

## 低強度運動が脳波に及ぼす影響

佐々木 浩 子\*

### I はじめに

21世紀を迎え、新世紀の国民健康づくり運動である「健康日本21」が始まった。これは、自らの健康観に基づく一人ひとりの取り組みを社会の様々な健康関連グループが支援し、健康を実現することを理念としているものである<sup>1)</sup>。その推進のための方策の一つとして、慢性疾患の予防あるいは改善の他に、健康の維持・増進や生活の質 (Quality of life: QOL) にも影響する生活習慣の基本的な要素として身体活動・運動が取り上げられている<sup>2)</sup>。

身体活動は、エネルギー消費をともなう骨格筋のあらゆる活動とされ<sup>3)</sup>、その中には労働や余暇時間での活動も含まれるが、一般的には余暇時間のスポーツ活動として理解されることが多い。しかし、労働は個人の生活習慣の重要な要素の一つであり、個人の身体活動にも含めて考えていく必要がある。

労働における身体活動に関しては、歴史的に肉体的労働による健康影響が問題視されてきたが<sup>4)</sup>、近年の労働の機械化・自動化、特にコンピュータ等の普及により、VDT作業などの作業関連疾患やむしろ運動不足のほうの問題となっている<sup>5)</sup>。また、うつ病などの精神的疾患や睡眠障害の急増も報告されてお

り<sup>6)</sup>、精神的ストレスの緩和やストレスマネジメントの一つとしての身体活動・運動の効果が期待されている<sup>7,8)</sup>。しかし、実際の労働現場では、体操程度の運動であっても仕事を中断して行うことは難しい状況にある。

運動の心理学的な影響については、睡眠や不安などの心理学的作用や運動後の快適感 (feel better) を評価するための他覚的な指標として、主に脳波測定が用いられ、同時に自覚的指標として不安 (anxiety) や気分 (mood) の測定が行われてきた<sup>9-13)</sup>。運動後、脳波の変動と同時に有酸素適応者で睡眠が改善されること<sup>9)</sup>や、自覚的な不安が改善される<sup>10,11,12)</sup>ことなどが報告されているが、その一方で否定的報告もある<sup>13)</sup>。

しかし、これらの報告では、運動強度として年齢別最大心拍数に対する割合 (%HRmax) をもとに70%HRmax 前後の比較的高い強度を用いていることが多いために、他の生理学的指標も大幅に変動することで心理学的にも影響を受けたり<sup>14)</sup>、代謝系への負担の個人差<sup>15)</sup>が考慮されていなかったりすることから、個人差を考慮したより低い運動強度の設定の必要性が考えられる。また、近年、アメリカスポーツ医学会 (American College of Sports Medicine: ACSM) より、これま

\*北海道浅井学園大学短期大学部保健体育学科

で推奨されてきた運動時間や強度よりも低いレベルの運動でも健康への貢献があることが示され<sup>16)</sup>、低強度での運動が生体にどのような影響を及ぼすのかについて心理学的な影響を含めて明らかにしていくことは、運動習慣の個人や集団への動機づけの面からも重要であると考えられる。

そこで本研究では、比較的低強度の運動後の脳波を4部位で測定し、運動後のそれぞれの部位での脳波各帯域の変化および部位間の変化の違いについて明らかにすることを目的とした。

## II 対象および方法

### 1. 対象

対象は、20歳から26歳の右利きの健康成人男子11名で、年齢は平均22歳 (SD=1.48)、身長は平均171.43 cm (SD=5.18)、体重は平均64.27 kg (SD=7.82)であった。

### 2. 実験手順

実験は、気温 $22 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度50~60%に制御した防音室内で、午前8時から正午の時間帯に行った。実験室へ入室後、被験者のその日の体調を疲労自覚症状調べ(日本産業衛生学会産業疲労研究会編)の記入と、簡易乳酸測定器(ベーリンガー・マンハイム社、アクスポーツ)による血中乳酸濃度の測定にて確認し、疲労訴え数の多い者および安静空腹時血中乳酸濃度参考値 $0.4\text{--}2.1\text{ mmol/l}$ <sup>17)</sup>を参考に、血中乳酸濃度の高い者には実験を中止させた。疲労自覚症状調べは各実験条件終了後にも記入させた。被験者には予め実験の主旨、体調不良の場合は途中で中止できることを説明し、同意を得た。

個々の被験者に対する運動強度は、予備実験として呼気ガス分析器(Sanei, Aerobics processor 371)を使用し、自転車エルゴメーター(Monark, Elgomedic 818)で座位にて、 $0.2\text{kp}/\text{min}$ のランプ負荷法によって測定した呼気ガスからV-slope法<sup>18)</sup>でVT(ventilatory threshold)を算出し、VT時点の強度(kp)を決定した。その後、VTよりも20%低い強度を計算によって求め、個々の運動強度とした。

実験条件は、15分間安静閉眼座位(pre exercise)の後、自転車エルゴメーターで毎分50回転20分間の運動を行い(exercise)、再び15分間安静閉眼座位(post exercise)を行った。前後15分間の安静閉眼座位状態に脳波の測定を行い、同時に心電図も測定した。

### 3. 脳波の測定および解析

脳波は、国際規格10-20法に従い両耳朶を不関電極とし、単極誘導で比較的運動中の影響を受けにくい頭頂から後頭部にかけてのCz, Pz, O1, O2より導出し、脳波計(Sanei, IA 92)を用いてポリグラフィ的に眼球運動、胸部双極誘導による心電図、呼吸曲線を同時に紙記録し、これらをアナログデータレコーダー(TEAC, XR 70)に磁気録音した。脳波測定は電極インピーダンス値を $5\text{ k}\Omega$ 以下に抑え、時定数0.3秒、30Hzのフィルター処理で行った。磁気録音された脳波は、A/D変換ボード(カノープス社製, RH98/H)を用いてWave master 2(WM 2)で100HzのsamplingでA/D変換し、変換後、10秒間(1000点)を1エポックとして、各条件の直前(pre)と終了直後(post)各5分間30エポックについて、最大エントロピー法

(Maximum Entropy Method : MEM) による周波数スペクトル解析を行った。

周波数スペクトル解析は、MEM スペクトル解析 (諏訪トラスト, MemCalcSystem) を用いてラグ値400で、全周波数(0.5-30Hz)と、 $\delta$  (0.5-4Hz),  $\theta$  (4-8Hz), 低周波 $\alpha$  ( $\alpha 1$ : 8-11Hz), 高周波 $\alpha$  ( $\alpha 2$ : 11-14Hz), 低周波 $\beta$  ( $\beta 1$ : 14-20Hz), 高周波 $\beta$  ( $\beta 2$ : 20-30Hz) 波のパワースペクトル積分値 (power spectral density: PSD) および各帯域の全パワー積分値に対する比率 (power time percent: Time%) を求め、それぞれ pre に対する変化率を算出し、post 値との比較を行い検討した。

#### 4. 統計処理

結果の統計学的処理は、脳波の変化率の比較については、直前5分間の11人分の平均値を用いて pre 値と post 値にて対応のある t 検定を用い、部位間の比較については分散分析を行い、post-hoc テストの成績は Fisher's PLSD 法により検定した。心拍数については条件間で分散分析を用いて行った。

### III 結 果

#### 1. 心拍数の変化

各被験者の運動前、運動中および運動後の平均心拍数は Table 1 に示すとおりで、運動前には65.2bpm (beats per minute) (SD = 6.4), 運動中には100.9bpm (SD = 7.3), 運動後には74.0 bpm (SD = 8.9) となり、分散分析の結果、条件間で有意差 ( $p < 0.0001$ ) が認められた。

Table 1. Mean heart rate (bpm) of each subject

subjects	conditions		
	pre exercise	during exercise	post exercise
A	57.7	93.2	61.9
B	60.8	92.6	66.9
C	61.0	97.0	72.9
D	74.1	103.9	82.1
E	63.4	98.9	78.6
F	72.4	117.1	92.2
G	71.6	100.6	71.8
H	70.1	99.6	81.5
I	71.1	110.7	76.3
J	55.7	92.8	60.5
K	58.9	103.8	69.7
Mean	65.2	100.9	74.0
SD	6.4	7.3	8.9

significance :  $p < 0.0001$  among conditions

#### 2. 部位別脳波各帯域の PSD の変化

部位別の各帯域ごとの PSD の5分間の変化率の平均は、Fig.1 に示すとおりである。図には pre 値を100%とした時の post 値を示した。pre 値と post 値との比較の結果、どの部位でも低周波 alpha で有意な増加が認められた。Cz では高周波 alpha, 高周波 beta 波および全周波数帯域で有意な増加が認められた。

#### 3. 部位別脳波各帯域の Time% の変化

部位別の各帯域ごとの Time% の5分間の変化率の平均は、Fig.2 に示すとおりである。図には pre 値を100%とした時の post 値を示した。pre 値と post 値との比較の結果、Cz では低周波 alpha および高周波 beta 波で有意な増加が、delta 波で有意な減少が認められた。O1 および O2 では高周波 beta 波で有意な減少が認められた。Pz では低周波 alpha 波で最も増加していたが、有意差は認められなかった。

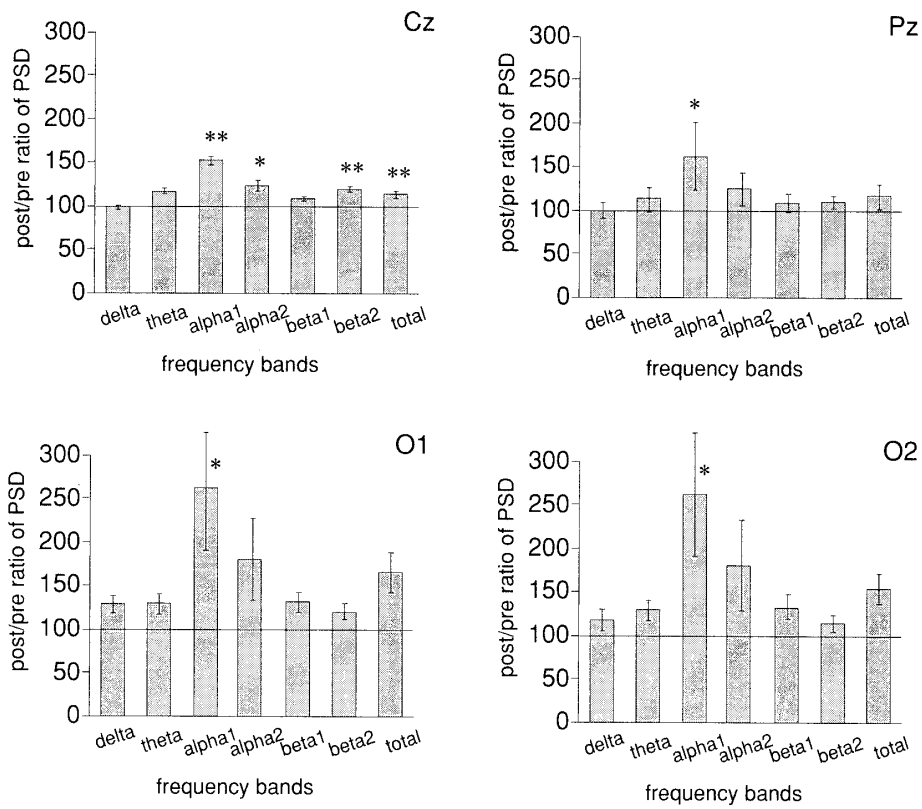


Fig.1 Mean post/pre ratio of PSD in each frequency band at four placements. Values indicate mean  $\pm$  SE and baseline is 100%. \*: p<0.05, \*\*: p<0.01(vs baseline)

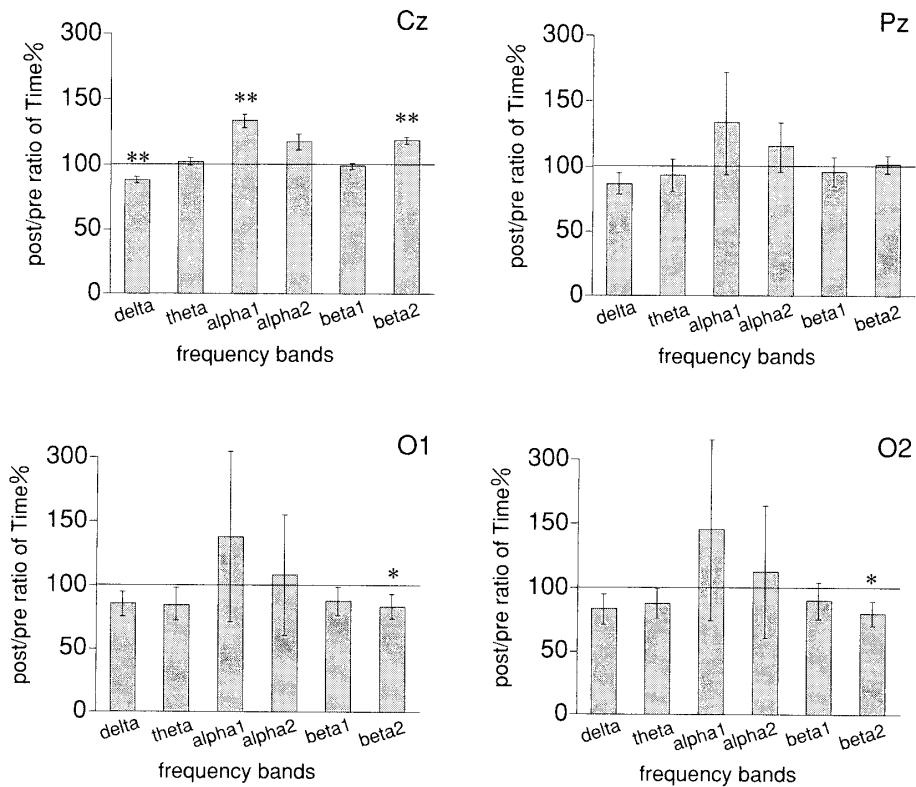


Fig.2 Mean post/pre ratio of Time% in each frequency band at four placements. Values indicate mean  $\pm$  SE and baseline is 100%. \*: p<0.05, \*\*: p<0.01(vs baseline)

#### 4. 部位間の比較

4 部位間の比較は table 2 に示す通りである。部位間の変化率は脳波全周波数帯域で有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められ、post-hoc テストの結果、Cz および Pz に比べて O1 で有意な増加、O2 で増加の傾向が認められた。PSD では delta 波で Cz および Pz に比べて O1 および O2 で増加の傾向が、Time% では高周波 beta 波で Cz に比べて O1 および O2 で減少の傾向が認められた。

**Table 2. Significance(ANOVA) with the ratio of post/pre among each placement**

frequency band	PSD	Time%
delta	0.1	ns
theta	ns	ns
alpha 1(low)	ns	ns
alpha 2(high)	ns	ns
beta 1(low)	ns	ns
beta 2(high)	ns	0.1
total	0.05	-

## IV 考 察

本実験中の各条件における心拍数で有意差が認められたことから、低強度の負荷ではあったものの、各被験者に対する運動の効果は十分であったと考えられた。

部位別の各帯域の PSD 変化率では、どの部位でも低周波 alpha 波で有意な増加が認められ、Cz では高周波 alpha、高周波 beta 波および全周波数帯域でも有意な増加が、O1 および O2 では全周波数帯域で増加の傾向が認められた。有意差は認められなかったが、Pz でも運動後に全周波数帯域は増加していた。このことは、低強度の運動後でも脳波の帯域全体で活動性が増加していることを示す

ものであり、これまで報告されてきた運動後の alpha 波の増加とも一致するものである<sup>18-20)</sup>。

部位別の各帯域の Time% 変化率では、Cz で低周波 alpha および高周波 beta 波の有意な増加、delta 波の有意な減少が認められ、O1 および O2 では高周波 beta 波の有意な減少が認められた。低周波 alpha 波については、有意差は認められなかったもののどの部位でも他の帯域に比べて運動後に最も増加しており、この結果もこれまで報告されてきた alpha 波の増加と一致する<sup>19-21)</sup>。Cz 以外で低周波 alpha 波に有意差が認められなかったのは、分散の値が大きいことから個人差が大きいと考えられ、今後 alpha 波の解析には、個人ごとの脳波特性を考慮していく必要があると考えられた。

高周波 beta 波の Time% 変化率については、Pz で運動後にほとんど変化がなかったのに対して、Cz では増加、O1 および O2 では減少という相反した結果となった。しかし、高周波 beta 波が全周波数帯域に占める割合は、O1 および O2 では減少しているが、どの部位でも PSD は増加していることから、低強度の運動後も alpha 波ばかりではなく、beta 波の活動性自体が増加していることが明らかとなった。O1 および O2 では、高周波 beta 波 Time% の減少と同時に、他の部位に比べて PSD の alpha 波帯域の平均変化率が 1.5 倍以上であるという結果を考慮すると、このような alpha 波の活動性の増加が後頭部脳波の特徴となっていると考えられた。これらの結果は、脳波の導出部位によって運動後の脳波全体の構成周波数が異なっていることを示すと考えられ、運動後の脳波の

検討には部位による検討も必要であることが示唆された。

しかしながら、導出部位ごとの変化率の検討では部位差が認められたが、各帯域ごとに部位間の比較を行った結果、ほとんどの帯域で部位差は認められなかった。そこで、それぞれの帯域ごとに各部位について個別に対応のない t 検定を行うと、O1およびO2では、他の部位に比べて全周波数帯域の PSD が増加しており、高周波 beta 波の Time% が減少しているという特徴が認められた。この結果より、各部位での変化率には低強度の運動後にほぼ同様な変動の傾向が認められるが、脳波全体の活動性は後頭部で大きく、beta 波帯域の全周波数帯域に占める割合の増減の評価には導出部位による差を考慮する必要があるということが示唆された。

以上の結果から、今回行った低強度の運動後も高強度運動での場合と同様<sup>22)</sup>に beta 波帯域も変化していることが明らかとなり、低強度運動後でも正常脳波の主体をなしている alpha 波ばかりではなく、beta 波を含む他の帯域も変動していることが示唆された。beta 波の出現は alpha 波とともに正常脳波の主体をなし<sup>23)</sup>、中心部、前頭部、側頭部などに優勢に認められる<sup>24)</sup>。beta 波のペースメーカーについては十分に解明されていないが<sup>25)</sup>、beta 波は緊張や習熟、あるいは短期記憶の固定などとの関連を示すもの<sup>26, 27)</sup>とされている。本研究での beta 波の出現も後頭部に比べて頭頂中心部である Cz および Pz でより優勢に認められ、alpha 波とともに beta 波の出現に関する検討も必要であることが示唆された。今後は、低強度運動後の beta 波の詳細な検討とともに、最も増加していた al-

pha 波の個人別の解析を不安や気分などの指標も含めて検討を行うことで、低強度運動の心理学的な効果についての新たな知見としたいと考える。

#### IV 結 語

低強度の運動が脳波に及ぼす影響について明らかにすることを目的として、VT よりも低い強度で急性運動負荷を行い、運動前後の脳波を 4 部位で測定して周波数スペクトル解析を行い、比較検討した。その結果、

1. 部位別の各帯域の PSD 変化率では、どの部位でも低周波 alpha 波で有意な増加と全周波数帯域で増加傾向が認められ、低強度の運動後でも脳波の帯域全体で活動性が増加していることが明らかとなった。

2. 部位別の各帯域の Time% 変化率では、Cz での低周波 alpha 波および高周波 beta 波の有意な増加、O1 および O2 での高周波 beta 波の有意な減少が認められ、低強度の運動後でも alpha 波以外の帯域の変化が明らかとなった。

3. O1 および O2 では、高周波 beta 波 Time% の減少と同時に、他の部位に比べて PSD の alpha 波帯域の平均変化率が大きい傾向が認められ、低強度の運動後に導出部位によって脳波全体の構成周波数が異なっていることが示された。

4. 帯域ごとに各部位について対応のない t 検定を行った結果、O1 および O2 で、他の部位に比べて全周波数帯域の PSD が増加し、高周波 beta 波の Time% が減少しているという傾向が認められ、低強度運動後の後頭部脳波の活動性の増加と beta 波の部位差が明らかとなった。

以上の結果から、高強度の運動後ばかりではなく、低強度の運動後でも脳波の構成周波数変動することが示唆された。また、beta波帯域の変動は部位による差があることも確認され、beta波帯域の全周波数帯域に占める割合の増減の評価には導出部位による差を考慮する必要があるということが示唆され、急性運動後の脳波でのalpha波ばかりではなくbeta波の出現に関する検討の必要性が考えられた。

#### 引用・参考文献

- 1) 厚生労働省HP「健康日本21」  
<http://www.mhlw.go.jp/cgi-bin/highlight.cgi/contents/jtopic/colls/mhlwj.html>
- 2) U.S. Department of Health and Human Services: A Report of the Surgeon General Executive Summary- Physical Activity and Health, Atlanta, Center for Disease Control (1996)
- 3) LaPorte RE, et al. : The epidemiology of physical activity in children, college students, middle-aged men, menopausal females and monkeys, *J Chronic Dis*, 35, 789-795 (1982)
- 4) 小野雄一郎, 島岡みどり, 蛭田秀一: 働く女性の体力と身体活動量および筋骨格系健康障害との関連, *体力研究* 75, 22-32 (1990)
- 5) 和田攻: 作業関連疾患—その内容・背景と対策の現状—, *産業医学ジャーナル*, 18, 31-40 (1995)
- 6) 川上憲人, 小泉明: 勤労者の感情障害と職業的背景, *医学のあゆみ* 138, 13, 958-960 (1986)
- 7) 竹中晃二 : 運動を用いたストレス・マネジメント—ストレス反応から見た効果—, *体育の科学* 41, 618-623 (1991)
- 8) 友田貴子, 岩田昇, 北村俊則: 精神的健康に及ぼすスポーツ活動の効果, *体力研究* 91, 133-141 (1996)
- 9) Edinger JD, Morey MC, Sullivan RJ, Higginbotham MB, Marsh GR, Dailey DS, McCall WV: Aerobic fitness, acute exercise and sleep in older men, *Sleep* 16, 351-359 (1993)
- 10) van Andel GE, Austin DR : Physical fitness and mental health: a review of the literature, *Adapted Physical Activity Quarterly* 1, 207-220 (1984)
- 11) Boutcher SH, Landers DM: The effects of vigorous exercise on anxiety, heart rate, and alpha activity of runners and nonrunners, *Psychophysiology* 25, 696-702 (1988)
- 12) Petruzzello SJ, Landers DM: State anxiety reduction and exercise: does hemispheric activation reflect such changes?, *Med Sci Sports Exercise* 26, 1028-1035 (1994)
- 13) Morgan WP, Roberts JA, Feinerman AD: Psychologic effect of acute physical activity, *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation* 52, 422-425 (1971)
- 14) Beh HC, Mathers S, Holden J : EEG correlates of exercise dependency, *International Journal of Psychophysiology* 23, 121-128 (1996)
- 15) 日本体力医学会学術委員会監修: スポー

- ツ医学〔基礎と臨床〕, 朝倉書店, 東京, pp104-109 (2000)
- 16) アメリカスポーツ医学会編: 運動処方  
の指針 (原著第6版), 南江堂, 東京, pp. 2-  
20 (2001)
- 17) 鈴木政登, 坂本静男, 須藤美智子, 桜井  
智野風, 石川和子, 松原茂, 塩田正俊, 浅  
野次義, 三浦次郎, 元山幹雄, 島田永和,  
津田恵次郎, 高橋香代, 武田修, 小林寛  
道, 北原慎太郎: スポーツ医・科学の基礎  
知識の生理, 「スポーツインストラクターの  
ための運動指導マニュアル」 鈴木政登  
編, 分光堂, 東京, pp3-125 (1992)
- 18) Beaver WL, Wasserman K, Whi pp BJ:  
A new method for detecting anaerobic  
threshold by gas exchange. *J Appl  
Physiol* 60, 2020-2027 (1986)
- 19) Youngsted SD, Dishman RK, Cureton  
KJ, Peacock LJ, : Does body tempera-  
ture mediate anxiolytic effects of acute  
exercise?, *J Appl Physiol* 74, 825-31 (1993)
- 20) Stock C, Baum M, Robkopf P, Schober  
F, Weib M, Lisen H, : Electroencephalo-  
gram activity, catecholamins, and lympho-  
cyte subpopulations after resistance ex-  
ercise and during regeneration, *Eur J  
Appl Physiol* 72, 235-241 (1996)
- 21) Wiese J, Singh M, Yeudall L : Occipital  
and parietal alpha power before, during  
and after exercise, *Med Sci Sports Exer-  
cise* 15, 117 (1983)
- 22) 佐々木浩子、高橋光彦: 急性運動後の脳  
波 beta 波帯域の変動, 北海道浅井学園大  
学短期大学部研究紀要 第40号, 97-104  
(2002)
- 23) 宮本誠司, 内海庄三郎: アルファ波の  
臨床的意義, *臨床脳波* 25, 293-303  
(1983)
- 24) 大熊輝男: 正常脳波, 「臨床脳波学(第3  
版)」, 医学書院, 東京, pp74-110 (1983)
- 25) 堀浩, 内海庄三郎, 斉藤正巳, 門林岩  
雄, 宮本誠司, 西浦信博, 柴崎浩, 井上  
健, 大岩稔幸, 中村道彦, 福居義久, 飯田  
英晴, 西島英利, 宮脇宏司, 篠崎和弘, 佐  
藤洋子, 石田展弥: 臨床脳波, 「脳波」, 門  
林岩雄, 井上健, 中村道彦編, 金芳堂, 京  
都, pp2-88 (1983)
- 26) 時実利彦, 岩瀬善彦, 平尾武久, 浅沼  
広, 岩間吉也, 藤森聞一, 元木沢文昭, 斉  
藤陽一: 大脳皮質の電気現象, 「生理学体  
系 V 脳の生理学」, 時実利彦編, 医学書  
院, 東京, pp25-204 (1967)
- 27) Krieger D, Dillbeck M : High fre-  
quency scalp potentials evoked by reac-  
tion time task, *Electroenceph clin Neuro-  
physiol* 67, 222-230 (1987)



## The Effects of Low Intensity Exercise for EEG

Hiroko SASAKI

### ABSTRACT

It has been reported that physical exercise influences metabolic and affective states in individual fatigue. And the American College of Sports Medicine and the Centers for Disease Control and Prevention (ACSM-CDC) developed a physical activity recommendation geared toward getting more people active. This study was designed to examine the changes in electroencephalography (EEG) after low intensity acute exercise below ventilatory threshold (VT) level.

Eleven healthy males, mean age 22.0 (SD 1.48) years, were examined under the VT level for 20 minutes after the submaximal exercise pretest to determine the VT level. EEG, electrocardiogram (ECG), respiratory curve and eye movement measurements were performed for 15 minutes before and after the experimental state. The EEG signals were recorded from Cz, Pz, O 1 and O 2 (10-20 system) and the ECG signals were also recorded throughout the experiment state. Spectral analysis using the maximum entropy method (MEM) for the EEG was applied for 5 minutes just before (pre) and after (post) experimental condition. Post/pre ratios were calculated, after the power spectral density (PSD) and relative percentage for total spectral power (relative time percent: Time%) of delta (0.5-4 Hz), theta (4-8 Hz), alpha 1 (low alpha: 8-11 Hz), alpha 2 (high alpha: 11-14 Hz), beta 1 (low beta: 14-20 Hz), beta 2 (high beta: 20-30 Hz) and total waves(0.5-30 Hz) in EEG were analyzed.

In the low intensity acute exercise, total and low alpha wave band of PSD were increased same as high intensity exercise. Beta wave band of Time% was increased at Cz, and decreased at O 1 and O 2. Alpha PSD at O 1 and O 2 were higher than the other placements. These results suggest that the composition of EEG frequency bands changed after low intensity acute exercise and the appearance of alpha and beta wave bands were different at the each placement.

**Key words :** low intensity exercise, EEG, frequency band, Spectral analysis