26 ± 3 Jahren, $178 \pm 5,6$ cm, $71,8 \pm 3,6$ kg nahmen an dieser Studie teil. Die Probanden waren angewiesen, bis zu 48 Stunden vor der Untersuchung keine Medikamente einzunehmen und keine erschöpfenden Belastungen einzugehen. Bis 24 Stunden vor der Untersuchung waren Alkohol, Nikotin oder andere Wirksubstanzen nicht erlaubt, und am Untersuchungstag durften keine Stimulanzien wie Kaffee, schwarzer Tee und Kakao konsumiert werden. Die Probanden gaben ihr schriftliches Einverständnis.

Untersuchungsdesign

Die Studie gliederte sich in eine Vor- und eine Hauptuntersuchung.

Voruntersuchung: fahrradergometrischer Stufentest ($\Delta P = 50$ Watt/Stufendauer = 6 min.) bis zur subjektiven Ausbelastung. Zum Training der Testhandlung und zur Gewöhnung an die Meßsituation wurde in der Voruntersuchung ein ähnliches Testschema wie in der Hauptuntersuchung gewählt (siehe Abb. 1). Laktat wurde in den letzten 10 Sekunden jeder Belastungsstufe mittels kapillarer Blutentnahme am hyperämisierten Ohrläppchen bestimmt. Die Herzfrequenz wurde kontinuierlich aufgezeichnet. Die Händigkeit der Probanden wurde in der Voruntersuchung mit dem »Edinburgh Handedness Inventory« (EHI) [12] analysiert.

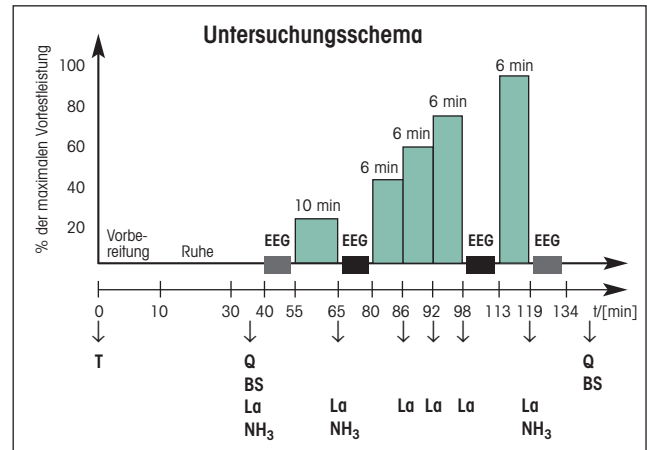


Abb. 1: Untersuchungsschema; T Testgetränk, Q Fragebogen, BS Blutentnahme, La Laktat, NH₃ Ammoniak

In der *Hauptuntersuchung* (Abb. 1) wurden folgende, für alle Probanden vergleichbare, Belastungsintensitäten (ermittelt aus dem Vortest) vorgegeben:

1. Zehn Minuten Erwärmung, Laktatspiegel < 2 mmol/l ($27\% \pm 6\%$ der max. Ausdauerleistung)
2. Sechs Minuten mit einem Laktatspiegel um 2 mmol/l ($44\% \pm 5\%$ der max. Ausdauerleistung)
3. Sechs Minuten mit einem Laktatspiegel um 3 mmol/l ($60\% \pm 5\%$ der max. Ausdauerleistung)
4. Sechs Minuten mit einem Laktatspiegel um 5 mmol/l ($77\% \pm 4\%$ der max. Ausdauerleistung)
5. Sechs Minuten mit einem Laktatspiegel um 7 mmol/l ($94\% \pm 4\%$ der max. Ausdauerleistung)

Die Hauptuntersuchung erfolgte an Tagen nach reduzierter Trainingsbelastung und kohlenhydratreicher Ernährung, zwei Stunden nach standardisiertem Frühstück und standardisierter Flüssigkeits/Maltodextrin-Zufuhr im Sportmedizinischen Institut.

EEG Meßmethodik

Die Messungen des Spontan-EEGs (3 Min. Augen geschlossen) und des BPs vor ca. 60 willkürlichen Antrittsbewegungen (Blick auf einem Punkt fixiert) erfolgten auf dem Ergometer sitzend mittels des CATEEM-CATERPA-Systems. Die EEG-Aufzeichnungen fanden nach 20minütiger Ruhe sowie nach Erwärmung (1), Submaximal- (4), und Maximalbelastung (5) statt (Abb. 1).

Die Hirnpotentiale wurden mittels 17 Elektroden einer Elektrodenhaube (Fa. Electro Cap Co., Eaton, USA), angeordnet im internationalen 10:20 System [7], mit Cz als physikalischer Referenz erfaßt. Zur Artefakterkennung diente zusätzlich ein Elektro-Okulogramm (EOG) und Elektro-Kardiogramm (EKG). Die Signale wurden in einen batteriebetriebenen Gleichspannungsverstärker gespeist und dort digital gewandelt (AC=10 M Ω ; DC=20 M Ω /512 Hz/12 bit) (MediSyst GmbH, Linden, Germany). Ein ausreichender Signal-Störabstand wird durch die hohen Eingangswiderstände des Verstärkers und die niedrigen Elektrodenimpedanzen (< 50 k Ω) gewährleistet. Über ein Glasfaserkabel gelangen die Daten störungsfrei zum

CATEEM-CATERPA System. Es gingen nur artefaktfreie EEG Abschnitte in die Analyse ein.

Zur Ermittlung des BPs wurden die EEG-Abschnitte von 2.000 ms vor bis 10 ms nach dem getriggerten Antritt aufsummiert. Die Analyse konzentriert sich auf das BP in frontalen, zentralen und parietalen (Fz, Cz, Pz) Hirnregionen und innerhalb dessen auf charakteristische, quantifizierbare Parameter (Abb. 2). Das Spontan-EEG wird durch Fast Fourier-Transformation in sechs Frequenzbereiche unterteilt und als spektrale Leistung ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$) wiedergegeben.

Zur Objektivierung der Belastung wurden Herzfrequenz (HF), Laktat- (LA), Ammoniak- (NH_3) und Katecholamin-konzentration ermittelt. Zusätzlich wurde die Befindlichkeit durch die Basler Befindlichkeitsskala erhoben.

Statistische Analyse

Die Statistische Analyse der Spontan-EEG-Daten wurde mit der CATEEM-Software realisiert (Vorzeichentest und Wilcoxon Test), die übrigen Daten wurden mit der SPSS-

Software analysiert: Datensätze wurden nach Prüfung auf Normalverteilung der ANOVA (parametrische Varianzanalyse), dem t-Test für gepaarte Stichproben (post-hoc) oder dem Friedman- (nichtparametrische Varianzanalyse) und Wilcoxon Test unterzogen. Es wurde ein Signifikanzlevel von $p < 0,05$ festgelegt. Die Ergebnisse werden als Mittelwert und Standardabweichung angegeben.

Ergebnisse

Die Belastungsparameter HF, LA und NH_3 dokumentieren signifikant die steigende Belastung bis nahe an die Ausbelastung (Abb. 3).

Die Basler Befindlichkeitsskala zeigte eine Abnahme in den Items Vigilanz und Vitalität nach Belastung, wobei nur bei der Vitalität ein Signifikanzniveau erreicht wurde.

Qualitative Ergebnisse

Die Map-Darstellung und die über alle Probanden gemittelten und geglätteten Hirnpotentialverläufe im Zustand nach Ruhe und nach maximaler Belastung zeigen Unterschiede in Ausmaß und Höhe der negativen Potentiale (Abb. 4).

In der Ruhesituation erkennt man im Map eine asymmetrische Verteilung der negativen Potentiale rechts frontal und eine symmetrische Verteilung vom zentralen zum parietalen Cortex. Die maximale Negativität findet sich über dem Vertex. Dies zeigt sich in der Kurvendarstellung bei Cz mit einem frühen Onset (-1.400 ms) vor Bewegungsanfang sowie exponentiellem Verlauf und maximaler Amplitude bei Bewegungsbeginn, welches die numerische Darstellung unterstützt.

Nach der maximalen Belastung bildet sich im Map eine über parietale und zentrale bis weit in frontale Hirnregionen ausgebreitete symmetrische Negativierung. Die Vertexregion zeigt wiederum die höchsten negativen Potentiale. Die Kurvendarstellung und die numerischen mittleren Amplituden unterstützen dieses Ergebnis (Abb. 4).

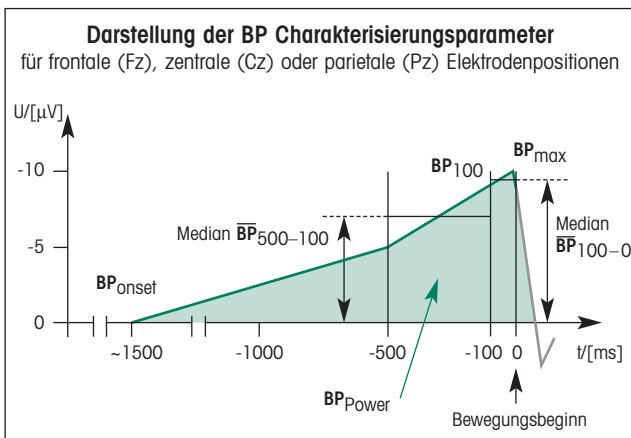


Abb. 2: Schematische Darstellung charakteristischer BP-Parameter zur qualitativen Analyse an frontalen (Fz), zentralen (Cz) und parietalen (Pz) Elektrodenpositionen

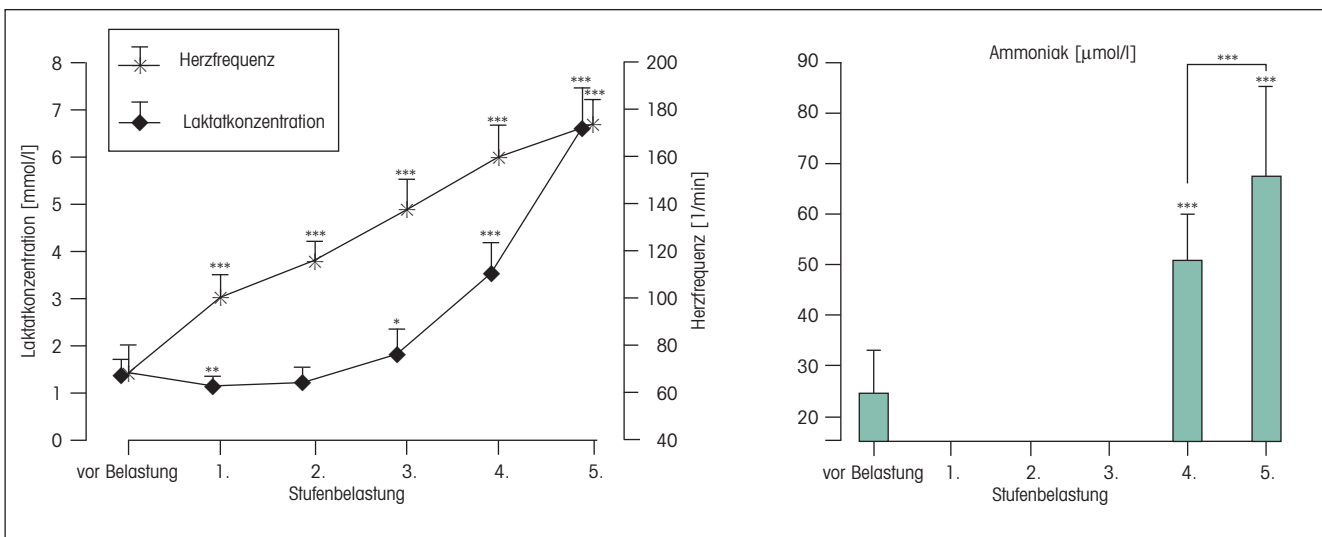


Abb. 3: Mittelwerte und Standardabweichung der Laktat- und Herzfrequenzwerte und der Ammoniakkonzentration aus der Hauptuntersuchung; n = 14 (Vor-Belastung, 1 Erwärmung, 2, 3, 4 submaximale Stufen, 5 maximale Belastungsstufe)

Liegt als offene Datei vor!

Parameter	Elektrodenposition			
	Mz	Fz	Cz	Pz
BPonset [ms]	R 1 4 5	-677,3 ± 627,3 -1.406,3 ± 456,5 -1.266,3 ± 186,6 -1.197,1 ± 234,9	-1.446,1 ± 295,9 -1.264,5 ± 831,3 -1.290,6 ± 231,0 -1.111,8 ± 783,0	-906,8 ± 479,4 -1.356,2 ± 459,3 -980,4 ± 446,2 -1.143,2 ± 231,9
BPmax [µV]	R 1 4 5	-5,1 ± 3,6 -6,3 ± 4,2 -8,3 ± 4,0 -8,9 ± 3,9	-10,3 ± 6,0 -10,4 ± 5,3 -12,5 ± 6,1 -12,4 ± 7,1	-3,4 ± 1,4 -4,7 ± 4,3 -5,3 ± 7,1 -4,7 ± 3,2
BP ₅₀₀ [µV]	R 1 4 5	0,3 ± 2,2 -1,0 ± 3,2 -1,9 ± 3,3 -3,3 ± 4,1	-5,0 ± 3,2 -5,7 ± 3,3 -6,7 ± 2,4 -6,6 ± 4,9	-1,7 ± 1,3 -2,8 ± 3,7 -4,1 ± 4,0 -1,7 ± 3,7
BP-Power [µV ²]	R 1 4 5	10,0 ± 12,4 16,8 ± 22,7 20,1 ± 15,6 37,9 ± 44,3	41,6 ± 58,2 43,6 ± 43,6 60,9 ± 54,5 77,4 ± 97,6	5,1 ± 4,0 14,3 ± 17,3 26,2 ± 33,5 24,6 ± 30,9

Tab. 1: Mittelwert und Standardabweichung charakteristischer »Bereitschaftspotentialparameter« (BP) an Fz, Cz, Pz Elektrodenpositionen
R Ruhe, **1** Warm up, **4** submaximale Belastung, **5** Maximalbelastung, * p<0,05, ** p<0,01 (T-Test), + p<0,05 (Wilcoxon)

Im Statistikmap (Abb. 6) zeigen sich im Vergleich der maximalen Stufe zur Vor-Belastung die größten Veränderungen im Delta-Frequenzbereich. Eine Zunahme der spektralen Leistung wird in parietalen und zentralen, linksfrontal (F3, F7) und in den temporalen Elektrodenpositionen (T3, T4) verzeichnet. Die Alpha-2-, Beta-1- und Beta-2-Frequenzbereiche weisen einheitlich Vergrößerungen in den zentralen Cz und der parietalen Elektrodenposition P4 auf. Der Beta-1- und Beta-2-Frequenzbereich zeigt eine Zunahme in der frontalen Elektrodenposition F3 bzw. über dem primär motorischen Kortex in den Elektrodenpositionen C3 (Beta-1) und C4 (Beta-2). Die Theta-Frequenz nimmt über der parietalen Elektrodenposition Pz zu.

Diskussion

Insgesamt ist es gelungen, ein Bereitschaftspotential vor einer sportartspezifischen Bewegungshandlung auch nach definierten Anforderungen zu ermitteln (Abb. 4). Der typische Kurvenverlauf ist in der grand average Darstellung (Cz-Elektrodenposition) zu erkennen. Diese Charakteristika stimmen mit denen klassischer Studien für Fingerbewegungen [5, 6, 10] sowie Fuß- und Beinbewegungen [2, 3, 19] überein. Auch die topographische Verteilung (größtes BP über dem Vertex) trifft zu [3, 8, 19].

Ein neuer Befund ist, daß BP-Power und BPmax nach zunehmender Belastung größer (negativer) wurden und eine weite Ausbreitung der BP-typischen langsamen Negativitätsbewegung bis in den frontalen Kortex auftrat (Abb. 4 und Tab. 1). Veränderte Bewegungsbedingungen (unterschiedliche Kraft bzw. Bewegungsgeschwindigkeit), welche bei *Wallenstein* et al. [23] mit einem größeren BP einhergingen, konnten ausgeschlossen werden.

Es scheint, daß psychologische Einflüsse (Aufmerksamkeit, Motivation) für das Anwachsen der Amplituden des Hirnpotentials verantwortlich sind [4, 11, 13, 14]. Möglicherweise stellt die BP-Zunahme nach Maximalbelastung eine psychische Kompensation der verschlechterten Bewegungsbedingungen (Metabolitenansammlung und Verarmung schnell verfügbarer Energiereserven (Abb. 3) durch Aufmerksamkeits-, Konzentrations- und Motivationserhöhung dar (Willensstärke gegen physische Erschöpfung). Die schwach signifikante Abnahme der Vitalität und tendenzielle Abnahme der Vigilanz nach Belastung deuten auf eine Beanspruchung dieser Eigenschaften hin.

Die beobachteten Veränderungen im Spontan-EEG, insbesondere im Delta-Frequenzbereich, könnten als Ausdruck einer höheren Beanspruchungssituation mit stärkerem Einbezug der Aufmerksamkeit die o. g. These stützen. Bei einigen Autoren [21] wurde während Aufmerksamkeits- und Reaktionstests ein Anstieg der Delta- und Theta-Leistung festgestellt. Aber auch kardiovaskuläre Einflüsse können nach anderen Arbeitsgruppen [22] als Verursacher für veränderte Delta-Wellen diskutiert werden.

Die Zunahme der spektralen Leistungsdichte des Alpha-2 mit gleichzeitiger Abnahme des Alpha-1 Frequenzbandes in frontalen, zentralen und linksparietalen Kortexregionen weist ebenfalls auf ein höheres zentrales Aktivierungsniveau mit starker emotionaler Beteiligung hin [18, 20, 24].

Schlußfolgerung

Mit zunehmender Erschöpfung erfordert die Erbringung einer Bewegungshandlung größere willentliche Anstrengung in der kortikalen Bewegungsvorbereitung. Dies ist mittels EEG-Parametern objektivierbar.

Literatur

1. Beyer L, Schumann H: Möglichkeiten neurophysiologischer Untersuchungen in der Sportmedizin anhand von zwei ausgewählten Beispielen. *Med u Sport* 1981; 3: 65-70
2. Böcker KBE, Brunia CHM, Cluitmans PJM: A spatio-temporal dipole model of the readiness potential in humans. II. Foot movement. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1994; 91: 286-294
3. Boschert J, Deecke L: Cerebral potentials voluntary toe, knee and hip movements and their vectors in human precentral gyrus. *Brain Res* 1986; 376: 175-179
4. Deecke L, Kornhuber HH, Lang W, Lang M, Schreiber H: Timing funktion of the frontal cortex in sequential motor and learning tasks. *Hum Neurobiol* 1985; 4: 143-154
5. Deecke L, Kornhuber HH: Cerebral Potentials and the Initiation of Voluntary Movement. In: Desmedt JE (ed): *Attention, Voluntary Contraction and Event-Related Cerebral Potentials. Progress in Clinical Neurophysiology* (Vol. 1). Karger, Basel 1977, 132-150
6. Deecke L: Elektrophysiological correlates of movement initiation. *Rev Neurol* 1990; 146 (10): 612-619
7. Jasper HH: The ten-twenty electrode system of the International Federation. In: *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1958; 10: 371-375
8. Kornhuber HH, Deecke L (eds): *Motivation, Motor and Sensory Processes of the Brain. Electrical Potentials, Behaviour and Clinical use. Prog Brain Res* (vol 54). Elsevier, Amsterdam 1980
9. Kornhuber HH, Deecke L: Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflügers Archiv Ges Physiol* 1965; 284: 1-17
10. Kornhuber HH, Deecke L, Grözinger B: Was geht in unserem Gehirn vor, bevor wir eine Bewegung machen? *Hirnströme vor Bewegung. Umschau* 1980; 80: 239-242
11. Kristeva R, Kornhuber HH: Cerebral potentials preceding related to the smallest human finger movement. In: Kornhuber HH, Deecke L (eds): *Motivation, Motor and Sensory Processes of the Brain. Electrical potentials, behaviour and clinical use. Prog Brain Res* (vol 54). Elsevier, Amsterdam 1980, 748-754
12. Oldfield RC: The assessment and analysis of handedness: »The Edinburgh Inventory«. *Neuropsychologia* 1971; 9: 97-113
13. Rockstroh B, Elbert T, Canavan A, Lutzenberger W, Birbaumer N: *Slow Cortical Potentials and Behaviour. Urban and Schwarzenberg, Baltimore/Munich/Vienna* 1989, 96
14. Roland PE: Cortical organisation of voluntary behavior in man. *Hum Neurobiol* 1985; 4: 155-167
15. Schober F: *Psychophysiologische Komponenten der sportlichen Bewegungsleitung und des sportlichen Trainings – ein neurophysiologischer Beitrag. Dissertation, Jena* 1987
16. Schober F, Schumann H: Das EEG in der psychophysiologischen Leistungsdiagnostik. *Österreichisches Journal für Sportmedizin* 1991; 21 (4): 115-119
17. Schumann H, Seibt R, De Marees H: EEG und sportliche Belastung. In: Tittel K, Arndt KA, Hollmann W (eds): *Sportmedizin, gestern – heute – morgen. Sportmedizinische Schriftenreihe Bd. 28, Leipzig* 1993: 227-330
18. Seibt R, Schumann H, De Marées H: Brain-Mapping bei körperlicher Belastung im Sport. *Sportpsychologie* 1992; 4: 20-24
19. Shibasaki H, Barrett G, Halliday E, Halliday AM: Cortical Potentials Associated with voluntary Foot Movement in Man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1981; 52: 507-516
20. Sologub JB: Kortikale Systeme der Bewegungssteuerung beim Sportler. *Med u Sport* 1977; 11: 348-351
21. Stock C, Baum M, Roskopf P, Schober F, Weiß M, Liesen H: Electroencephalogram activity, catecholamines, and lymphocyte subpopulations after resistance exercise and during regeneration. *Eur J Appl Physiol* 1996; 72: 235-241
22. Vaitl D, Gruppe H: Body position and changes in EEG. *Journal of Psychophysiology* 1992; 6: 111-118
23. Wallenstein GV, Nash AJ, Scott Kelso JA: Frequency and phase characteristics of slow cortical potentials preceding bimanual coordination. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995; 4: 50-59
24. Weiss, T, Beyer L, Hansen E: Motor imagination – a model for motor performances? *Int J Psychophysiol* 1991; 11: 203-205

Korrespondenzadresse:

Dipl. Sportwiss. Thorsten Barthel
 Sportmedizinisches Institut
 Universität Paderborn
 Warburgerstr. 100
 33098 Paderborn
 e-mail: Thorsten@sportmed.upb.de