

異なる強度の一過性有酸素運動が α 波の変動と認知機能に及ぼす影響

中島 早苗

1. 緒言

運動は、生活習慣病等の予防や改善に効果が期待されるだけでなく、ストレス解消や認知機能の保持、記憶・学習の向上などにも有効であることが知られている。実際に日常的な運動によって脳の構造的・機能的変化をもたらす等の基礎的研究や臨床研究データが蓄積されてきている¹⁻⁵⁾。例えば、ストレス環境下では認知機能が低下する一方で、若年者を対象とした運動の実施や、中高年者の運動トレーニングが認知機能を向上させる等の報告がある^{6,7)}。この認知機能とは、知覚、記憶、判断、注意、知能、学習など幅広い機能を含むが、そのなかでも前頭前野が司る遂行機能は人間が社会生活を送る上で重要な機能であるといえる⁸⁻¹⁰⁾。

遂行機能の評価方法としてStroop課題は、注意や集中を要する認知機能評価として広く用いられており、本研究では、情報処理速度と注意力の両者を測定できると考えられている新ストループ検査Ⅱを用いた。これは「ストループ干渉」と「逆ストループ干渉」を測定することができるが、ストループ効果とは、ある情報に対して、それと矛盾する情報が示されたとき、一致した情報や無関係な情報と同時に示されるときに比べて反応時間が長くなったりエラーが増えたりする現象とされる¹¹⁾。またストループ干渉とは、意味と一致しないインクの色で書かれた色名語のインク色を答えようとするとき、一致している場合と比べて言語的妨害を受けて反応が遅れることであり、逆ストループ干渉とは、意味と一致しないインクの色で書かれた色名語を、一致する色名語を複数の選択肢から選ぶ場合、黒インクで書かれた色名語が意味する色を選ぶ場合に比べて視覚的妨害を受けて反応が遅れることである^{11,12)}。これは大脳における情報処理を必要とし、反応時間を測定することで数値化が可能であり、計算や復唱等を含むテストと違って、被験者毎の学力や不得手による影響は少ない等の測定時の利点がある¹³⁾。

脳内においては、認知活動や情動による情報処理が脳内の科学物質を反応させて電位的な変化が起こるが、これは脳内の神経細胞の発火やシナプスの神経伝達の際に電気信号が生じるためであり、この現象は、脳波として脳内での情報処理過程の一つの指標としてとらえられることができる¹⁴⁾。脳波は周波数の大きさによって分類されており、中でも比較的リラックス状態で出現する α 波〔8～13Hz未満〕や、意識集中やストレスを感じているとき等緊張状態で出現する β 波〔13～20Hz未満〕等は、リラックス効果の判定や心的ストレス評価等の研究で多く用いられている。

また、大学生を対象とした心理的健康維持に関する研究では、運動習慣を有する学生は、運動習慣を有さない学生と比較して、ストレス対処行動に優れ安定した心理状態が維持されていることを報告している¹⁵⁾。

これらを踏まえ、一過性の運動により一時的であっても緊張や不安を低減させることができれば、習慣的な運動への提言のひとつとして有益であると考えた。本研究は、異なる強度の一過性の有酸素運動が安定した感情やリラックス状態で増幅するといわれる α 波と認知機能に及ぼす影響について検討することを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は、喫煙習慣および服薬していない健康な女子大学生24名であった。実験参加に際して、被験者の人権への倫理的配慮に基づき、対象者一人ひとりにインフォームドコンセントを実施し、口頭および書面によって個別に説明を行い、十分な理解が得られた者に対して書面での同意を得た。なお、本研究は共立女子大学・共立女子短期大学研究倫理審査委員会の承認（KWU-IRBA18003）を得て実施した。

2.2 実験プロトコル

同一被験者に対し、コントロール条件として(1)座位安静30分、異なる強度の運動負荷として(2)50%程度の強度で30分間の走行（以下、50% Ex）、(3)80%程度の強度で30分間の走行（以下、80% Ex）の3つの実験条件を1週間以上の間隔をあけて実施した。これら3つの実験条件の前後に脳波測定、ストループテストを実施した。

2.3 運動負荷

運動負荷はトレッドミル（LABORDO1200, Senoh社製）を用いて、予測最大心拍数¹⁶⁾から心拍数予備能法¹⁷⁾により50%および80%の目標心拍数を算出し、それぞれの運動負荷強度で30分間走行した。走行中の目標心拍数は、50% Exでは平均129.6拍/分、80% Exでは平均155.3拍/分であった。運動中はハートレートモニター（Polar社製）を装着し1分毎に心拍数を記録し、走行中の運動強度を心拍数で調整した。同時に自覚的運動強度（rating of perceived exertion : RPE）¹⁸⁾を1分毎に記録し、これらを参考にしながらスピードを調整した。運動実施中の被験者は「非常に楽である」から「非常にきつい」までのスケールを1分毎に指差して示した。傾斜は1.5度であった。コントロール条件はトレッドミルによる運動負荷の代わりに30分間の椅座位安静状態を保持させた。

2.4 脳波

運動負荷前後における脳波の変動を簡易型脳波測定器（脳波計）Brain ProFM-929（フューテックエレクトロニクス株式会社製）を用いて測定し、専用ソフトウェアPullax F（パルラックスF）を用いて解析した。分析結果に現れる分布率を採用し、 α 1波、 α 2波、 α 3波の分布率の和を α 波とした。サンプリング周波数1024Hzで検出した脳波を高速フーリエ変換（FFT, 窓関数：矩形）により、3.0Hz～30.0Hzまで0.5Hz毎にパワースペクトル解析した。解析されたデータはバルラック

スFにてPCにて表示及び記録された。電極は10/20法によるFP2（及びFP1、A1）に装着した。測定はアーチファクトノイズに配慮し、楽な姿勢でなるべく動かないよう着座し閉眼状態で5分間行った。

2.5 ストループテスト

認知機能の指標として新ストループ検査Ⅱ（トーヨーフィジカル）を用いた¹⁹⁾。新ストループⅡの4つの課題に関しては、手引書に倣い練習試行が10秒、本試行が60秒で実施した。黒インクで書かれた文字が意味する色を5色の色パッチから選択する課題1（単純文字処理課題）と、色パッチの表す文字を選択する課題3（単純色処理課題）は、食い違いのない情報から単純に文字処理と色処理を求められる課題である。一方、インクの色と文字の意味が一致しない色つきの文字を見て、文字が意味する色パッチを選択する課題2（逆ストループ課題）と、インクの色と文字の意味が一致しない色つきの文字を見てインクの色が表す文字を選択する課題4（ストループ課題）は、それぞれ語や色の食い違う情報からの妨害に注意を要する課題である。本研究においては、達成数を求めた後、誤答を除いた正当数を算出した。また、ストループ干渉率は $\{(\text{課題3の正当数} - \text{課題4の正当数}) \div \text{課題3の正当数}\} \times 100$ で算出し、食い違っている語からの妨害を受けた割合を算出した。同様に逆ストループ干渉率は $\{(\text{課題1の正当数} - \text{課題2の正当数}) \div \text{課題1の正当数}\} \times 100$ で算出し、食い違っている色からの妨害を受けた割合を算出した。

2.6 データ処理

全ての測定値は平均値±標準偏差で示した。安静時および異なる強度の運動負荷条件間の平均値の差は、対応のあるStudent's t-testを用いて比較した。

3. 結果

3.1 被験者の身体的特性

被験者の平均年齢は 20.0 ± 1.1 歳、身長は平均 156.8 ± 5.1 cm、体重は 52.3 ± 5.0 kg、体脂肪率は $27.3 \pm 4.5\%$ 、BMIは 21.3 ± 2.0 であった。

3.2 心拍数（HR）の経時的変化

運動中の心拍数の経時的な変化を図1に示した。平均値は50%Exで 132.1 ± 13.7 拍/分、80%Exでは 157.8 ± 19.9 拍/分であった。

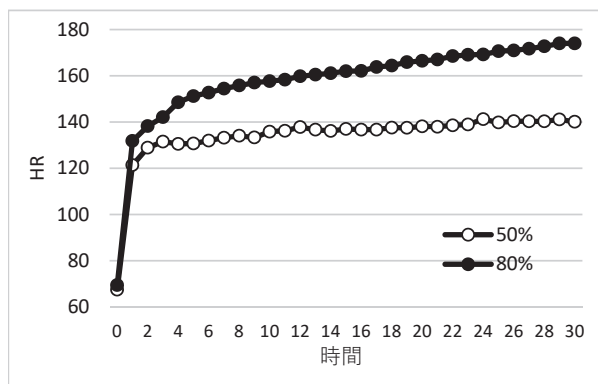


図1. 運動中の心拍数の経時的変化

3.3 脳波

実験条件毎の α 波の分布率の結果を図2に示した。 α 波の分布率はコントロール試行の運動前後では有意な差はみられなかった。しかし、50% Exにおいて運動前と比較して運動後で有意に高値を示した ($p<0.05$)。同様に、80% Exでも運動前と比較して運動後で有意に高値を示した ($p<0.05$)。

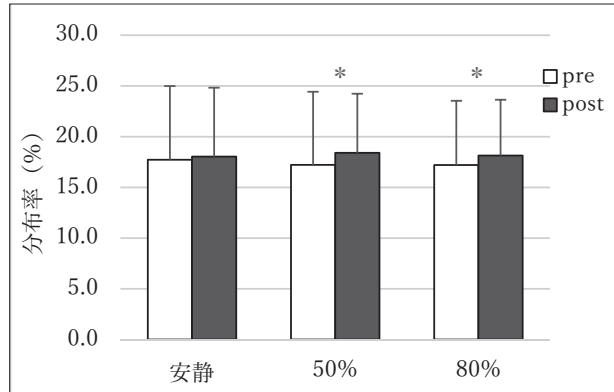


図2. 安静および運動負荷前後における α 波の分布率の変化

3.4 ストループテスト

実験条件毎のストループ検査の結果を図3 a-dに示した。文字の情報処理速度を測定する課題1 (単純文字処理) では、安静前と比較して安静後の正当数が有意に高く ($p<0.001$)、50% Exでも運動前と比較して運動後で有意に高かった ($p<0.001$)。また同様に色の情報処理速度を測定する課題3 (単純色処理) においても、安静前と比較して安静後の正当数が有意に高かった ($p<0.001$)。課

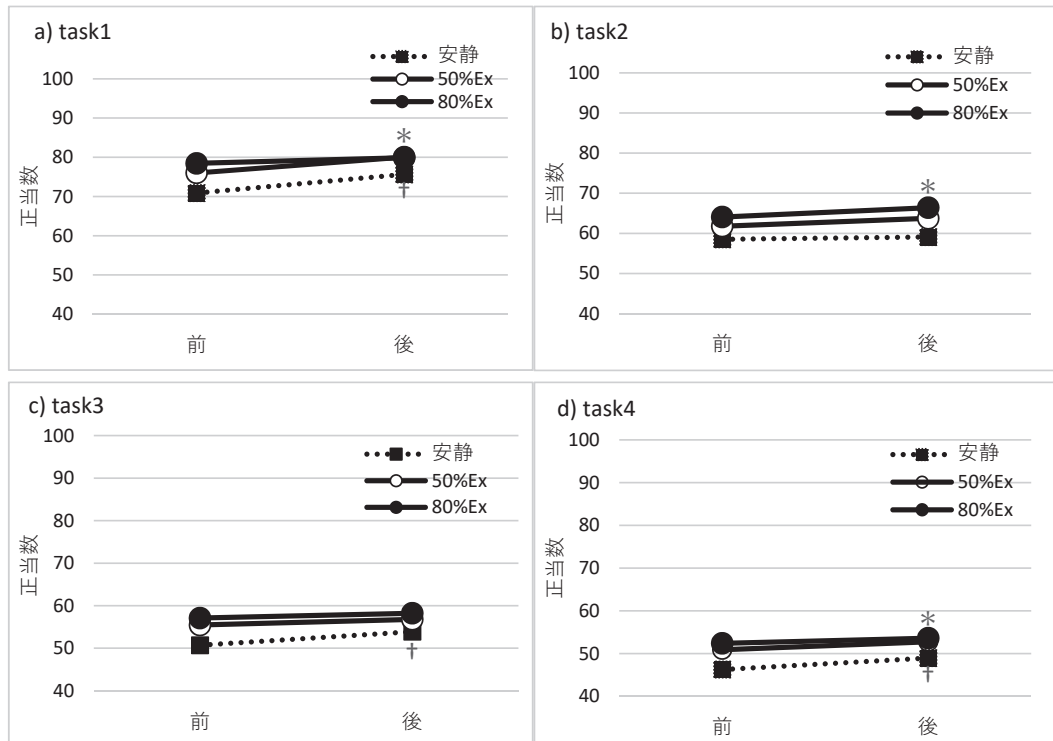


図3. 安静および運動負荷前後のストループテストの結果

a) task1; 単純文字処理、b) task2; 逆ストループ統制課題、c) task3; 単純色処理、d) task4; ストループ統制課題

題2（逆ストループ統制課題）では、80% Exの運動前と比較して安静後の正当数が有意に高かった（ $p<0.05$ ）。課題4（ストループ統制課題）では、安静前と比較して安静後の正当数が有意に高く（ $p<0.001$ ）、50% Exの正当数が運動前と比較して運動後で有意に高かった（ $p<0.05$ ）。

逆ストループ干渉率（図4a）は、安静前と比較して安静後で有意に高値を示し（ $p<0.05$ ）、語からの妨害を受けて干渉率は増大した。50% Exおよび80% Exでは、運動前後で有意な差はなく干渉率に変化はなかった。ストループ干渉率（図4b）は、安静前と比較して安静後で増大傾向であったが、有意な変化はみられなかった。

4. 考察

脳波の中でも α 波は安静時・覚醒時ともにみられる波形であるが、閉眼で落ち着いた安静状態、意識を集中し非常に安定した感情の状態、ストレス解消時やリラックス状態では α 波の振幅が大きくなることが知られている²⁰⁾。一方、精神活動が活発な時や警戒、刺激への注意時、緊張時には α 波の振幅が小さくなり β 波が高値を示す特徴がある^{15,21)}。不安時には α 波活動が減少するとともに認知能力が低下することも報告されている²²⁾。Fumotoらによると、15分間の中等度の自転車ペダリング運動後に脳波を測定した結果、覚醒水準が上昇すると高値を示す α 波帯域や β 波のパワー値が高まり、同時に測定したPOMSによる気分尺度においても運動後で「緊張-不安」および「混乱」が低減し活気が増大する傾向がみられたことを報告している²³⁾。また見正らは、50% HRmaxで30分間の自転車エルゴメーターを負荷した場合、運動後の脳波測定において α 波が13%増加したことを報告している²⁰⁾。本研究においても、コントロール条件の安静前後では α 波に有意な差はみられなかったが、50%および80%の一過性の運動実施後では運動強度にかかわらず α 波分布率が有意な増加を示した。先行研究と同様に50%程度の中強度な運動であっても、「きつい」と感じるほどの80%程度の高強度な運動であっても、運動後に緊張・不安な状態が一時的に低減した可能性が示唆された。

ストループテストは認知機能の指標として用い、安静および運動負荷の前後でテストを行いそれ

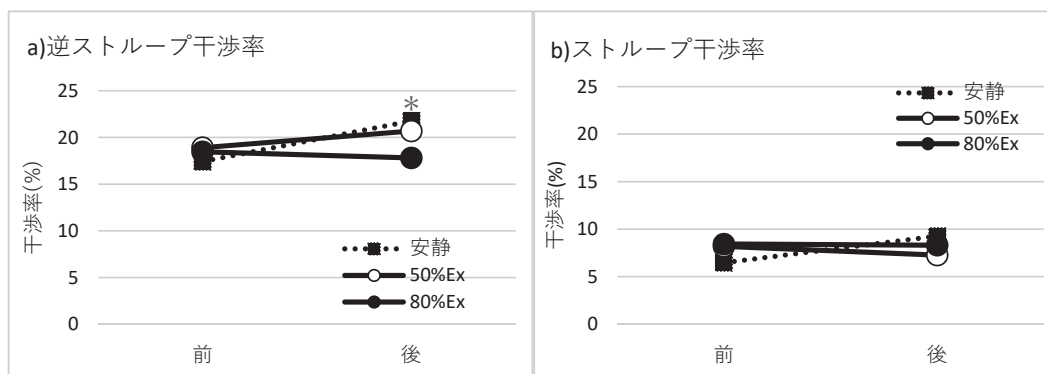


図4. 安静および運動負荷前後のストループ干渉率の変化

それぞれの得点を比較した。各条件におけるストループテストのtask毎の成績は反復回数を重ねるごとに達成率および正当数が増加するが、干渉率には反復効果は顕著にみられなかった。また安静および運動負荷前後では、逆ストループ統制課題およびストループ統制課題の両方で運動前と比較して運動後で有意に高い得点であったのは80% Exのみであった。ストループ干渉は前頭葉と深くかかわっていることが報告されており²⁴⁾、ストループ干渉課題遂行時には前頭前野背外側部の活性が強くなり、逆ストループ干渉遂行時には内側前頭回、中前頭回、帯状回などの活性化が向上することがfMRIを用いた研究で明らかにされている²⁵⁾。干渉率の結果は、コントロール条件における安静前後の逆ストループ干渉率で有意に増大した。これは、語からの妨害を受けて反応が遅れたことをあらわす。一方、50% Exおよび80% Exでは運動前と比較して運動後で干渉率は有意に低く、視覚や語からの妨害を受けず注意力や集中力が高い状態であったと考えられる。Hogervorstら²⁶⁾は、自転車エルゴメーターを用いて激しい運動を負荷した前後でストループ課題を行わせたところ、運動前と比較して運動後でストループ干渉課題の成績が有意に向上したことを報告しており、先行研究を支持する結果を示したといえる。

織田ら²⁷⁾は、一過性のAT強度の運動を実施した際、注意課題の検査の結果が安静時と比較して運動時で有意に短縮し、さらに前頭前野の脳血流量の上昇値に有意な正の相関関係が認められたことから運動中の脳血流の増加と注意機能の向上の関与を示唆した。また、60% $\dot{V}O_2\max$ の運動を10分間実施すると前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度が増加することや、50% $\dot{V}O_2\max$ で10分間の運動を行った場合、運動後の左前頭前野の血流量と酸素化ヘモグロビン濃度が増加し、stroop課題の反応時間も改善して課題解決能力が向上した等、一過性の運動が脳血流量に影響を及ぼし、認知課題の成績向上をもたらすことが報告されている²⁸⁾。また若年者を対象として実施した15分間の走運動前後にストループテストの各stepの成績が有意に改善した。さらに脳の神経活動を光トポグラフィで調べた結果、運動後の左前頭前野で活性化が認められたことを報告しており、身体運動が脳の前頭前野を活性化させ、認知機能に望ましい影響を及ぼした可能性を報告している²⁹⁾。

本研究における中強度および高強度の30分間の有酸素運動により、リラックスかつ集中している状態で現れやすい α 波が運動後で増幅したのと同時に、ストループテストの良好な結果を示したのは、運動により脳血流量や酸素化ヘモグロビンの上昇など神経活動が一時的に活性化し良好な影響をもたらしたことが推察される。これらの結果から、中強度および高強度の一過性の運動が一時的な認知機能の向上をもたらす、ストレス状態を緩和させる可能性を示唆した。しかしながら今回の結果だけで結論付けることは難しく、今後も様々な視点から詳細に検討する必要がある。

参考・引用文献

- 1) Ichiro Kita. Behaviour neuroscience of emotion and exercise. The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine 1(3), 363-367, 2012
- 2) Sanae Nakajima, Ikuroh Ohsawa, Shigeo Ohta, et al. Regular voluntary exercise cures stress-induced impairment of cognitive function and cell proliferation accompanied by increases in cerebral IGF- 1 and GST activity in mice. Behavioural Brain Research 211(2), 178-184, 2010

- 3) Hyunjin Leea, Kazufumi Nagata, Sanae Nakajima, et al. Intermittent intense exercise protects against cognitive decline in a similar manner to moderate exercise in chronically stressed mice. *Behavioural Brain Research* 345, 59-64, 2018
- 4) 仁木甫, 春日晃章. 朝の軽運動が認知機能および前頭前野の脳血流量に及ぼす影響. 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学) 36, 133-137. 2012
- 5) Angevaren M, Aufdemkampe G, Verhaar HJ, Aleman A, Vanhees L. Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database Syst Rev*, 16, CD005381. 2008.
- 6) Luethi M, Meier B, Sandi C. Stress effects on working memory, explicit memory, and implicit memory for neutral and emotional stimuli in healthy men. *Front Behav Neurosci*, 2: 5. 2008
- 7) Oei NYL, Everaerd WTAM, Elzinga BM, Van Well S, Bermond B. Psychosocial stress impairs working memory at high loads: an association with cortisol levels and memory retrieval. *Stress*, 9(3). 133-141.2006
- 8) Royall DR, Palmer R, Chiodo LK, Polk MJ. Declining executive control in normal aging predicts change in functional status: the freedom house study. *J Am Geriatr Soc*, 52, 346-352. 2004
- 9) Yakhno NN, Akharov VV, Lokshina AB. Impairment of memory and attention in the elderly. *Neurosci Behav Physiol*, 37, 203-208, 2007.
- 10) 細田香織, 征矢野あや子, 横川吉晴, 神 智恵美. 短縮版ストループテストの妥当性と信頼性の検証. *身体教育医学* 10. 23-30. 2009
- 11) Strooo, J. R. Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662. 1935
- 12) 堀田亮, 藤原大樹, 橋本公雄. 高齢者の認知機能は日常生活での活動と関連するのか? スポーツ心理学研究. 第38巻第1号1-11. 2011
- 13) 永原直子, 伊藤恵美, 岩原昭彦他. 認知機能スクリーニング検査としてのストループ検査の有用性の検討. *人間環境学研究*第10巻1号, 29-33, 2012
- 14) 坂本佑太, 吉田幸二, 宮地功. 簡易脳波計による学習状態の思考比較分析. *マルチメディア・分散とモバイル*. 2012
- 15) 高橋 恵子. 大学生の健康意識と生活習慣に関わる心理学的要因について—ストレスの情動反応と対処行動, 主観的健康統制感からの検討—. *弘前大学保健管理概要* 30, 14-21. 2009
- 16) Gellish RL, Goslin BR, et al. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 39(5):822-829, 2007
- 17) 運動処方指針 運動負荷試験と運動プログラム 原著第8版
- 18) Brog, G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand. J.Rehabil. Med.*, 2(2): 92-98. 1970
- 19) 佐々木めぐみ, 箱田祐司. ストループ・逆ストループ干渉の発達と老化. *日本教育心理学会*, 第27回総会発表論文集, 208-209. 1985
- 20) 見正富美子, 林達也, 柴田真志, 吉武康栄, 西嶋泰史, 森谷敏夫. 有酸素運動における脳波・血中 β -エンドルフィンの動態. *体力科学* 45, 519-526, 1996
- 21) 鴨宏一, 村松歩, 多屋優人, 横山浩之, 浅川徹也, 林拓世, 水野 (松本) 由子. 視聴覚情動刺激下での脳波パワースペクトル解析—携帯端末を用いた場合—. *臨床神経生理学*, 41(4), 193-201.2013
- 22) Avram J, Baltes FR, Miclea M, et al. Frontal EEG activation asymmetry reflects cognitive biases in anxiety: Evidence from an Emotional Face Stroop Task. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 35(4). 285-292, 2010
- 23) Fumoto M, Oshima T, Kamiya K, Kikuchi H, Seki Y, Nakatani Y, Yu X, Sekiyama T, Sato-Suzuki I, Arita H: Ventral prefrontal cortex and serotonergic system activation during pedaling exercise induces negative mood improvement and increased alpha band in EEG. *Behav Brain Res*, 213(1): 1-9, 2010
- 24) Scott A Langenecker, Kristy A Nielson, Stephen M Rao. fMRI of healthy older adults during Stroop interference. *NeuroImage* 21, Pages 192-200. 2004.
- 25) Song Y, Hakoda Y. An fMRI study of the functional mechanisms of Stroop/reverse-Stroop effects. *Behavioural*

Brain Research 290, 187-196. 2015

- 26) Hogervorst et al. cognitive performance after strenuous physical exercise. Journal of psychosomatic. 1996
- 27) 織田恵輔, 臼井達矢, 上田真也, 桂良寛, 吉川貴仁, 小林茂, 藤本繁夫. 運動中の脳血流量の増加と注意機能の関係. 体力科学 61(3)313-318. 2012
- 28) Yanagisawa H, Dan I, Tsuzuki D, et al. Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. Neuroimage 50, 1702-1710, 2009
- 29) 山本大誠, 奈良勲, 春藤久人, 松尾善美, 中前智道, 森川孝子. 身体運動が認知機能および脳の神経活動に及ぼす影響. 神戸学院大総合リハビリテーション研究 2 (2), 37-42. 2007