

[学術論文]

有酸素運動が注意機能に与える影響の検討

The effect of aerobic exercise on attention network

吉田 拓哉・中川 敦子

Takuya YOSHIDA Atsuko NAKAGAWA

Studies in Humanities and Cultures

No. 29

名古屋市立大学大学院人間文化研究科『人間文化研究』抜刷 29号

2018年1月

GRADUATE SCHOOL OF HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES

NAGOYA CITY UNIVERSITY

NAGOYA JAPAN

JANUARY 2018

[学術論文]

有酸素運動が注意機能に与える影響の検討

The effect of aerobic exercise on attention network

吉田 拓哉・中川 敦子

Takuya Yoshida Atsuko Nakagawa

要旨 注意機能は、情動や行動の制御に重要な役割を果たしており、介入によって向上する可能性が示されている。本研究は、中強度の有酸素運動が注意機能にどのような影響を及ぼすか、注意ネットワークテスト（ANT）を用いて検討することを目的とした。研究1では、10分間の有酸素運動の前後でANTを実施したところ、有酸素運動を行なった群の実行ネットワークの効率が運動後に向上した。研究2では、週1回30分の運動プログラムを1か月間実施したが、運動プログラム参加者ANTの成績は、プログラム前後で変化が認められなかった。これらにより、有酸素運動を行うことで、短期的に注意機能による葛藤解決能力が向上する可能性が示唆された。

キーワード：注意機能，注意ネットワークテスト，有酸素運動

1. 問題と目的

実行機能は、目標に向かって注意や行動を制御する認知機能である。自己の情動や行動を実行機能によってコントロールすることは、学業や仕事で成功し、良好な生活を送るために必要な機能である（Diamond, 2013）。実行機能による自己制御は、脳の発達に伴って乳幼児期から成人期にかけて向上していくものであるが、近年、何らかの介入を行うことで、実行機能の可塑性を検討する研究が盛んに行われている。介入法としてとりあげられるのは、コンピュータを用いた注意訓練プログラム（Rueda, Rothbart, McCandliss, Saccomanno & Posner, 2005）やヨガ（Manjunath & Telles, 2001）、マインドフルネス（Flook & Smalley, 2010）など様々であるが、その中でも比較的日常生活の中で取り組みやすい介入法として、有酸素運動に対する関心が高まっている。有酸素運動とは、ウォーキングやサイクリングのように、軽度から中程度の負荷をかけながら長時間行う運動であり、しばしば心肺機能の向上を目的として行われるが、有酸素運動と実行機能との関連がいくつかの研究で示唆されている。

Yanagisawa et al. (2010) は、成人の実験参加者に自転車ペダルこぎ運動の前後にストループ課題を実施した。ストループ課題とは、単語を見てその単語が書かれているインクの色名を答える

課題だが、黄色で書かれた「あか」のように単語と色名が一致しない場合、葛藤を解決しなければならない。このように、強い反応を抑制して、他の反応をする脳の機能を抑制機能といい、実行機能の中心的機能であるとされている。運動を行った群では、運動を行わずに安静状態を維持した群と比べて運動後のストループ課題における反応時間が有意に短縮した。この研究では、課題遂行中に光トポグラフィによって脳機能の計測も行なっており、運動後の課題遂行中に、抑制機能の活動を反映するとされている左前頭前野背外側部の活動が有意に高まることが示された。

紙上・Hillman (2012) は、フランカー課題を用いて、習慣的運動が子どもの認知機能に与える影響を検討した。フランカー課題とは、ターゲット刺激として提示される矢印の向きを判断する課題であり、ターゲット刺激の左右の矢印の向きが不一致な条件 ($\leftarrow\rightarrow\leftarrow$) では、一致条件 ($\rightarrow\rightarrow\rightarrow$) に比べて反応時間が遅延される。7~9歳の子どもの対象に9か月間の放課後運動教室(週5日)を実施し、断続的な有酸素運動やミニゲームなど、子どもの有酸素能力の向上を目的に様々な運動を行わせた。事象関連電位(ERP)により課題中の脳波を計測したところ、運動プログラムに参加した群はしていない群と比較して、プログラム参加後の不一致条件においてP3潜時の短縮が認められた。P3とは、刺激定時後約300msに出現する脳波の成分であり、潜時の短縮は認知処理速度が速くなったことを意味する。つまり、習慣的運動によって有酸素能力が向上した子どもは、フランカー課題の不一致条件でもより活発に抑制機能をはたらかせていたことが示された。しかしながら、フランカー課題の反応時間と正答率については両群の間で差がみられなかった。

このように、有酸素運動と実行機能との関連はおもに生理学や体育学の領域で、ERPなどを用いて検討されている。しかしながら、これらの研究は、有酸素運動による脳活動の変化や認知課題の成績向上の実証に留まっており、具体的なメカニズムについてはあまり検討がされていない。一方、認知神経心理学の領域においては、自己制御のような心的過程をその構成要素まで分解し、それぞれが脳機能とどのように関わるかが明らかにされてきた。その中でも実行機能による自己制御に深く関与するとされているのが注意機能である。

脳科学研究の進歩により、注意(attention)は単に情報を取捨選択するだけでなく、意図的に情動や行動をコントロールしていることが分かってきた。Ruff & Rothbert (1996) は、注意は自己制御というより大きな構造の一部であるとしている。たとえば、学習や仕事を進めるには、周りの雑音や遊びに行きたいという誘惑を抑制し、すべきことに注意を向け続ける必要がある。すなわち、注意をうまく制御することで、目標達成のために適切な行動をとることができるのである。Posner & Petersen (1990) は、注意機能は3つの脳内ネットワークによって遂行されることを示した。3つのネットワークはそれぞれ、覚醒ネットワーク、定位ネットワーク、実行ネットワークであり、それぞれ異なる機能を持ち、独立した脳領域が対応して注意の制御を成し遂げている。覚醒ネットワークは、情報を処理し適切に反応や行動を行うことができる覚醒状態を獲得、維持する役割を持つ。これには、青斑核や中脳網様体に関係している。定位ネットワークは、特定の感覚事象に注意を定位する役割を持つ。上頭頂小葉と側頭頭頂接合部、前頭眼野が深く関係してい

る。関与する神経基盤としては、前部帯状回（anterior cingulate cortex: ACC）、外側前頭前野などである。実行ネットワークは、競合する処理システム間で発生する葛藤を解決し、随意的なコントロールを可能にする。先に述べた例に当てはめれば、実行ネットワークが誘惑を抑制し、覚醒ネットワークと定位ネットワークがすべきことに注意を維持することで、学習や仕事の完了といった目標を達成することができると言える。これらのネットワークの効率の個人差を測定するために考案されたのが、注意ネットワークテスト（Attention Network Test: ANT）である（Fan, McCandless, Sommer, Raz & Posner, 2002）。ANT はフランカー課題を応用した課題で、ターゲット刺激の一致不一致に加えて、ターゲットが現れる前に合図を出すことで、その条件の組み合わせによって、3つの注意ネットワークをそれぞれ分離して検討することが可能である。したがって本研究では、課題に ANT を用いることで、注意機能を3つの神経ネットワークに分離し、それぞれのネットワークが有酸素運動によってどのような影響を受けるか検討することを目的とする。

実行機能や注意機能を支えている脳機能は、乳幼児期から成人期に至る長い期間で少しずつ発達する。そのため、介入の研究では、Manjunath & Telles（2001）や Flook & Smalley（2010）、紙上・Hillman（2012）のように、実験参加者を長期的な介入プログラムに参加させ、時間をかけて脳機能の改善を目指すことが多い。しかしながら、介入法として有酸素運動を取り上げた研究の中には、短期的な介入による実行機能の向上を示唆する研究も存在する（Yanagisawa et al., 2010）。

そこで本研究では、研究1で有酸素運動の前後に ANT を実施することで、注意機能に対する短期的な影響を検討し、有酸素運動と実行注意ネットワークの関連を検討する。Yanagisawa et al.（2010）では、有酸素運動をすることで外側前頭前野が活性化することが示されているため、この領域に対応している実行ネットワークの効率が、運動後に向上することが想定される。そして、研究2で1か月のプログラムとして実験参加者に有酸素運動をさせることで、注意機能に対する介入法としての有酸素運動の具体的な効果について検討を行う。

2. 研究1

方法

1. 実験参加者

週に2日以上、1回30分以上、1年以上継続して運動を行っている場合を「運動習慣あり」とし（厚生労働省, 2013）、これを基準に、運動習慣のない実験参加者を愛知県内の大学生の中から募った。そして男性4名、女性12名の計16名（平均年齢20.63歳、SD=1.41）を対象とし、有酸素運動を行う運動群（n=8）と運動を行わない統制群（n=8）にランダムに振り分けた。実験参加者には、実験終了後、事前に定めた報酬が支払われた

2. 有酸素運動

自転車エルゴメータ（コンビウエルネス社製のエアロバイク420）を用いた中強度のペダリング運動を行った。実験参加者ごとに運動中の心拍数が最大心拍数の50%となるよう調整してペダリング運動を10分間行った。また主観的尺度として、主観的運動強度（rating of perceived exertion: RPE）

尺度の日本語版（小野寺・宮下, 1976）を用い、運動終了直後に口頭による回答を求めた。主観的運動強度尺度とは、その運動に対する「きつい」という感覚の主観的強度を6～20の15段階で判断するものである。この主観的運動強度が11から13程度であれば中強度の運動であるとされる。

3. 注意ネットワークテスト（Attention Network Test: ANT）

注意機能を評価する課題として、ANTを用いる。ANT課題の提示順などを図1に示す。ANTでは、まず画面中央に注視点が400msから1600ms表示される。次に合図として手がかり刺激が100ms提示される。手がかり刺激が消えて400ms後、ターゲット刺激が提示される。ターゲット刺激は右向きか左向きの矢印であり、実験参加者は矢印がどちらを向いているか判別し、できるだけ早く正確にキーを押して反応するように教示される。ターゲット刺激は、実験参加者の反応後または提示から1700ms経過後に消失し、再び注視点が提示される。

手がかり刺激は、提示されない合図なし条件、中央に提示される中央の合図条件、注視点の上下両方に提示される二重の合図条件、注視点の上下どちらかに表示される空間的合図条件のいずれかで提示される。すなわち、合図なし条件では合図なしでターゲットが提示されることとなる。また、空間的合図条件では手がかり刺激とターゲット刺激の空間的位置が必ず一致しており、実験参加者はターゲットの位置を予測することができる。ターゲット刺激は、ターゲット刺激のみ提示される中性（neutral）、周囲に同じ向きの矢印が提示される一致（congruent）、周囲に反対向きの矢印が表示される不一致（incongruent）で提示される。

測定された反応時間から、注意システムの3つのネットワークの効率が求められる。覚醒ネットワークは、二重の合図条件のRTを合図なし条件のRTから引くことで求められる。これは、合図による予告で、覚醒状態が導かれ、処理速度が向上すると考えられるためである。定位ネットワークは、空間的合図条件のRTを中央の合図条件のRTから引いて求められる。これによって、注意が注視点からターゲットに向けられるまでの処理速度の目安が得られる。実行ネットワークは、ターゲット刺激と周囲の矢印が一致する条件のRTを不一致の条件のRTから引いて求められる。不一致の場合、実験参加者は矢印の方向についての葛藤を解決しなければならない。覚醒ネットワークと定位ネットワークでは値が大きいほど、実行ネットワークでは値が小さいほどより高い効率で処理が行われたと言える。

4. 実験手順

実験の前に、全実験参加者に対して研究協力についての説明を実験者が行い、全員から同意を得られたため、本実験への参加を求めた。

実験参加者は、まずANTについての説明を受け、練習試行を24試行行った。その後一度目のANT本試行（pre試行）として、1ブロック96試行の本試行を3ブロック分行い、反応時間（RT）が記録された。練習試行と本試行の間やブロックの間には、実験参加者の意思で自由に休息をとることが可能であった。運動群は、pre試行後に10分間ペダリング運動を行い、直後に二度目のANT本試行（post試行）を実施した。統制群はpre試行後10分間何もせず安静を維持し、ANTのpost試行を実施した。

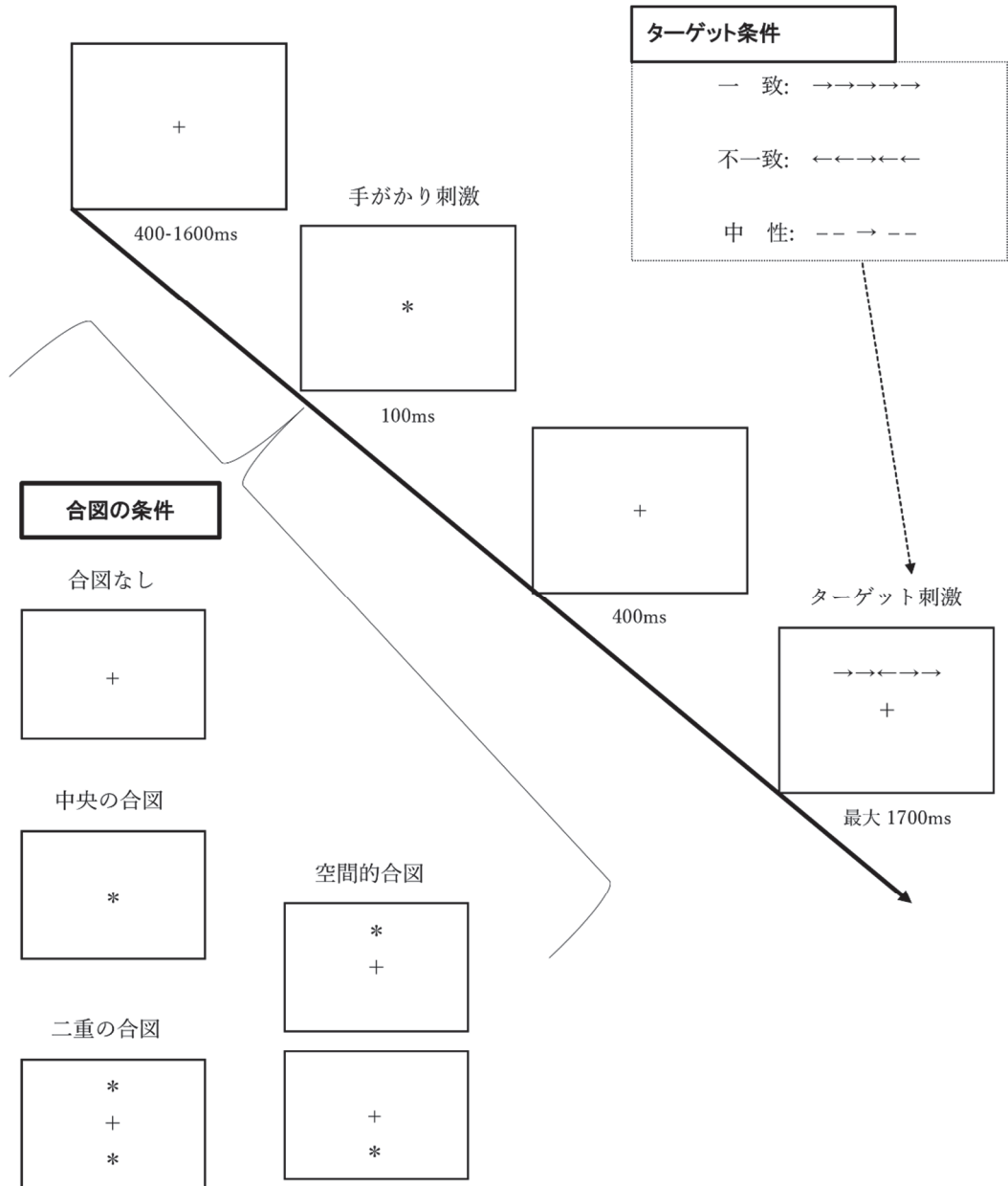


図 1. ANT の図解

結果

(1)運動強度

主観的運動強度尺度の平均値は 12.13 (SD = 1.46) であった。

(2)注意ネットワーク指標

統制群と運動群の ANT の結果を表 1, 2 に示す。ANT によって得られた反応時間 (RT) から、覚醒ネットワーク、定位ネットワーク、実行ネットワークの効率スコアを算出した。その際、ANT を考案した Fan et al. (2002) における ANT の RT の平均値が、400~600msec であるのを考慮し、1000ms 以上の RT を外れ値として除外して計算を行った。3つのネットワークスコアの平均値を表 3 に示す。

(a) 覚醒ネットワーク

時期 (pre, post) × 群 (運動群, 統制群) の 2 要因分散分析を行ったところ、主効果および交互作用は認められなかった (時期: $F(1, 12) = 2.79, n. s.$; 群: $F(1, 12) = 1.74, n. s.$; 時期 × 群: $F(1, 12) = .02, n. s.$) 。

表 1 研究 1 における統制群の反応時間の平均値 (SD)

		合図の条件							
		合図なし		中央		二重		上/下	
一致	pre	499.05	(63.17)	464.99	(66.90)	454.87	(57.28)	436.30	(56.22)
	post	481.55	(46.35)	437.82	(53.70)	429.35	(46.54)	412.58	(32.72)
不一致	pre	578.52	(65.79)	563.91	(54.74)	537.64	(67.64)	507.46	(37.83)
	post	563.89	(51.93)	532.81	(42.48)	513.13	(34.50)	488.99	(33.55)
ニュートラル	pre	490.97	(51.04)	458.81	(48.62)	449.18	(55.32)	419.42	(44.30)
	post	490.49	(42.95)	429.40	(40.71)	430.85	(37.41)	405.47	(23.17)

表 2 研究 1 における運動群の反応時間の平均値 (SD)

		合図の条件							
		合図なし		中央		二重		上/下	
一致	pre	522.77	(65.11)	478.36	(59.40)	457.18	(56.80)	435.79	(53.07)
	post	532.37	(56.91)	470.46	(60.04)	454.77	(36.72)	425.93	(44.81)
不一致	pre	600.94	(62.09)	573.66	(54.41)	562.12	(49.20)	521.03	(55.37)
	post	574.28	(59.95)	545.47	(56.92)	532.91	(51.94)	496.84	(43.10)
ニュートラル	pre	516.10	(58.52)	474.42	(62.09)	459.76	(61.10)	438.62	(51.63)

post 519.44 (41.11) 464.31 (53.57) 447.14 (55.33) 416.39 (34.16)

表3 研究1における各注意ネットワークスコアの平均値 (SD)

		覚醒ネットワーク	定位ネットワーク	実行ネットワーク
統制群	pre	126.86 (56.09)	124.54 (50.52)	332.31 (89.19)
	post	162.61 (56.46)	93.00 (57.49)	337.52 (86.39)
運動群	pre	160.76 (56.27)	131.00 (62.68)	363.65 (80.30)
	post	191.26 (62.24)	141.08 (71.72)	265.98 (24.06)

(b) 定位ネットワーク

時期 (pre, post) × 群 (運動群, 統制群) の2要因分散分析を行ったところ, 主効果および交互作用は認められなかった (時期: $F(1, 12) = .51, n.s.$; 群: $F(1, 12) = .89, n.s.$; 時期×群: $F(1, 12) = 1.91, n.s.$) 。

(c) 実行ネットワーク

時期 (pre, post) × 群 (運動群, 統制群) の2要因分散分析を行ったところ, 時期の主効果 ($F(1, 12) = 10.70, p < .01$) と時期×群の交互作用 ($F(1, 12) = 13.25, p < .01$) が有意であった。群の主効果は認められなかった ($F(1, 12) = .29, n.s.$)。さらに, 時期×群の交互作用について下位検定を行った。その結果, 運動群の post 成績が pre 成績よりも高かった ($p < .01$)。

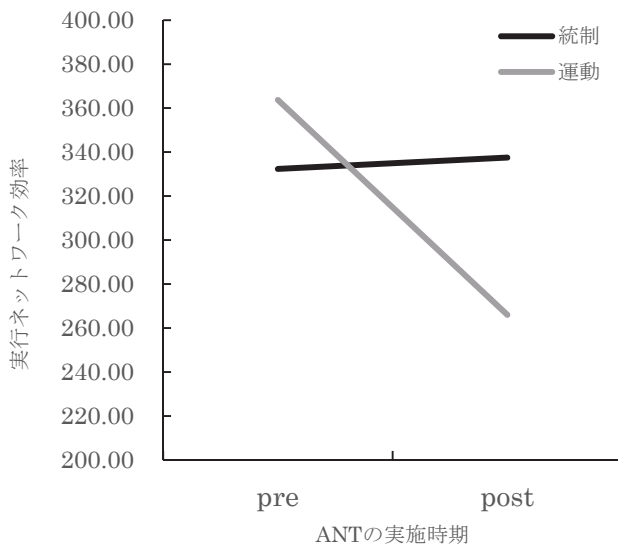


図2 条件ごとの実行ネットワークスコアの比較。数値が小さいほど効率が低いことが示されている。

考察

最も重要な結果は、運動群の実行ネットワーク効率が、運動後に向上したことである。このような影響は統制群では認められなかった。したがって、一過性の有酸素運動が実行ネットワークの機能を促進する介入法として有効であることが示された。これまでも、一過性の有酸素運動によって、抑制による葛藤の解決を必要とする課題の成績が改善された例は報告されているが (Yanagisawa et al., 2010), 本実験により、葛藤解決の改善に実行ネットワークの機能向上が関与している可能性が明らかになった。ペダリング運動のように、筋肉を動かす運動を続けると、筋肉の痛みを抑えるために脳内でベータエンドルフィンが生産されるが、ベータエンドルフィンはドーパミンを抑制する物質を抑制することで、結果的にドーパミンの放出量を増やす。ドーパミンは実行ネットワークを構成する前部帯状回や外側前頭前野で作用する神経伝達物質である。したがって、有酸素運動によってドーパミン量が増加したことで、運動後の実行ネットワークが有利に機能した可能性が考えられる。

実行ネットワークで有酸素運動の影響が示唆された一方で、覚醒ネットワークと定位ネットワークには影響が認められなかった。その理由としては、有酸素運動によって覚醒と定位のネットワークを構成する脳領域が十分に活性化しなかった可能性が考えられる。習熟度の高い運動は、いちいち手順を考える必要がないため、大脳皮質ではなく小脳によって動作に必要な信号が発信される (永雄 2015)。本研究で用いたペダリング運動も、習熟度が高かったため、注意の維持や切り替えを行う必要がなく、覚醒ネットワークと定位ネットワークの活性化を促さなかった可能性が考えられる。また、Chang, Pesce, Chiang, Kuo & Fong (2015) は、大学生のアマチュアバスケットボール選手に、有酸素運動の前後で ANT を実施し、運動後の課題遂行中に、覚醒ネットワークと実行ネットワークに関わる領域で P3 振幅が大きくなったことを示したが、課題成績の向上は、葛藤解決の条件においてのみ認められた。実行ネットワークによる葛藤解決は、他の 2 つのネットワークよりも複雑な処理を必要とするが、その分有酸素運動による脳の活性化の恩恵をより受けやすいと考えられる。

研究 1 では、有酸素運動は注意機能のなかでも実行ネットワークの機能を向上させることが実証されたが、その影響はあくまで短期的なものに過ぎない。有酸素運動の直後に自己制御機能が向上しても、それが持続しなければ、目標を達成するための行動をとり続けることは困難である。たとえ有酸素運動の直後でなくても、情動や行動のコントロールに成功するためには、長期的な介入によって注意機能を根本的に改善していく必要がある。そこで研究 2 では、1 か月の有酸素運動プログラムを実施することで、習慣的運動と注意機能との関連について検討を進める。

3. 研究 2

方法

1. 実験参加者

週に 2 日以上、1 回 30 分以上、1 年以上継続して運動を行っている場合を「運動習慣あり」とし（厚生労働省，2013），これを基準に、運動習慣のない実験参加者を愛知県内の大学生の中から募った。そして男性 3 名、女性 11 名の計 14 名（平均年齢 19.93 歳，SD = 1.27）を対象とし、有酸素運動を行う運動群（n = 8）と運動を行わない統制群（n = 8）にランダムに振り分けた。実験参加者には、実験終了後、事前に定めた報酬が支払われた

2. 運動プログラム

週 1 回、全 4 回の有酸素運動プログラムを実施した。実験参加者には、基本的には毎週同じ曜日にプログラムに参加することを求め、都合がつかなかった場合も、最大で 10 日間以上の空白期間は空けずにプログラムに参加してもらった。運動の内容は、研究 1 で実施したのと同じ、自転車エルゴメータを用いたペダリング運動であった。運動時間は厚生労働省（2013）の運動習慣の定義に基づき、1 回 30 分とした。運動強度は研究 1 と同様に、最大心拍数の 50%となるよう調整し、中強度の有酸素運動を行った。また、毎回運動終了直後に小野寺・宮下（1976）の主観的運動強度尺度の日本語版への回答を口頭によって求めた。

3. 実験手順

実験の前に、全実験参加者に対して研究協力についての説明を実験者が行い、同意を得た上で実験への参加を求めた。運動群は、初日に ANT の説明を受け、研究 1 と同様に ANT の pre 試行を行った。その後、週 1 回運動プログラムに参加を求め、最終日のペダリング運動が終了した後、ANT の post 試行を実施した。研究 1 ではペダリング運動の直後に ANT を行ったことで、一過性の運動による影響が示された。したがって、研究 2 では、運動による短期的な影響を排除するために、最終日のペダリングの後 20 分間安静を維持した上で ANT による測定を行った。統制群は、運動群と同様に ANT の pre 試行を行い、3 週間後に ANT の post 試行を行った。

結果

(1) 運動強度

運動プログラムに参加した全員が、10~15 の範囲で主観的な運動強度を報告した。各回の主観的運動強度の平均値を表 3.1 に示す。

表 4 運動プログラム各回の主観的運動強度の平均値（SD）

	第 1 回	第 2 回	第 3 回	第 4 回
主観的運動強度	12.06 (1.69)	12.75 (1.06)	12.44 (0.89)	11.88 (0.96)

(2) 注意ネットワーク指標

統制群と運動群のANTの結果を表5, 6に示す。ANTによって得られた反応時間(RT)から、覚醒ネットワーク、定位ネットワーク、実行ネットワークの効率スコアを算出した。その際、研究1と同様、Fan et al. (2002)の結果から、1000ms以上のRTを外れ値として除外して計算を行った。3つのネットワークスコアの平均値を表7に示す。

表5 研究2における統制群の反応時間の平均値(SD)

		合図の条件							
		合図なし		中央		二重		上/下	
一致	pre	525.71	(59.88)	473.04	(56.73)	465.73	(73.64)	431.02	(42.19)
	post	487.77	(47.76)	434.85	(40.56)	430.32	(49.18)	401.02	(48.80)
不一致	pre	617.90	(73.45)	587.06	(75.87)	576.95	(59.63)	530.37	(72.67)
	post	573.85	(59.44)	540.31	(62.15)	533.60	(59.84)	469.23	(44.87)
ニュートラル	pre	515.77	(60.72)	467.80	(45.45)	464.64	(46.13)	436.63	(46.84)
	post	500.97	(61.95)	435.26	(50.13)	430.02	(46.21)	404.71	(54.47)

表6 研究2における運動群の反応時間の平均値(SD)

		合図の条件							
		合図なし		中央		二重		上/下	
一致	pre	479.45	(53.36)	448.85	(58.34)	442.29	(43.56)	407.57	(40.84)
	post	521.97	(77.52)	482.89	(75.07)	469.81	(55.44)	439.58	(57.80)
不一致	pre	561.52	(80.42)	553.76	(84.74)	540.12	(81.14)	504.40	(60.13)
	post	604.98	(85.50)	583.43	(85.55)	559.92	(74.67)	533.59	(83.27)
ニュートラル	pre	471.21	(53.15)	450.82	(68.12)	441.52	(49.96)	417.55	(46.19)
	post	511.04	(69.99)	474.12	(71.20)	464.49	(57.67)	451.19	(73.90)

表7 研究2における各注意ネットワークスコアの平均値(SD)

		覚醒ネットワーク		定位ネットワーク		実行ネットワーク	
統制群	pre	152.05	(63.20)	129.87	(44.72)	416.78	(169.74)
	post	168.65	(50.03)	135.45	(65.94)	363.04	(88.53)
運動群	pre	88.26	(29.46)	123.91	(95.48)	381.64	(109.21)
	post	143.77	(60.55)	116.08	(83.51)	367.68	(96.63)

(a) 覚醒ネットワーク

時期 (pre, post) × 群 (運動群, 統制群) の 2 要因分散分析を行ったところ, 時期の主効果と群の主効果に有意傾向がみられたが (時期: $F(1, 12) = 4.19, p < .10$; 群: $F(1, 12) = 4.27, p < .10$), 時期 × 群の交互作用は認められなかった ($F(1, 12) = .02, n. s.$)。

(b) 定位ネットワーク

時期 (pre, post) × 群 (運動群, 統制群) の 2 要因分散分析を行った。その結果, 主効果および交互作用は認められなかった (時期: $F(1, 12) = .002, n. s.$; 群: $F(1, 12) = .01, n. s.$; 時期 × 群: $F(1, 12) = .49, n. s.$)。

(c) 実行ネットワーク

時期 (pre, post) × 群 (運動群, 統制群) の 2 要因分散分析を行った。その結果, 主効果および交互作用は認められなかった (時期: $F(1, 12) = .79, n. s.$; 群: $F(1, 12) = .82, n. s.$; 時期 × 群: $F(1, 12) = 1.95, n. s.$)。

考察

1 か月の運動プログラムによる注意機能への影響は認められなかった。その理由として考えられるのは、本研究の運動プログラムでは、有酸素運動による脳機能の改善が起こるのに充分でなかった可能性があるということである。今回、実験参加者への負担や実験者自身の時間的制約などの理由で、大規模な運動プログラムを組むことができなかった。

しかしながら、学業や仕事に追われる成人にとって、紙上・Hillman (2012) が実施したような、多量な時間を要する運動プログラムに参加することは困難である。他の様々な種類の運動についても研究が進み、より効率良く注意機能を向上する運動が同定されることが期待される。他の運動に関する興味深い研究例として、Vestberg, Gustafson, Maurex, Ingvar & Petrovic (2012) は、実行機能を測定するテストバッテリーを用いてサッカー選手の実行機能を測定した。その結果、サッカー選手は選手でない実験参加者よりも高い成績を記録し、さらにトップリーグの選手の成績は下位リーグの選手を上回っていた。はたしてこの結果が遺伝的なものか訓練によって獲得されたものかは現状分かっていないが、サッカーは試合中常に注意の対象を切り替えながら適切な行動を選択する必要がある、自転車エルゴメータによるペダリング運動と比較して遥かに注意機能を活用するスポーツであると予測される。研究 1 でも触れたように、ペダリング運動は習熟度の高い運動であるため、大脳皮質による制御を必要としないと考えられている (永雄 2015)。その一方でサッカーのような複雑な運動は、大脳皮質による動作の制御を必要とするため、注意機能の向上により効果的であるかもしれない。ただし、脳の特定の領域を繰り返し使えば、その領域の活動が向上するわけではないということには留意したうえで、今後の検証を行ってゆく必要がある。

4. 総合考察

本研究は、有酸素運動が注意機能に与える影響の検討を目的として行った。研究1では仮説の通り、一過性の有酸素運動の後に実行ネットワークの効率が高まることが支持された。しかしながら、研究1と同様の運動を行ったにもかかわらず、研究2では注意機能に対する有酸素運動の影響が認められなかった。この結果は研究1における有酸素運動による実行ネットワークの向上は、非常に短期的で持続しない可能性を示している。先行研究でも一過性の有酸素運動による抑制課題の成績向上が報告されているにもかかわらず (Hillman, Snook & Jerome, 2003), 9か月 にわたる習慣的な運動介入では抑制課題のパフォーマンスへの直接的な関与は示されなかった (紙上・Hillman, 2012)。したがって今のところは、有酸素運動は短期的に抑制機能の活性化を支持するが、習慣として有酸素運動を行っても抑制機能の大きな改善は見られないと考えるべきであろう。しかしながら、有酸素運動を介入法として実行機能への影響を検討した縦断的研究は少ないため、まだまだ議論の余地は大きい研究分野であると考えられる。

近年の研究には、有酸素運動と高齢者の認知能力との関連に言及しているものも存在する。Colcomba et al. (2004) は、有酸素運動能力の高い高齢者や有酸素運動の訓練をした高齢者は、そうでない高齢者に比べて、葛藤解決課題中に前頭前皮質や頭頂皮質、前部帯状回の活動が活発であることを示した。これらの脳領域は、注意ネットワークのうちの実行ネットワークに大きく関わる領域であり、一般的に脳のはたらきが低下する高齢者においても、有酸素運動によって注意機能の維持あるいは向上が見込めることが示唆されている。本研究の対象者は健康な成人であったが、様々な年齢層において、有酸素運動を介入法として扱った脳の可塑性を探る研究が行われることが期待される。

また、本研究では実験参加者の確保が難しく断念したが、注意機能の個人差によって有酸素運動の影響を検討することも考えられる。たとえば、実行注意の気質的個人差を測るエフォートフル・コントロール尺度 (Rothbart, Ahadi, Hershey & Fisher, 2001) を使えば、エフォートフル・コントロールの高低によって、有酸素運動による介入効果に違いがあるか調べることが可能である。本研究において、有酸素運動が注意機能の中でも特に実行ネットワークの機能を向上させることが示唆されたため、今後、介入法としてより効果的に有酸素運動を行うために、様々な角度から検討を進めることが期待される。

謝辞

本研究の実験参加者を募集するにあたって、名古屋柳城短期大学の荻原はるみ先生にご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- Chang, Y. K., Pesce, C., Chiang, Y. T., Kuo, C. Y., & Fong, D. (2015) Antecedent acute cycling exercise affects attention control: an ERP study using attention network test. *Front. Hum. Neurosci.* 9156.

- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scaif, P., McAuley, E., Cohen, N. J., Webb, A., Jerome, G. J., Marquez, D. X., & Elavsky, S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 101(9), 3316-21.
- Diamond, A., (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, M., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 340-347.
- Flook, L., & Smalley, S. L. (2011). Effects of mindful awareness practices on executive functions in elementary school Children. *Journal of Applied School Psychology*, 26, 70-95.
- Hillman, C. H., Snook, E. M., & Jerome, G. J. (2003). Acute cardiovascular exercise and executive control function. *International Journal of Psychophysiology*, 48, 307-314.
- 紙上敬太・Hillman, C. H. (2012). 習慣的運動が子どもの認知機能に与える影響—健康脳の育て方—健康医科学研究助成論文集, 27, 1-10.
- 厚生労働省 (2013). 平成 24 年国民健康・栄養調査結果の概要 Retrieved from http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/000_0032074.html (2013/12/19)
- Manjunath, N. K., & Telles, S. (2001). Improved performance in the Tower of London test following yoga. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 45(3), 351-354.
- 永雄総一 (2015). 小脳による運動学習機構 理学療法学 42(8), 836-837.
- 小野寺孝一・宮下充正 (1976). 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性—Rating of perceived exertion の観点から— 体育学研究 21(4), 191-203.
- Posner, M. I. & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B. D., Saccomanno, L., & Posner, M. I. (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 102, 14931-14936.
- Rothbart, M. K., Ahadi, S. A., Hershey, K. L., & Fisher, P. (2001). Investigation of temperament at three to seven years: The Children's Behavior Questionnaire. *Child Development*, 72, 1394-1408.
- Ruff, H. A., & Rothbart, M. K. (1996). Attention in early development: Themes and variations. *New York: Oxford University Press*.
- Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PLoS One*, 7(4), e34731. doi: 10.1371/journal.pone.0034731
- Yanagisawa, H., Dan, I., Tsuzuki, D., Kato, M., Okamoto, M., Kyutoku, Y., & Soya, H. (2010). Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *NeuroImage*, 50, 1702-1710.