

原著

運動強度の違いが運動中の脳血流に及ぼす影響

奥本 裕也^{1*}, 重森 健太¹¹ 関西福祉科学大学 保健医療学部 リハビリテーション学科 理学療法学専攻

受付日 2020年2月28日

採択日 2020年7月15日

要旨

本研究の目的は、運動強度設定の違いが運動中の脳血流に及ぼす影響について検討することであった。健康成人7名を対象に、30%強度、50%強度、70%強度における運動中の前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度（以下oxy-Hb）変化を各1分間計測した。そして30%強度のoxy-Hb値をベースとして、50%強度時、70%強度時それぞれのoxy-Hb濃度の変化量を比較した。その結果、50%強度よりも70%強度のほうが有意に前頭前野のoxy-Hb値の増加が認められた。このことから、高強度の有酸素運動を取り入れることで脳血流反応は活性化することが示唆された。

*奥本裕也

関西福祉科学大学 保健医療学部
リハビリテーション学科 理学療法学専攻

E-mail:

21750032@tamateyama.ac.jp

キーワード

前頭前野, 酸素化ヘモグロビン濃度, 運動強度

はじめに

我が国における65歳以上の認知症高齢者数と有病率の将来推計では、2025年には認知症高齢者が700万人、つまり約5人に1人が認知症を罹患するとされている¹⁾。また厚生労働省の「平成28年国民生活基礎調査」²⁾によると、認知症は高齢者の要介護状態を引き起こす原因疾患の第1位となっている。このように、我が国では超高齢社会に伴って認知症が増加しており、その施策は世界中から注目されている。認知症は個人レベルの生活の質の低下や、介護者の精神的および肉体的な負担のみならず、社会に与える影響も極めて大きいため、認知症対策は世界的な課題となっているのである。これまでに認知症に対する治療薬が数種開発され、症状のコントロールもある程度までは可能になったが、それらは症状の進行を一時的に抑制するものであり、根本的な治療には至っていない。また、従来から認知機能を高めるトレーニングとして、計算ドリル、パズル、文章問題などの認知機能そのものに対するアプローチと、買い物、家事など日常生活に則した練習が行われているが、どれも科学的根拠に乏しいのが現状である。

近年、高血圧、糖尿病、高コレステロール血症、喫煙などの血管危険因子が認知症の発症に関与するとし、さらに定期的な運動（特に有酸素運動）、余暇活動、社会的参加、食習慣などが発症の防御因子となることがわかってきた。これにより、血管危険因子の予防、運動、積極的な対人交流などによる認知症予防が盛り上がりを見せている。今後重要となってくることは、多くの地域在住高齢者が認知症予防に対して関心を持ち、発症前から自立的に脳を活性化させる生活習慣を実践することであろう。2010年のEricksonらの研究³⁾では、健康高齢者120名を対象に有酸素運動群とストレッチ群との比較を1年間行い（ランダム化比較試験）、有酸素運動群で有意に海馬容量が増加したと報告している。ヒトレベルで有酸素運動による海馬容量の増減が確認されたことは理学療法士にとっても非常に有益な情報であり、地域における認知症予防施策に理学療法士が介入する意義が一段と大きくなった。同じく2010年のTangらの研究⁴⁾では、有酸素運動による血管内皮細胞増殖因子（Vascular Endothelial Growth Factor；以下、VEGF）の変化量を脳、肺、肝臓、心臓で比較した結果、脳で最もVEGFが

増加し、その中でも海馬の変化量が最も大きいことが確認されている。

また、運動が脳血流に及ぼす影響について Suzuki ら⁵⁾は、時速 9 km のランニングを 90 秒間行くと、運動野および前頭前野の酸素化ヘモグロビン (以下 oxy-Hb) 濃度が増加することを報告している。Ide ら⁶⁾は、60%VO₂max の運動を 10 分間行くと前頭前野の oxy-Hb が増加することを報告している。このように、有酸素運動が脳を活性化するトレーニングとして有効であることは報告されているが、有酸素運動の強度設定と脳血流の関係性については明らかになっていない。今回、我々は運動強度設定の違いが運動中の脳血流に及ぼす影響について検討したので報告する。

対象と方法

1) 対象

健康成人 7 名 (男性 6 名, 女性 1 名, 21 ± 1.8 歳) を対象とした。研究の実施にあたっては、研究により得られた結果は研究以外に使用しない、また責任を持って管理・保管し個人情報漏洩を防止することや、得られた結果の公表については個人の名前など一切わからないようにするなど参加者のプライバシー保護について十分配慮することを条件に承諾を得、倫理的な配慮を行った。なお、対象者には研究の趣旨と内容について書面と口頭で説明し、同意を得て研究を実施した。

2) 評価項目

①脳血流反応

脳血流反応の測定には、近赤外線分光法による HOT-1000 (株式会社 NeU 社製) を使用した。HOT-1000 は生体組織に対する透過性の高い近赤外光 (波長 695nm, 830nm) を用いて、大脳皮質毛細血管中に含まれる oxy-Hb との濃度変化量を計測する装置である。oxy-Hb 濃度 (mM・mm) を脳血流反応の指標とした。

②主観的運動強度 (以下、ボルグスケール)

ボルグスケールは、運動を行う本人がどの程度の疲労度「きつさ」を感じているかを測定する指標である。今

回、30%強度、50%強度、70%強度の運動強度における運動負荷中の疲労感を把握するために、主観的運動強度のボルグスケールを使用した。

3) 運動強度設定

運動負荷は自転車エルゴメーター (ジョンソン社製) を使用し、カルボーネン法 ((220-年齢) - 安静時心拍数) × 運動強度 + 安静時心拍数) を用いて、30%強度、50%強度、70%強度の運動強度設定を行った。

4) 実験プロトコル (Fig.1)

実験中は、視覚的な情報を遮断することを目的としてアイマスクを装着した (Fig.2)。各運動負荷間には安静は挟まず、連続で計測を行った。対象者に対し、運動前に安静時心拍数を測定し、カルボーネン法を用いて 30%強度、50%強度、70%強度における目標心拍数を算出した。その後、自転車エルゴメーターでの運動を行ってもらい、それぞれの目標心拍数に達し、心拍数の変化が一定になった時点から 30%強度、50%強度、70%強度での運動負荷中の oxy-Hb 濃度変化を各 1 分間計測した。個人差はあるが、目標心拍数が定常状態に到達するまでにおよそ 3 分間の時間を要した。測定は、Mark In 機能を使用した EVENT 計測で行い、課題による経時的変化を追った (Continuous 解析)。測定部位は、国際脳波 10-20 法に従い、大脳両側半球の前頭前野を覆うように装着し、左右の前頭前野の oxy-Hb 濃度を測定した。なお、それぞれの運動強度の課題終了時には、ボルグスケールを聴取し、疲労度合いを確認した。実験前に被験者に測定プロトコルを説明し、理解を得た後に実験を行った。

5) 統計学的解析

30%強度時の oxy-Hb 濃度の測定値をベースとして、50%強度、70%強度時の oxy-Hb 濃度の変化量を求めた。50%強度の oxy-Hb 濃度の変化量と 70%強度の oxy-Hb 濃度の変化量の比較には、wilcoxon の符号付順位検定を用いた。有意水準は 5%とした。

Adjusting exercise intensity (3min)	30%^{*1} Borg scale (1min)	Adjusting exercise intensity (3min)	50%^{*2} Borg scale (1min)	Adjusting exercise intensity (3min)	70%^{*3} Borg scale (1min)
-------------------------------------	--	-------------------------------------	--	-------------------------------------	--

*1: 30% exercise intensity (Base) *2: 50% exercise intensity *3: 70% exercise intensity

Fig1. Experimental design

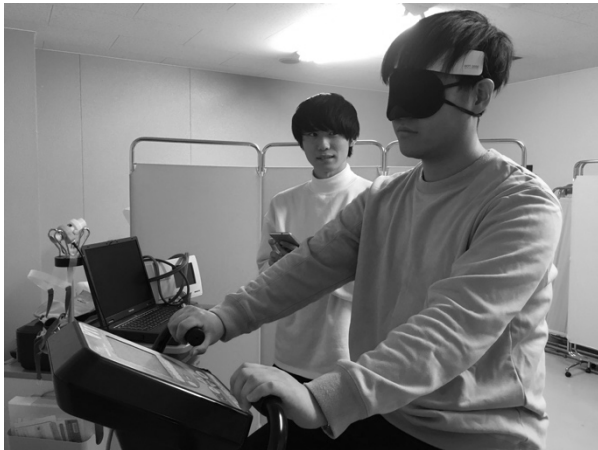


Fig2. Experiment environment

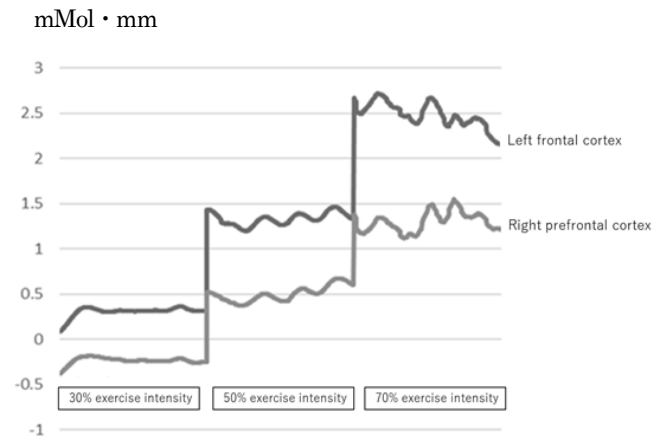


Fig3. Change in oxy-Hb levels during the 30% exercise intensity /the 50% exercise intensity /the 70% exercise intensity

結果

1) 脳血流値の推移 (oxy-Hb 濃度)

代表的な oxy-Hb 濃度の推移を Fig.3 に示す. 全対象者とも, 30%強度, 50%強度, 70%強度と運動強度が強くなるに連れて, oxy-Hb 濃度が高くなる傾向を示した. また, 各強度において左前頭前野のほうが右前頭前野よりも高値を示す傾向が見られた.

2) 50%強度と 70%強度の運動時の oxy-Hb 濃度の変化量比較 (Table. 1)

(1) 左前頭前野

50%強度と 70%強度の oxy-Hb 濃度の変化量は, 50%強度時が 0.017 mMol · mm, 70%強度時が 0.238 mMol · mm であり, 70%強度時の oxy-Hb 濃度の変化量のほうが有意に高値を示した ($p < 0.05$).

(2) 右前頭前野

50%強度と 70%強度の oxy-Hb の変化量は, 50%強度時が -0.326 mMol · mm, 70%強度時が -0.212 mMol · mm であり, 70%強度時の oxy-Hb の変化量のほうが有意に高値を示した ($p < 0.05$).

3) 運動負荷中の心拍数とボルグスケール (Table. 2)

30%強度時のボルグスケールは 9 (最小 7, 最大 13), 心拍数は 110 回/分 (最小 93 回/分-最大 113 回/分), 50%強度のボルグスケールは 15 (最小 11, 最大 17), 心拍数は 136 回/分 (123 回/分-138 回/分), 70%強度のボルグスケールは 19 (最小 15, 最大 20), 心拍数は 161 回/分 (153 回/分-162 回/分) であった.

Table 1. Change in oxy-Hb at 30% exercise intensity/50% exercise intensity/70% exercise intensity (mMol · mm)

	Change in oxy-Hb at 50% exercise intensity	Change in oxy-Hb at 70% exercise intensity	p-value
left prefrontal cortex	0.017	0.238	<0.05
right prefrontal cortex	-0.326	-0.212	<0.05

Wilcoxon signed rank test, $p < 0.05$

Table2. Heart rate and Borg scale during exercise

	Heart rate	Borg scale
30% exercise intensity	110 (93-113)	9 (7-13)
50% exercise intensity	136 (123-138)	15 (11-17)
70% exercise intensity	161 (153-162)	19 (15-20)

考察

従来から認知症予防のアイテムの一つとして計算問題やパズルなど机上の脳賦活トレーニングが広く使われているが、運動が脳を活性化させるということが認知され出したのは最近のことである。西端⁷⁾は、身体活動量や有酸素性筋力、体力が高い高齢者ほど認知機能が高く、認知症を発症しにくいと提言する一方で、運動強度に関してはまだ全国的に整理がされていないという課題についても言及している。また、安永⁸⁾は高齢者の認知機能と運動・身体活動の関係を調査し、一日の平均歩数が7500歩以上の高齢者は、6か月後の視覚性記憶で評価される認知機能が良く、遂行機能は中強度以上の運動をしている高齢者が6か月後の成績向上が見られたと報告している。ここでの中強度は、一例として、60~70%運動負荷のウォーキングトレーニングが挙げられている。

これらの報告のように、運動が脳を活性化させるアイテムとして効果があることは徐々に明確になっているが、どの程度の強度で運動をすれば脳の血流がどのように変化するのかということに関しては、まだ明言されていないのが現状である。これらの課題を解決するために、本研究では30%強度、50%強度、70%強度の異なる運動強度設定が脳血流に及ぼす影響について検討した。結果、50%強度よりも70%強度のほうが有意にoxy-Hb濃度の増加が認められた。Rupp⁹⁾は、漸増負荷テストにおいてオールアウトまで行うことで運動野に加えて前頭前野のoxy-Hb量が増加することを報告している。また、Kamijo¹⁰⁾は、AT強度の運動を行った後に認知課題を行うと、認知課題中の前頭前野の賦活化が認められたことを報告している。我々の研究結果でも、運動負荷が高くなるにつれて前頭前野のoxy-Hb量が増加したことから、より高強度の有酸素運動を取り入れることで脳血流反応は活性化することが示唆された。また、前頭前野のoxy-Hb濃度変化量の左右差に関しては、変化の傾向に差はなかったが、各強度において左前頭前野のほうが右前頭前野よりも高値を示す傾向が見られた。織田¹¹⁾は、運動中の両側の前頭前野でNIRSの計測を行い、左側のoxy-Hb値が右側に比べ高値であったことを報告しており、本研究の前頭前野のoxy-Hb濃度変化は妥当な反応であったことが示唆された。

一方で、Joe Verghese¹²⁾は認知症に良いとされる15種の余暇活動を比較し、アルツハイマー型認知症になる危険度を算出した。結果、ダンス、ボードゲーム、音楽活動が危険率の低い上位3活動となり、有酸素運動であるウォーキングや自転車などの有酸素運動は上位3活動に入らなかった。このことから、ただ運動をするだけでは認知症を予防することには繋がらず、主観的な部分も

含めてある程度の負荷をかける必要性が考えられる。そのため、本研究では運動の強度は主観的な心理部分にも影響することを考え、ボルグスケールも調査した。結果、主観的な強度の感じ方に多少の個人差はあるものの、運動強度が大きくなるほどボルグスケールの数値も大きくなり、脳血流反応とほぼ同じような推移であった。このことから、認知症予防として運動を指導する際には目標心拍数の設定だけでなく、運動中に感じる主観的な「きつさ」も運動強度の指標として取り入れることの重要性が示唆された。

本研究の限界として、今回は運動時間1分間だけの即時的な脳血流反応であり、長期の運動介入が認知症を早期から予防する手段になり得るとまでは提言できない。また、虚弱高齢者などの場合、高強度での運動が難しく、そのような対象者に対しては有酸素運動を適用できない可能性が高い。近年、認知症予防としてDual-taskを用いた運動が地域のあらゆるところで実施されているが、高強度のトレーニングが難しい場合には、Dual-taskなども取り入れながら低強度の運動を取り入れたほうが妥当のように考える。しかしながら、Dual-taskと有酸素運動のどちらが前頭葉に影響を及ぼすのかは明らかになっていないため、今後はDual-taskと有酸素運動の比較も行っていきたいと考えている。

文献

- 1) 内閣府：平成29年版高齢社会白書
https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/zenbun/29pdf_index.html (閲覧日2019年11月30日)
- 2) 厚生労働省：「平成28年国民生活基礎調査」
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/20-21.html> (閲覧日2019年11月30日)
- 3) Erickson, et al: Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *pnas*, 2010.
- 4) Tang K, et al: Exercise-induced VEGF transcriptional activation in brain, lung and skeletal muscle. *Respir Physiol Neurobiol* January 31: 170(1): 16-22, 2010.
- 5) Suzuki M, Miyai I et al, Prefrontal and premotor cortices are involved in adapting walking and running speed on the treadmill. *Neuroimage*, 23, 1020-1026, 2004.
- 6) Ide K, Horn A et al. : Cerebral metabolic response to submaximal exercise. *J Appl Physiol*, 87, 1604-1608, 1999.
- 7) 西端泉：認知症を予防するための体力と身体活



- 動. 川崎市立看護短期大学紀要 21(1), 13-30, 2016.
- 8) 安永明智, 他: 高齢者の認知機能と運動・身体活動の関係. 第25回健康医科学研究助成論文集, 129-136, 2010.
 - 9) Rupp Thomas, Perrey Stephane. : Prefrontal cortex oxygenation and neuromuscular responses to exhaustive exercise. *Eur J Appl Physiol*, 102, 153-163, 2008.
 - 10) Kamijo K, Hayashi Y, Sakai T, Yahiro T, Tanaka K, Nishihira Y. : Acute effects of aerobic exercise on cognitive function in older adults. *Psychol Sci Soc Sci*, 64, 3, 356-363, 2009.
 - 11) 織田恵輔, 他: 運動中の脳血流の増加と注意機能の関係. *体力科学* 61(3), 313-318, 2012.
 - 12) Joe Verghese, et.al: Leisure Activities and the Risk of Dementia in the Elderly. *n engl j med* 348:25, 2003.



Original article

The influences of exercise intensity on cerebral blood flow during exercise

Yuya Okumoto^{1*}, Kenta Shigemori¹

¹ Department of Rehabilitation Sciences, Kansai University of Welfare Sciences

ABSTRACT

This study aimed to investigate the influence of exercise intensity on cerebral blood flow. Oxygenated hemoglobin concentration changes in the frontal lobe during 30%, 50%, and 70% exercise intensities were measured in seven healthy adults for one minute each. Then, based on the change in oxygenated hemoglobin concentration in the frontal lobe during the 30% exercise intensity, the changes in oxygenated hemoglobin concentration during the 50% and the 70% exercise intensities were compared. The results showed that the 70% exercise intensity increased the change in oxygenated hemoglobin concentration in the frontal lobe significantly more than the 50% exercise intensity. This suggests that high-intensity aerobic exercise activates the cerebral blood flow response.

Key words: the frontal lobe, oxygenated hemoglobin concentration, exercise intensity