

運動による認知機能の向上は 運動様式によって異なるのか？

電気通信大学 安藤 創一

Are Effects of Acute Exercise on Cognitive Function Different between Aerobic and Resistance Training?

by

Soichi Ando

The University of Electro-Communications

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine effects of acute aerobic and resistance exercise on cognitive function, plasma catecholamines (adrenaline, noradrenaline, and dopamine), serum insulin-like growth factor 1 (IGF-1), and serum cortisol. Eight participants (mean \pm SD, age = 21.6 ± 0.5 yr; height = 1.75 ± 0.04 m; body mass = 72.2 ± 5.7 kg, peak oxygen uptake = 53.4 ± 6.5 ml/kg/min) performed cognitive tasks before and after either aerobic exercise corresponding to 40% of peak oxygen uptake (98.8 ± 12.4 W) or resistance exercise with a resistance tube. We measured plasma catecholamines, serum IGF-1, serum cortisol, blood glucose and lactate concentration, and ratings of perceived exertion (RPE) before and after exercise. Cognitive task was a Go/No-Go task that requires response inhibition and selective attention. We did not observe significant improvements in cognitive function after each exercise, probably due to a low sample size. Nevertheless, we found that increases in plasma adrenaline, noradrenaline, and dopamine following both aerobic and resistance exercise. Serum IGF-1 increased after resistance exercise, while it did not change after aerobic exercise. Similarly, blood lactate concentration also increased only after resistance exercise. Serum cortisol tended to decrease after exercise. In the present study, we found no

differences in RPE before and after exercise. These findings will help to understand the effects of acute aerobic and resistance exercise on cognitive function. To understand physiological mechanisms underlying improvements in cognitive function following acute aerobic and resistance exercise, further studies are required with large sample size.

要 旨

本研究は、有酸素運動と抵抗性運動という異なる様式の運動がどのようにヒトの認知機能を向上させるのかについての基礎的知見を得るために、それぞれの運動の前後で、血漿カテコラミン、血清インスリン様成長因子 (IGF-1)、血清コルチゾールの濃度を測定し、認知課題のパフォーマンスの変化と比較した。本研究では、サンプルサイズが不十分だったために、それぞれの運動後に認知機能が向上するという統計的に有意な結果を得ることはできなかった。しかし、どちらの運動後にも血漿のカテコラミンが増加し、血清コルチゾール濃度が低下すること、抵抗性運動後にのみ血清 IGF-1 および血中乳酸濃度が上昇することを示した。これらの結果は、様式の異なる運動が認知機能に及ぼす影響を推察するための基礎的知見となると考えられる。今後は実験参加者を追加することで十分なエビデンスを提供することが課題であろう。

緒 言

認知機能とは、注意や集中力といった基本的な知的能力から、判断・計画実行などの高度な知的能力のことを指し、日常生活を営む上で重要な役割を果たしている。近年、運動が様々な疾患の予防だけでなく、認知機能の向上にも効果的であることが広く知られるようになった。運動が認知機能にもたらす有益な効果は一過性の運動でもみられるものであり、運動による認知機能の向上には、

有酸素運動が有益であるという報告が多い^{eg-1, 2)}。そして、メタアナリシスを用いた研究によると、低強度から中強度の運動において、その効果が大きいことが示唆されている⁸⁾。これらの知見は、有酸素運動によりもたらされる生理的变化が認知機能を向上させることを示唆している。

一方、筋力トレーニングに代表される抵抗性運動が認知機能の向上をもたらすという報告もみられるようになった⁹⁾。しかし、有酸素運動と抵抗性運動によって生じる生理的变化が異なる点が多いことを考えると、同じ一過性の運動であっても認知機能を向上させる機序が、運動の違いによって異なる可能性が考えられる。しかし、異なる運動様式によって認知機能が向上される機序については明らかになっていない。

そこで本研究は、有酸素運動と抵抗性運動という異なる様式の運動がどのようにヒトの認知機能を向上させるのかについての基礎的知見を得ることを目的とした。本研究では、有酸素運動と抵抗性運動のそれぞれの運動前後で、血中のカテコラミン、インスリン様成長因子 (IGF-1)、コルチゾールの濃度を測定し、認知課題のパフォーマンスの変化と比較した。本研究から得られる成果は、運動と認知機能に関する新しい知見を提供し、運動が認知機能の向上をもたらす機序の一端を明らかにするだけでなく、様々な運動処方現場に対しても、有益な示唆を与えるものであると考えられる。

1. 研究方法

1. 1 実験参加者

実験参加者は健康な若年男性8名（平均値 ± 標準偏差, 年齢 = 21.6 ± 0.5 歳, 身長 = 1.75 ± 0.04 m, 体重 = 72.2 ± 5.7 kg）であった。本実験は、福岡大学倫理委員会の承認を受けて行った。実験参加者には事前に測定項目や安全性に関する十分な説明を行い、書面にて実験参加の同意を得た。

1. 2 実験手順

本実験は3日間に分けて行った。すべての実験参加者に対して、実験1日目に自転車エルゴメーター（エアロバイク 75XLIII：コンビウエルネス社製）を用いて漸増負荷運動を行い、実験参加者が運動を継続できなくなった時点での酸素摂取量の最高値を最高酸素摂取量とした。本研究の実験参加者の最高酸素摂取量は 53.4 ± 6.5 ml/kg/min であった。

実験2日目および3日目には、有酸素運動あるいは抵抗性運動のどちらか一方をランダムな順番で行った。実験2日目と3日目の間隔は少なくとも3日間とした。認知課題は運動の前後で行った。図1に実験のプロトコルを示す。それぞれの

運動様式での運動時間は30分とした。有酸素運動の運動負荷は最高酸素摂取量の40% (98.8 ± 12.4 W) であった。抵抗性運動には市販されている抵抗性運動用のゴムバンド（Spoband：YKC社製）を用いた。抵抗性運動では、実験者の指示に従って、42種類の動作を行った。42種類の動作は全身の筋肉を用いて行うものであり、本研究では、1つの動作につき10回繰り返した。

1. 3 測定項目

1. 3. 1 認知機能

認知課題には、不必要な反応の抑制や選択的注意などが必要となる Go/No-Go 課題を用いた¹⁾。

図2に本研究の Go/No-Go 課題の流れを示す。被

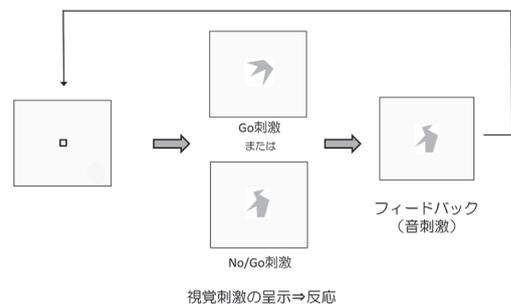


図2 認知課題の流れ

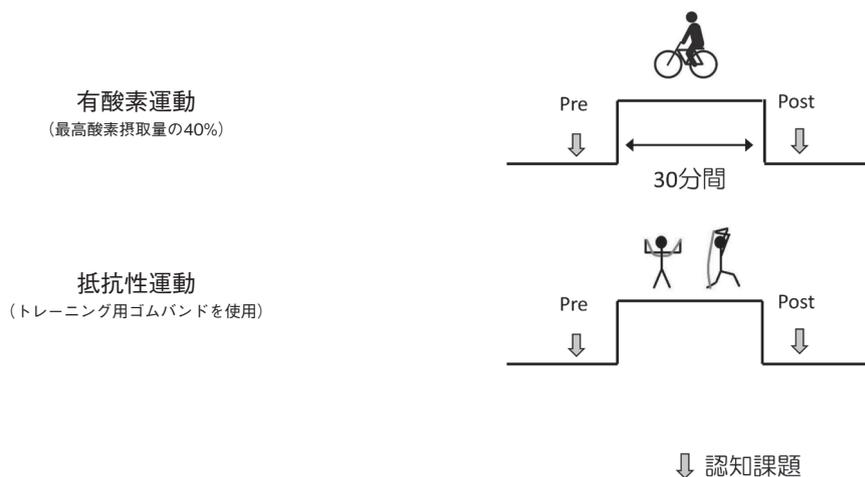


図1 実験のプロトコル

験者はコンピューターディスプレイに正対した座位状態で Go/No-Go 課題を行った。運動後の Go/No-Go 課題は、運動終了の2分後から開始した。この課題では、被験者は2種類の図形の一方に対しては、ボタンを離して反応を行い (Go 反応)、もう一方の図形に対しては反応せずにボタンを押した状態を維持した (No-Go 反応)。そして、それぞれの試行後に、音刺激により正解か不正解かについてのフィードバックを行った。正解が5回続くと図形と反応の関係性が変わり、その後も正解が続くと新しい図形の組み合わせを呈示することで、課題を継続し、試行数は合計30試行とした。(平均施行時間: 193 ± 27 秒) 認知機能の評価は、反応時間と反応の正答率から行った。本研究では、正しく反応できなかった試行 (Go 刺激に対する反応なし、または No-Go 刺激に対する反応) をエラー試行とした。

1. 3. 2 カテコラミン, IGF-1, コルチゾール

有酸素運動と抵抗性運動のそれぞれの運動前後で正肘静脈から血液を採取し、血漿カテコロールアミン (アドレナリン, ノルアドレナリン, ドーパミン), 血清 IGF-1, 血清コルチゾールの濃度を測定した。これらの測定には、外注 (SRL 社) による臨床検査により行った。

1. 3. 3 血糖値, 血中乳酸濃度, 主観的運動強度 (RPE)

それぞれの運動前後で耳朶から血液を採取し、血糖値 (グルテストエース R, 三和化学研究所) と血中乳酸濃度 (ラクテート・プロ TM2, アークレイ社製) を測定した。また、主観的運動強度³⁾ を実験参加者に回答してもらった。

1. 3. 4 心拍数

本研究では運動強度の指標として、心拍モニター (RS800CX: ポラール社製) を用いて運動中の平均心拍数を算出した。

1. 4 統計検定

統計検定には二元配置の分散分析および対応のある t-test を用いた。データはすべて平均値と標準偏差で示し、全ての検定において有意水準は5%未満に設定した。

2. 研究結果

2. 1 認知機能

図3に認知課題の結果を示す。本研究で認知機能の指標とした反応時間には、運動による影響はみられなかった ($P = 0.22$)。また、有酸素運動と抵抗性運動の間で差はみられなかった ($P = 0.71$)。正答率に関しても、運動による影響 ($P = 0.64$) および運動様式による違い ($P = 0.68$) はみられなかった。

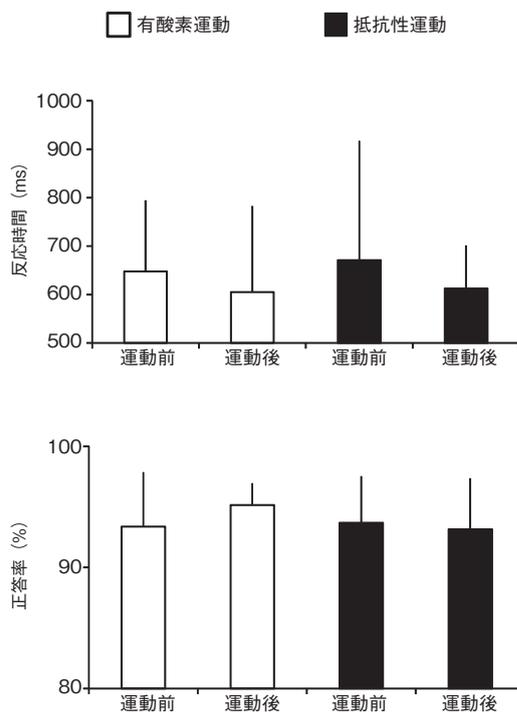


図3 運動前後での反応時間 (ms) および正答率 (%)

2. 2 血漿カテコラミン, 血清 IGF-1, 血清コルチゾール

図4にそれぞれの運動前後での血漿カテコラ

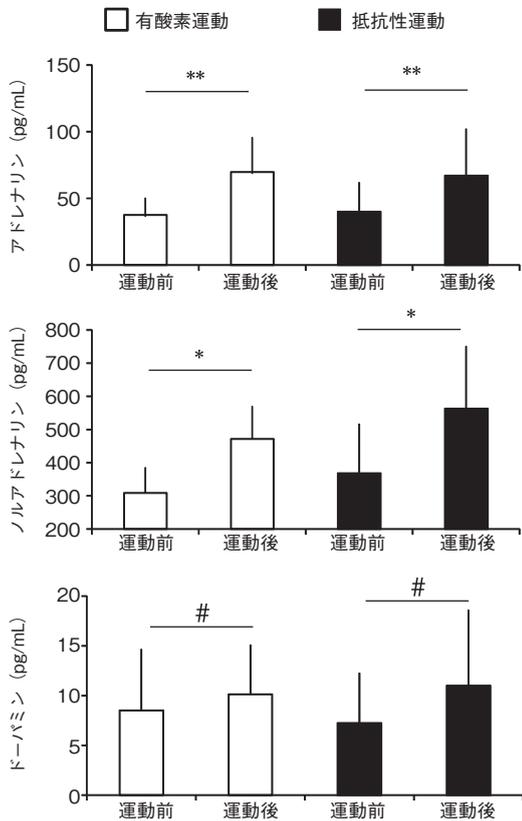


図4 運動前後での血漿アドレナリン濃度 (pg/mL), 血漿ノルアドレナリン濃度 (pg/mL), 血漿ドーパミン濃度 (pg/mL). #P<0.1, *P<0.05, **P<0.01

ミン, 血清 IGF-1, 血清コルチゾールの変化を示す。アドレナリンは運動前後で増加がみられた ($P < 0.01$)。しかし, 運動様式による違いはみられなかった ($P = 0.98$)。ノルアドレナリンは運動前後で増加がみられた ($P < 0.05$)。また, 抵抗性運動条件で, 有酸素運動条件より高い傾向がみられた ($P = 0.06$)。ドーパミンについては, 運動により増加する傾向がみられた ($P = 0.07$)。しかし, 運動様式による違いはみられなかった ($P = 0.88$)。

図5にそれぞれの運動前後での血清 IGF-1 と血清コルチゾールの変化を示す。IGF-1 は, 運動と運動様式の間有意な交互作用がみられ ($P < 0.05$), 抵抗性運動条件においてのみ運動後に IGF-1 の有意な増加がみられた ($P < 0.05$)。コル

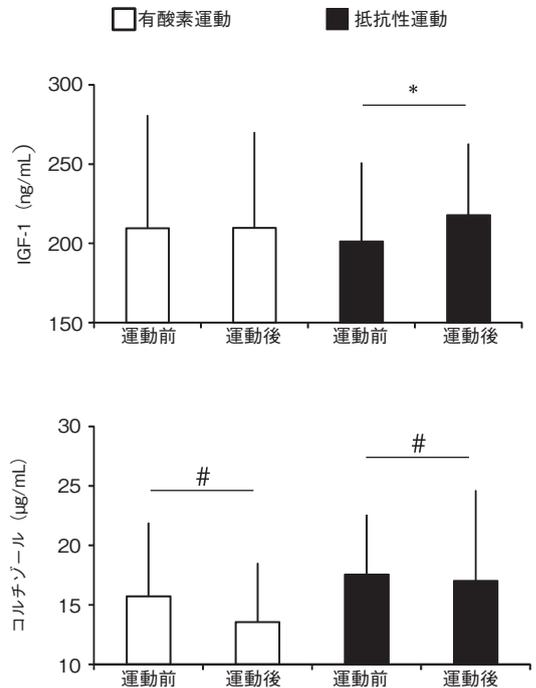


図5 運動前後での血清 IGF-1 濃度 (ng/mL) および血清コルチゾール濃度 (μg/mL) #P<0.1, *P<0.05

チゾールは運動後に低下する傾向がみられた ($P = 0.08$) が, 運動様式による違いはみられなかった ($P = 0.12$)。

2. 3 血糖値, 血中乳酸濃度, RPE, 心拍数

図6にそれぞれの運動前後での血糖値, 血中乳酸濃度, RPE の変化を示す。血糖値は運動前後で低下する傾向がみられ ($P = 0.06$), 抵抗性運動で高い傾向がみられた ($P = 0.08$)。一方, 血中乳酸濃度は, 運動と運動様式の間有意な交互作用がみられた ($P < 0.01$)。有酸素運動では運動前後に血中乳酸濃度に差はみられなかったが ($P = 0.28$), 抵抗性運動では運動後に有意に増加がみられた ($P < 0.01$)。RPE は運動後に増加がみられた ($P < 0.01$)。しかし, 運動様式による違いはみられなかった ($P = 0.65$)。

本研究において, 有酸素運動中の平均心拍数は 107 ± 17 拍であり, 抵抗性運動中の平均心拍数は 103 ± 14 拍であった。運動の様式の違いによ

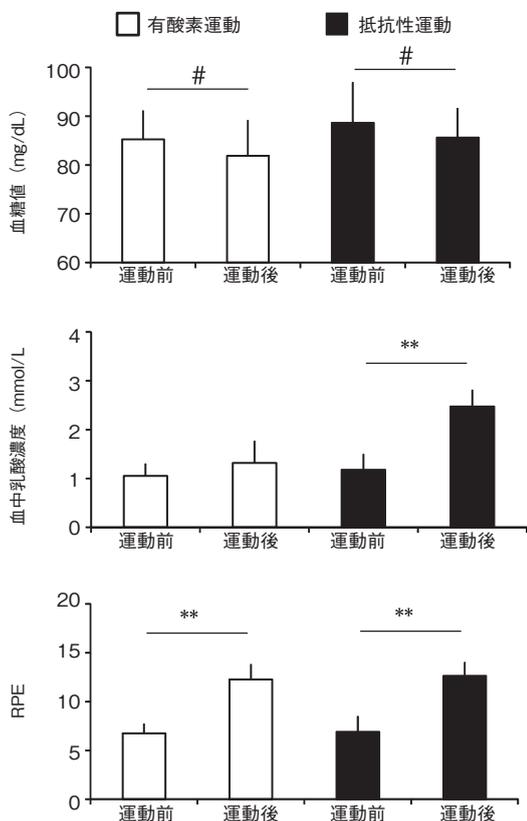


図6 運動前後での血糖値 (mg/dL), 血中乳酸濃度 (mmol/L), RPE. # $P < 0.1$, ** $P < 0.01$

て平均心拍数に差はみられなかった ($P = 0.64$).

3. 考察

本研究では、有酸素運動と抵抗性運動という異なる様式の運動前後で、ヒトの認知機能がどのように変化するののかについて検討するための基礎的知見を得ることを目的とした。しかし、本研究でみられた認知課題のパフォーマンスの変化は統計的に有意ではなかった。このことは、本研究ではどちらの運動を行っても認知機能が変化しないことを示しており、これは多くの先行研究と一致しないものである。本研究において、先行研究と異なる結果が得られた理由として、被験者数が8名と少なかったことがあげられる。しかし、結果の傾向や、これまでの運動と認知機能に関する先行

研究を考慮に入れると、十分なサンプルサイズがあれば先行研究と同様の結果が得られるのではないかと考えられる。

これまでの研究から、運動による覚醒レベルの上昇が認知機能の向上に関与していることが示唆されてきた^{eg.5)}。覚醒レベルを上昇させる要因については、現在明らかとなっていない。しかし、運動が神経伝達物質を含む神経回路に影響を与えることから^{12, 15, 16, 17)}、これらの変化が覚醒レベルの変化に関係していることが推察されている^{5, 10, 14, 15)}。本研究においても有酸素運動と抵抗性運動のどちらの運動でもアドレナリン、ノルアドレナリン、ドーパミンの血漿レベルは増加する、あるいは増加する傾向がみられた。したがって、本研究でみられた運動後の血漿カテコラミンの上昇も覚醒レベルの適度な上昇に関与する可能性が考えられる。また、この結果は、有酸素運動と抵抗性運動のどちらの運動様式でも、運動により認知機能が向上するという先行研究の結果とも相容れるものであると考えられる。しかしながら、今回測定した血漿カテコラミンは静脈血から測定したものであり、どこまで脳内での濃度と関連しているのか、さらにはどこまで脳の神経活動に影響を与えているのかについては検討が必要であると考えられる。

運動様式の違いにより生理的応答の違いがみられたのは、血清 IGF-1 濃度と血中乳酸濃度である。ヒトおよび動物を用いた先行研究から、一過性の抵抗性運動や抵抗性運動トレーニング後に血清 IGF-1 が増加することが示されている^{4, 6, 7, 19)}。そして、血清 IGF-1 の増加が認知機能の向上につながる可能性が示唆されている^{6, 11, 13)}。したがって、本研究で抵抗性運動後に IGF-1 の増加が認知機能の向上に貢献した可能性も考えられる。本研究では抵抗性運動により血中乳酸濃度が増加した。乳酸は脳で代謝されエネルギー源として用いられることが知られている^{18, 20)}。本研究にお

いて、抵抗性運動後においてのみ血中乳酸濃度が上昇したことから、脳でのエネルギー代謝が有酸素運動後と抵抗性運動後との間で違いがみられる可能性が考えられる。さらに近年、一過性の抵抗性運動後にみられる血清コルチゾールの低下が覚醒レベルの変化をもたらす、認知機能を向上させるということが報告された¹⁹⁾。本研究でも、運動後に血清コルチゾールの低下がみられたことから、血清コルチゾールと認知機能の関係については今後検討していく必要があると考えられる。

本研究において、運動後に血糖値は有意に低下し、また運動様式によっても異なる傾向がみられたが、その変化は非常に小さいものであった。したがって、本研究の結果にはほとんど影響を与えていないものと考えられる。また、本研究ではいくつかの生理的応答に違いがみられたものの、運動後のRPEは有酸素運動と抵抗性運動との間に差はなく、また運動中の平均心拍数にも差はみられなかった。このことから、運動強度の違いに大きな差はなかったものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、有酸素運動と抵抗性運動という異なる様式の運動がヒトの認知機能に及ぼす影響を明らかにするための基礎的知見を得ることを目的とした。本研究では、サンプルサイズが不十分だったために、それぞれの運動が認知機能を向上させるという結果を直接得ることはできなかったが、様式の異なる運動がもたらす生理的応答の違いを明らかにした。この結果は、異なる様式の運動がヒトの認知機能に及ぼす影響を明らかにするための有益な知見となることが期待される。今後は実験参加者を追加することで十分なエビデンスを提供することが課題であると言える。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りました財団法人石本

記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、本研究を遂行するにあたり福岡大学スポーツ科学部の檜垣靖樹氏、小見山高明氏、青柳遼氏、畑本陽一氏ならびに運動生理学研究室の皆様、電気通信大学情報理工学部の安藤健地氏、上條貴大氏、丸山響平氏から多大なご協力をいただきました。ここに記して、心より感謝の意を表します。

文 献

- 1) Ando S., Hatamoto Y., Sudo M., Kiyonaga A., Tanaka H., Higaki Y., The effects of exercise under hypoxia on cognitive function. *PLoS One.*, 8(5) :e63630(2013)
- 2) Ando S., Kokubu M., Yamada Y., Kimura M., Does cerebral oxygenation affect cognitive function during exercise? *Eur. J. Appl. Physiol.*, 111(9) :1973-1982(2011)
- 3) Borg G., Simple rating for estimation of perceived exertion. In: Borg G (ed) *Physical Work and Effort*. Pergamon, New York(1975)
- 4) Borst S.E., De Hoyos D.V., Garzarella L. et al., Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33(4) :648-653(2001)
- 5) Brisswalter J., Collardeau N., Arcelin R., Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Med.*, 32(9) :555-566(2002)
- 6) Cassilhas R.C., Lee K.S., Fernandes J. et al., Spatial memory is improved by aerobic and resistance exercise through divergent molecular mechanisms. *Neuroscience.*, 202:309-317(2012)
- 7) Cassilhas R.C., Viana V.A., Grassmann V. et al., The impact of resistance exercise on the cognitive function of the elderly. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39(8) :1401-1407(2007)
- 8) Chang Y.K., Labban J.D., Gapin J.I., Etnier J.L., The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Res.*, 1453:87-101(2012)
- 9) Chang Y.K., Tsai C.L., Huang C.C., Wang C.C., Chu I.H., Effects of acute resistance exercise on cognition in late middle-aged adults: general or specific cognitive improvement? *J. Sci. Med. Sport.*, 17(1) :51-5(2014)

- 10) Chmura J., Nazar K., Kaciuba-Uściłko H., Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *Int. J. Sports Med.*, **15**(4) :172-176(1994)
- 11) Cotman C.W., Berchtold N.C., Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends Neurosci.*, **25**(6) :295-301(2002)
- 12) Dietrich A., Audiffren M., The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **35**(6) :1305-1325(2011)
- 13) Ding Q., Vaynman S., Akhavan M., Ying Z., Gomez-Pinilla F., Insulin-like growth factor I interfaces with brain-derived neurotrophic factor-mediated synaptic plasticity to modulate aspects of exercise-induced cognitive function. *Neuroscience.*, **140**(3) :823-833 (2006)
- 14) Kashiwara K., Maruyama T., Murota M., Nakahara Y., Positive effects of acute and moderate physical exercise on cognitive function. *J. Physiol. Anthropol.*, **28**:155-164(2009)
- 15) McMorris T., Sproule J., Turner A., Hale B.J., Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. *Physiol. Behav.*, **102**(3-4) :421-428(2011)
- 16) Meeusen R., De Meirleir K., Exercise and brain neurotransmission. *Sports Med.*, **20**(3) :160-188 (1995)
- 17) Nybo L., Secher N.H., Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. *Prog. Neurobiol.*, **72**(4) :223-261(2004)
- 18) Quistorff B., Secher, N.H., Van Lieshout, J.J., Lactate fuels the human brain during exercise. *FASEB J.*, **22**:3443-9(2008)
- 19) Tsai C.L., Wang C.H., Pan C.Y., Chen F.C., Huang T.H., Chou F.Y., Executive function and endocrinological responses to acute resistance exercise. *Front Behav. Neurosci.*, **8**:262(2014)
- 20) van Hall G., Lactate kinetics in human tissues at rest and during exercise. *Acta. Physiol. (Oxf)*, **199**:499-508(2010)