

青年期における運動習慣が抑制機能と ワーキングメモリーに与える効果

石原 暢¹, 篠原 翠¹, 苫米地 伸 泰¹, 水野 眞佐夫²

Effects of Daily Exercise on Inhibitory Control and Working Memory in Youth Adults

Toru Ishihara¹, Midori Shinohara¹, Nobuyasu Tomabechei¹, Masao Mizuno²

Abstract

The purpose of this study was to evaluate effects of daily exercise levels on executive function (inhibitory control and working memory) among under-graduate and graduate University students. The total number of 10 individuals participated in this study (7 men and 3 women, age range : 20-32). The level of physical activity was evaluated by International Physical Activity Questionnaire Short Version (IPAQ-SV). The total hours per week for daily exercise were assessed by questionnaire. Inhibitory control was evaluated by the Stroop Color-Word test. Working memory was evaluated by the 2-back task. The reaction time and accuracy of these tasks were employed to represent inhibitory control and working memory. As the results, total hours for daily exercise were associated positively with the shorter reaction time and higher accuracy of Stroop Color-Word test, respectively. No correlation was found between the reaction time and accuracy of 2-back task and total hours for daily exercise or physical activity. In conclusion, the present study demonstrates that the increased level of daily exercises facilitates inhibitory control in University students, and working memory appears not to be affected by the level of daily exercise.

Key words : International Physical Activity Questionnaire Short Version, Executive Function, Stroop Color-Word Test, 2-back Task

緒 言

運動習慣は心身の健康の保持・増進に効果的であることが明らかとされており (Haskell et al., 2007 ; Gutin and Owens, 2011 ; Penedo and Dahn, 2005), 運動が認知機能を促進させることが報告されている (Colcombe and Kramer, 2003 ; Guiney and Machado, 2013 ; 石原ほか, 2015). 認知機能は知覚・判断・想像・推論・決

定・記憶・言語理解などの人間の知的機能を包括した概念であり (厚生労働省健康用語辞典), 中でも前頭前野が司る遂行機能は人間の社会生活を支える重要な機能とされている (Diamond, 2013). 遂行機能は抑制機能 (自己制御, 選択的注意など), ワーキングメモリー (情報の短期的な保持および更新), 認知の柔軟性 (創造性に関わる機能) を主要な下位組織とし, これらの要素が協働して論理的思考, 問題解決や計画の立案などを行う

1. 北海道大学大学院教育学院
〒060-0811札幌市北区北11条西7丁目
2. 北海道大学大学院教育学研究院
〒060-0811札幌市北区北11条西7丁目

1. Graduate School of Education, Hokkaido University
Kita 11, Nishi 7, Sapporo 060-0811
2. Faculty of Education, Hokkaido University
Kita 11, Nishi 7, Sapporo 060-0811

著者連絡先 石原 暢
t.ishihara@edu.hokudai.ac.jp

機能であるとされている (Banich, 2009; Miyake et al., 2000; Diamond, 2013). これまでの先行研究において、加齢に伴う遂行機能の衰退 (Comalli et al., 1962; 浜・橋本, 1985) に焦点が当てられてきたが、遂行機能は生活の幅広い側面 (仕事の成功・継続, 心身の健康, 恋愛, QOL, 犯罪への関与) での重要な役割が示されており、青年期に促進させることの重要性が指摘されている (Diamond, 2013).

認知機能は運動によって向上し、とりわけ遂行機能への効果が大いことが明らかとなっている (Colcombe and Kramer, 2003; Guiney and Machado, 2013; 石原ほか, 2015). Colcombe and Kramer (2003) は中高齢者における習慣的な運動は認知機能を高め、認知処理速度等の低次認知機能と比較して遂行機能への促進効果が高いことを報告している。石原ほか (2015) は運動習慣を形成している中高齢者は非運動習慣者と比較して抑制機能が高い一方で認知処理速度には差が認められなかったことを報告している。

運動が遂行機能に与える効果に焦点を当てた研究は中高齢者対象のものが多く、子どもや青年期を対象とした研究成果が少ないことが課題とされている (Guiney and Machado, 2013; Strothet al., 2009). Guiney and Machado (2013) によれば、青年期における運動が遂行機能の促進に寄与することが示されている。逆に、Verburgh et al. (2013) の行ったメタ解析では習慣的な運動の効果が認められなかった (effect size=0.14, p=0.19). 青年期における身体活動と遂行機能の関連性に一貫した結果が得られていない原因として、遂行機能の下位要素によって身体活動から受ける影響が異なることが挙げられる。運動習慣と遂行機能における複数の下位要素の関連を検討し、各要素に対する運動の効果を明らかとすることは重要な課題であると考えられる。本研究は、青年男女を対象に運動習慣と遂行機能の複数の側面 (抑制機能とワーキングメモリー) の関連性を横断的に検討することを目的とした。

方 法

対象者

対象は健康な大学生7名と大学院生3名の合計10名 (男性7名, 女性3名, 20-32歳) とした。抑制機能とワーキングメモリーにおいて性差が無いことが示されているため (Houx et al., 1993; Schmidt et al., 2009), 本研究は男女混合計画とした。本研究は北海道大学大学院教育学研究院倫理委員会の承認を得て実施した。

プロトコル

対象は測定室入室後、プロフィール、運動習慣に関するアンケートに解答した。その後、パソコンを用いた遂行機能課題 (抑制機能課題: ストループカラーワードテ

スト, ワーキングメモリー課題: 2-back課題) を実施した。所要時間はおよそ30分であった。実験前日に刺激物やアルコールの摂取を避け、当日実験前には運動を行わないよう指示した。

運動習慣

厚生労働省による「身体活動基準2013」において、身体活動量の目標値として身体活動を1週間当たり23Ex (METs×時間) 行うこと、運動習慣を形成すること (週に2日以上, 1回30分以上) を掲げている。本研究では、運動習慣の指標としてInternational Physical Activity Questionnaire Short Version (IPAQ-SV) を用い、歩行を3.3METs, 中等度運動を4METs, 高強度運動を8METsとして平均的な1週間当たりの身体活動量 (Ex) を算出した (村瀬ほか, 2002; Craig et al., 2003). IPAQ-SVは国際的に幅広く使用されており、加速度計・生活活動記録から算出された消費エネルギーとの相関が認められている (村瀬ほか, 2002; 北村ほか, 2010). また、運動習慣の形成状況を調査するため、平均的な1週間において運動を週に何回, 1回当たり何時間実施しているか [以下, 運動時間 (時間/週)] とその種目を回答させた。

遂行機能

本研究では、遂行機能の下位構成要素とされている抑制機能とワーキングメモリーをそれぞれストループカラーワードテストと2-back課題を用い、両課題ともPCを用いて実施した。目からディスプレイまでの距離を50cmに保つよう指示し、極端にずれた場合は休憩の間に注意を促した。

ストループカラーワードテスト。ストループカラーワードテストは、2つの情報が同時に呈示された際にそれらの情報が矛盾している場合に一致している場合よりも反応時間が遅延し、誤答数が増加する現象 (Stroop効果) を用いたテストであり、無意識下で優勢な反応を意識的に抑制すること (抑制機能) が要求される (Stroop, 1935). ストループカラーワードテストを用いて評価した抑制機能は遂行機能の下位コンポーネントであることが明らかとなっている (Miyake et al., 2000). 本研究では、最初に4種類の色のカラーパッチ (四角形) を64個配列し (8×8), その色名をキーボードのボタン押し (赤: Cキー, 黄: Vキー, 緑: Nキー, 青: Mキー) により解答させた (統制条件). 終了後続けて、色名と表記の色の異なる語を64語配列し、その色名を解答させた (不一致条件). 対象者にはできるだけ速く正確に解答することを指示した。実験開始前に練習として統制条件, 不一致条件をそれぞれ24試行実施し、各条件終了後に1分間の休息を設けた。各課題条件の平均反応時間と正答率を算出し、干渉量 (反応時間: 不一致課題反応時間 - 統制課題反応時間, 正答率: 統制条件正答率 - 不一致条件

正答率)を抑制機能の指標として用いた。干渉量(反応時間および正答率)は値が低いほど抑制機能が高いことを意味する。課題の所要時間はおよそ10分であった。

2-back 課題。 遂行機能の下位構成要素であるワーキングメモリの指標として、幅広く用いられている2-back課題を用いた(Owen et al., 2005)。2-back課題は、系列提示された刺激を最終刺激から2項目まで遡って回答する課題であり、短時間の記憶の保持およびその更新が要求される。2項目前に提示された刺激と現在の刺激が同じものである場合に左のCtrlボタン、同じものでない場合は右のCtrlボタンによるボタン押しを行うよう指示した。刺激はアルファベットから構成され(刺激サイズ:1.5cm×1.5cm, 視角度:1.72°),すべての刺激を持続時間500ms,刺激間隔2500msで提示した。14刺激から構成される練習ブロックを実施した後に、36刺激から構成されるブロックを2ブロック実施し、ブロック間の休息は1分間とした。各ブロックにおける正反応が正答となる確率は1/6とした。平均反応時間および正答率をワーキングメモリの指標として用いた。課題の所要時間はおよそ10分であった。

統計処理

測定項目間の関連の検討にSpearmanの順位相関係数を用いて検討した。ストループカラーワードテストにおける統制課題と不一致課題の課題成績の比較に対応のあるt検定を用いた。有意水準は5%未満とした。効果量はCohenのdを用いて示した。

結 果

運動習慣

各対象者のプロフィール、身体活動量(Ex)、運動時間(時間/週)を表1に示した。本研究の対象は10名中7名が厚労省の身体活動量の目標値を満たしており、運動習慣形成者が比較的多い集団であった。

遂行機能

遂行機能課題における課題成績を表2に示した。ストループカラーワードテストにおける不一致課題は統制課題と比較し、有意な差は認められなかったが平均反応時間が遅延し($t(9)=1.33$, $d=0.57$, $p=0.11$)、先行研究と同様に不一致課題において干渉が確認された(Stroop, 1935)。正答率については条件間に差は認められなかった($t(9)=0.40$, $d=0.17$, $p=0.35$)。

運動習慣と遂行機能の関係

運動習慣と遂行機能の関係を表3と図1に示した。身体活動量とストループカラーワードテスト統制条件正答率の間に有意な負の相関関係が認められた($r_s=-0.74$, $p=0.01$)。身体活動量とその他の項目の間に有意な相関関係は認められなかった(表3)。運動時間(時間/週)とストループカラーワードテスト不一致条件反応時間($r_s=-0.68$, $p=0.03$)、干渉量(正答率)($r_s=-0.75$, $p=0.01$)の間に有意な相関関係が認められた。その他の指標間に有意な相関関係は認められなかった(図1)。

考 察

本研究の結果、青年男女において運動の実施量が多い者は抑制機能が高い水準である一方で、認知処理速度、ワーキングメモリーは運動に受ける影響が比較的小さいことが明らかとなった。1週間当たりの総運動時間が長

表1 各対象者の身体特性、身体活動量および運動時間

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	身体活動量 (Ex)	運動時間 (時間/週)
A	21	156	53	22	16.5	0.00
B	21	173	55	18	23.4	7.00
C	21	170	60	21	39.1	0.00
D	21	167	61	22	99.8	12.00
E	20	163	65	24	23.8	4.00
F	25	173	65	22	22.5	4.00
G	22	172	68	23	83.4	4.00
H	23	172	68	23	31.1	6.00
I	32	154	51	22	23.1	3.00
J	23	155	55	23	7.11	0.13

表2 各対象者のストループカラーワードテスト、2-back課題における反応時間と正答率

	ストループカラーワードテスト						2-back 課題	
	反応時間 (ms)			正答率 (%)			反応時間 (ms)	正答率 (%)
	統制条件	不一致条件	干渉量	統制条件	不一致条件	干渉量		
A	605.21	643.03	37.82	98.44	96.88	1.56	765.57	88.24
B	557.44	604.12	46.68	98.44	98.44	0.00	659.54	91.18
C	464.72	782.99	318.27	95.31	85.94	9.38	1043.34	91.18
D	522.16	489.27	-32.88	92.19	96.88	-4.69	968.52	97.06
E	416.51	558.83	142.32	92.19	90.63	1.56	522.34	100.00
F	632.06	598.66	-33.40	96.88	100.00	-3.13	815.90	83.82
G	644.52	602.31	-42.21	95.31	98.44	-3.13	647.60	95.59
H	510.12	486.00	-24.13	89.06	98.44	-9.38	464.07	97.06
I	519.01	495.07	-23.94	98.44	96.88	1.56	639.36	97.06
J	626.03	712.68	86.66	98.44	98.44	0.00	740.58	92.65
平均値	549.78	597.30	47.52	95.47	96.09	-0.63	726.68	93.38
SEM	24.26	30.90	35.78	1.05	1.38	1.57	57.50	1.55

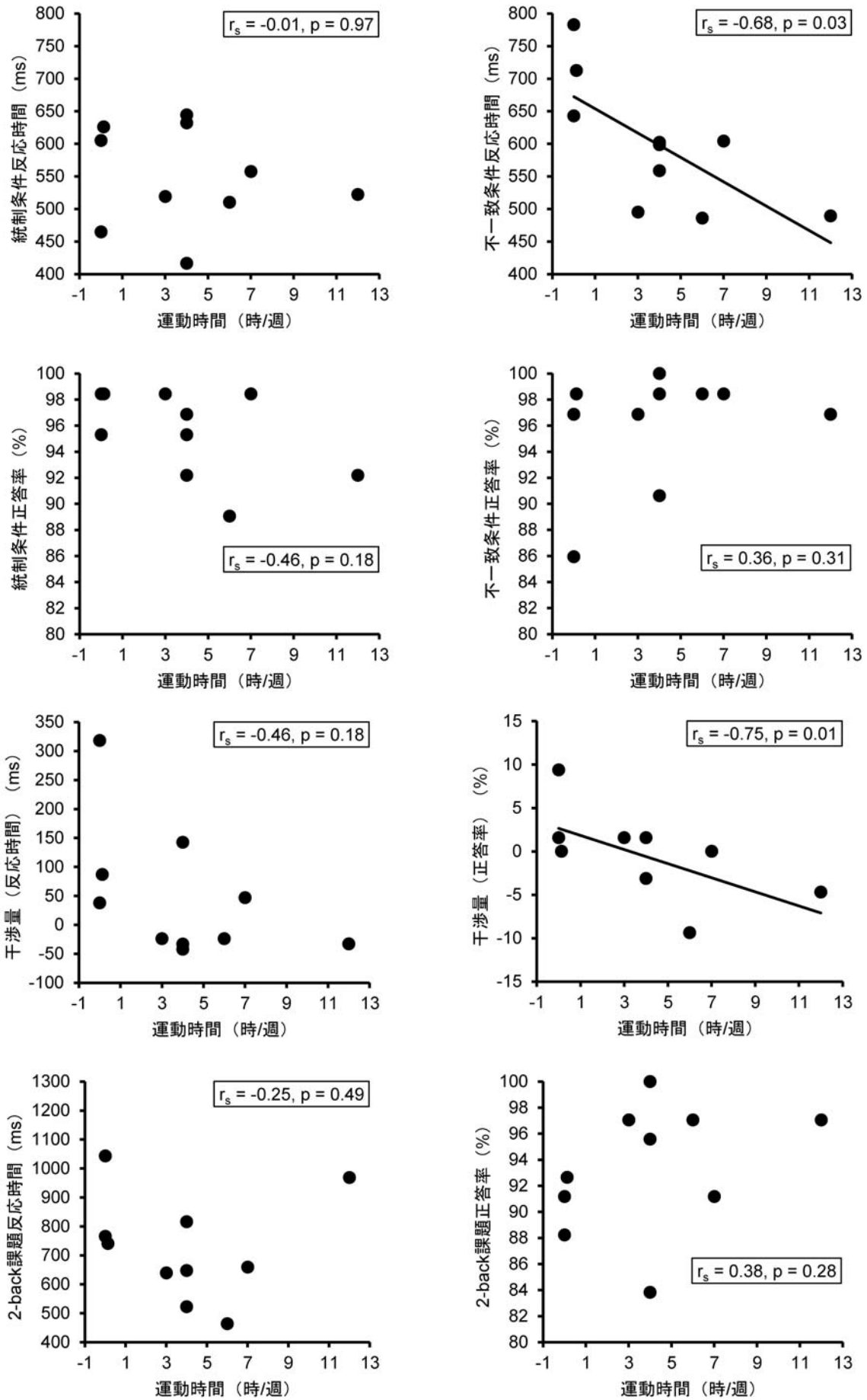


図1 運動習慣と遂行機能課題成績の関係

表3 運動習慣と遂行機能課題成績の順位相関係数

	身体活動量 (Ex)	運動時間 (時間/週)
ストループカラーワードテスト		
(1) 統制条件反応時間 (ms)	-0.30	-0.01
(2) 不一致条件反応時間 (ms)	-0.37	-0.68*
(3) 干渉量 (反応時間) (ms)	-0.25	-0.46
(4) 統制条件正答率 (%)	-0.74*	-0.46
(5) 不一致条件正答率 (%)	-0.30	0.36
(6) 干渉量 (正答率) (%)	-0.30	-0.75*
2-back課題		
(7) 反応時間 (ms)	0.04	-0.25
(8) 正答率 (%)	0.46	0.38

* : $p < 0.05$

い者ほどストループカラーワードテスト干渉量において良好な課題成績を示した。しかしながら、統制条件反応時間や正答率、2-back課題成績と運動習慣の関係は認められなかった。この結果は習慣的な運動量が多い者ほど抑制機能が高いが、認知処理速度やワーキングメモリーにはそのような関係が認められないことを示している。抑制機能を含む遂行機能は認知処理速度よりも習慣的な運動に影響を受けやすいことが示されており (Colcombe and Kramer, 2003; 石原ほか, 2015)、本研究においても認知処理速度よりも抑制機能において運動の効果が大きいことが示された。

抑制機能において運動の効果が認められた一方で、ワーキングメモリーに対する運動の効果は認められなかった。この結果は、脳画像を用いた先行研究の結果と一致する。ストループカラーワードテスト実行中において前帯状回が賦活し (Leung et al., 2000)、ワーキングメモリーと関連する領域は背外側前頭前野であることが報告されている (Petrides et al., 2000)。運動により海馬、前白質、前帯状回における容積の増加が認められているが (Pereira et al., 2007; Colcombe et al., 2006; Colcombe et al., 2004)、背外側前頭前野においては運動に伴う容積の増加が示されていない。本研究により、習慣的な運動が遂行機能に与える効果が下位要素によって異なることが判明し、運動と遂行機能の関係性を検討する際には複数の側面を検討する重要性が示された。

本研究において、運動時間が長い者ほど抑制機能が高い水準であることが示されたが、身体活動量と抑制機能の間に有意な関係が認められなかった。また、身体活動量と統制条件正答率の間に負の相関関係が認められた。運動時間が長い者は抑制機能が高い一方で、身体活動量が多い者は認知処理の正確性が低い結果となった原因は不明であるが、その理由として2点のことが考えられる。第1点として、身体活動と運動時間の調査で評価された運動の質の違いが挙げられる。レジスタンストレーニングやスポーツ競技は単純な有酸素運動と比較して遂行機能に与える効果が高いことが明らかとなっている (Kelly et al., 2014; Diamond, 2015)。本研究の対象者が行っていた運動は、レジスタンストレーニング、ダンス、

よさこいソーラン、野球、バレーボールであり、これらの実施により抑制機能が向上したと考えられる。一方で、IPAQ-SVにより評価される身体活動は単純な有酸素運動である通学や移動による歩行、自転車運動といった生活活動が含まれていたため抑制機能に与える効果が認められなかったと予想される。第2点は、身体活動量は強度を考慮に入れた値であるが、運動時間の調査は強度を考慮に入れていなかった点である。運動が抑制機能に与える効果は強度よりも時間に依存することが示されている。石原ほか (2015) は低強度運動 (ボウリング: 3METs) と中高強度運動 (ランニング: 7METs) が抑制機能に与える効果が同等であり、それぞれの実施時間を増やすことで効果が高まることを報告している。運動が抑制機能に与える効果は強度に依存しないため、強度により値が変動する身体活動量と抑制機能に関連が認められなかったと考えられる。身体活動量が多い者は認知処理の正確性が低い結果となった原因も同様に強度を考慮に入れたためだと推察される。

本研究の限界として、対象者10名の内7名が運動習慣を形成しており、比較的運動習慣形成者が多い集団であったことが挙げられる。厚生労働省による「平成24年国民健康・栄養調査結果の概要」によると、運動習慣形成者は男性で36.1%、女性で28.2%であることが報告されている。運動習慣と遂行機能の関係を明らかにする上で、より一般的な集団を対象に調査を行うことが今後の課題である。本研究の結果、運動習慣形成者が比較的多い集団にも関わらず、運動時間が長い者ほど抑制機能が高い水準であることが示された。運動習慣の形成に留まらず、さらに運動時間を増やすことで抑制機能の向上に寄与することが示唆された。

結 語

本研究は青年男女を対象に運動習慣が遂行機能に与える効果について複数の下位要素 (抑制機能、ワーキングメモリー) に焦点を当てて検討した結果、日常的に運動を実施している者は抑制機能が高い水準であることが明らかとなった。他方、ワーキングメモリーと運動習慣の間の関連性は認められず、運動と遂行機能の関係を検討する上で複数の下位要素を対象に検討することの重要性が示された。

参考文献

- Banich, M. T. (2009) Executive function : The search for an integrated account. *Curr.Dir.Psychol.Sci.*, 18 : 89-94.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Scalf, P. E., Kim, J. S., Prakash, R., McAuley, E., Elavsky, S., Marquez, D. X., Hu, L., and Kramer, A. F. (2006) Aerobic

- exercise training increases brain volume in aging humans. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.*, 61 (11) : 1166-1170.
- Colcombe, S., and Kramer, A. F. (2003) Fitness effects on the cognitive function of older adults a meta-analytic study. *Psychol. Sci.*, 14 (2) : 125-130.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., Webb, A., Jerome, G. J., Marquez, D. X., and Elavsky, S. (2004) Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 101 (9) : 3316-3321.
- Comalli Jr, P. E., Wapner, S., and Werner, H. (1962) Interference effects of Stroopcolor-word test in childhood, adulthood, and aging. *J. Genet. Psychol.*, 100 (1) : 47-53.
- Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., Pratt, M., Ekelund, U., Yngve, A., Sallis, JF., and Oja, P. (2003) International physical activity questionnaire : 12-country reliability and validity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35 : 1381-1395.
- Diamond, A. (2015) Effects of Physical Exercise on Executive Functions : Going beyond Simply Moving to Moving with Thought. *Ann. Sports Med. Res.*, 2 (1) : 1011.
- Diamond, A. (2013) Executive functions. *Annu. Rev. Psychol.*, 64 : 135-168.
- Guiney, H., and Machado, L. (2013) Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychon. Bull. Rev.*, 20 (1) : 73-86.
- Gutin, B., and Owens, S. (2011) The influence of physical activity on cardiometabolic biomarkers in youths : a review. *Pediatr. Exerc. Sci.*, 23 (2) : 169-185.
- 浜治世・橋本恵以子 (1985) Stroop Color-Word Test によるコンフリクトの発達的研究. *心理学研究*, 56 (3) : 175-179.
- Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., and Bauman, A. (2007) Physical activity and public health : updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39 : 1423-34.
- Houx, P. J., Jolles, J., and Vreeling, F. W. (1993) Stroop interference : aging effects assessed with the Stroop Color-Word Test. *Exp. Aging Res.*, 19 (3) : 209-224.
- 石原暢・唐家楽・瀧澤一騎・水野眞佐夫 (2015) 中高年齢者における異なる種目の運動習慣が遂行機能とメンタルヘルスに与える効果—低強度運動と中高強度運動の比較—. *日本生理人類学会誌*, 20 (3) : 127-133.
- Kelly, M. E., Loughrey, D., Lawlor, B. A., Robertson, J. H., Walsh, C., and Brennan, S. (2014) The impact of exercise on the cognitive functioning of healthy older adults : a systematic review and meta-analysis. *Ageing Res. Rev.*, 16 : 12-31.
- 北村菜月・佐藤拓・川越厚良・佐竹将宏・塩谷隆信 (2010) 若年健常者の日常生活における身体活動量の評価—IPAQ日本語版の信頼性・妥当性の3軸加速度計を用いた検討—. *理学療法科学*, 25 (5) : 767-771.
- Leung, H.C., Skudlarski, P., Gatenby, J.C., Peterson, B. S., and Gore, J.C. (2000) An event-related functional MRI study of the Stroop color word interference task. *Cereb. Cortex.*, 10 (6) : 552-560.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., and Wager, T. (2000) The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks : A latent variable analysis. *Cognit. Psychol.*, 41 : 49-100.
- 村瀬訓生・勝村俊仁・上田千穂子・井上茂・下光輝一 (2002) 身体活動量の国際標準化—IPAQ日本語版の信頼性・妥当性の評価—. *厚生指標*, 49 (11) : 1-9.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., and Bullmore, E. (2005) N-back working memory paradigm : A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Hum. Brain Mapp.*, 25 (1) : 46-59.
- Penedo, F. J., and Dahn, J. R. (2005) Exercise and well-being : a review of mental and physical health benefits associated with physical activity. *Curr. Opin. Psychiatry*, 18 (2) : 189-193.
- Pereira, A. C., Huddleston, D. E., Brickman, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M., Sloan, R., Gage, F. H., Brown, T. R., and Small, S. A. (2007) An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 104 (13) : 5638-5643.
- Petrides, M. (2000) The role of the mid-dorsolateral prefrontal cortex in working memory. *Exp. Brain Res.*, 133 (1) : 44-54.
- Schmidt, H., Jogia, J., Fast, K., Christodoulou, T., Haldane, M., Kumari, V., and Frangou, S. (2009) No gender differences in brain activation during the N-back task : an fMRI study in healthy individuals. *Hum. Brain Mapp.*, 30 (11) : 3609-3615.

- Stroop, J. R. (1935) Studies of interference in serial verbal reactions. *J. Experiment. Psychol.*, 28 : 643-662.
- Stroth, S., Hille, K., Spitzer, M., and Reinhardt, R. (2009) Aerobic endurance exercise benefits memory and affect in young adults. *Neuropsychol. Rehabil.*, 19 (2) : 223-243.
- Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E. J., and Oosterlaan, J. (2013) Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults : a meta-analysis. *Br. J. Sports Med.*, 48 (12) : 973-979.

〔平成27年3月31日 受付〕
〔平成27年7月14日 受理〕