

2008年度 修士論文

運動が認知機能へ及ぼす影響

Effects of exercise on cognitive function

早稲田大学 大学院人間科学研究科

スポーツ科学専攻 スポーツ医科学研究領域

5007A041-9

寺本 圭子

Teramoto, Keiko

研究指導教員： 内田 直 教授

運動が認知機能へ及ぼす影響 Effects of exercise on cognitive function

スポーツ科学研究領域 5007A041-9 寺本 圭子
指導教員 内田 直 教授

I. 序論

運動経験者は、運動後、頭がスッキリする感覚や気持ちが晴れやかになる感覚を一度は体験したことがあると思う。この時に認知機能がどのように変化しているかを調べた先行研究は数多くある。これまでの研究では、中強度有酸素運動直後には認知機能向上(P3 振幅の増大)が認められるが、低強度あるいは高強度の運動直後には認知機能にポジティブな影響がみられないことが報告されている (Nakamura et al. 1999 ; Kamijo et al. 2004) 。その他にも運動強度や運動時間の組み合わせによって、運動後の認知機能の改善や低下が示される (Hillman et al. 2003) など、様々な結果が得られている。しかし、これらの研究では主に運動直後の認知機能のみを調べており、その後の経時変化について検討されていない。そこで、本研究では運動強度を中強度に設定し、運動後の認知機能の経時変化を明らかにすることを目的とした。また、課題の難易度の違いによって脳内情報処理過程に対する運動の影響が異なるという先行研究 (Kamijo et al. 2007) を参考に、本研究では、Color word stroop test、Go/no-go test、Wisconsin card sorting test の3種類の難易度の異なる視覚的認知課題を用いて認知機能を検討した。

II. 方法

被験者は、週 3 日以上運動習慣がないこと、喫煙習慣がないこと、普段の睡眠状況が朝型(朝型夜型スケールによる)であること、過去に精神疾患・循環器疾患の既往歴がないことの条件に当てはまる健康な男子大学生 10 名を対象とした。被験者の平均年齢は 23 ± 2.4 歳であった。すべての被験者に対して、事前に実験の目的、方法などを詳細に説明し、実験参加の同意を得た。

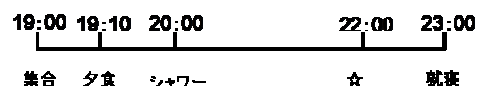
本実験は、10 名の被験者を 2 人 1 組とし、2008 年 9 月 11 日～2008 年 10 月 24 日の期間、計 5 回実施した。被験者は、運動条件(60% VO_{2max} の自転車こぎを 35 分間、視覚的認知課題)と安静条件(運動なし、視覚的認知課題のみ)を Fig.1 に示したとおり行った。各条件は視覚的認知課題に対する慣れの影響や、運動による疲労を考慮し、1 週間以上の間隔をあけて実施した。被験者は、実験開始 1 週間前に最大酸素摂取量の測定および視覚的認知課題の練習を行った。その日から実験当日まで運動をしないことを指示し(自転車通学

も含む)、身体活動量を測定する為にアクチウォッチ(フジ・レスピロニクス社製 アクチウォッチ AWL)を非利き手に装着、身体活動日誌を記入してもらった。また、測定前夜からカフェイン・アルコールの摂取を禁止した。測定前夜、被験者は 19 時に早稲田大学所沢キャンパスフロンティアリサーチセンターに集合し、22 時に視覚的認知課題 1 回目を実施、23 時に就寝した。測定当日は、6 時に起床し、6 時 30 分に視覚的認知課題 2 回目を実施、7 時に運動もしくは安静を開始した。運動条件では、自転車エルゴメーター(COMBI WELLNESS 社製 エアロバイク 75XL II)を使用した。一方、安静条件では、運動条件と同じ時間、座位で安静に過ごした。運動・安静の前後に指先から少量の血液を採血し、血中乳酸値(ARKRAY 社製 Lactate Pro)と血糖値(NIPRO 社製 FreeStyle)を測定した。運動もしくは安静終了後 5 分以内に視覚的認知課題 3 回目を実施し、その後 3 時間ごとに視覚的認知課題を行った。また視覚的認知課題前には、体温、血圧、心拍、VAS(眠気・疲労)を測定した。実験中の食事内容を統一するため、すべての食事を検者が用意した。実験環境は 25℃に設定した。測定前夜、当日のスケジュールを Fig.2、Fig.3 に示す。

統計処理には二元配置分散分析を行い、交互作用が認められたものに関しては、条件ごとに時間を要因とした一元配置分散分析を用いて多重比較検定を行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。ソフトは SPSS Ver.15 を使用した。



Fig.1 実験スケジュール(全体)



☆: 体温・血圧・心拍・VAS 測定、視覚的認知課題

Fig.2 実験スケジュール(測定日前夜)



Fig.3 実験スケジュール（測定日）

III. 結果

血中乳酸値、血糖値、体温、心拍、VAS（眠気・疲労）において運動条件と安静条件の間で有意な差がみられた。視覚的認知課題については Color word stroop test の課題遂行時間と正解時反応時間に、両条件とも有意な短縮がみられた ($p < 0.05$) (Fig.4,5)。また、条件間で運動条件の方が短縮したという有意傾向がみられた (Fig.4,5)。しかし、Color word stroop test の課題遂行時間と正解時反応時間に運動の影響を示す持続的な変化はみられなかった (Fig.6,7)。Go / no - go test 及び Wisconsin card sorting test については、運動による一過性の影響及び持続的な変化はみられなかった。

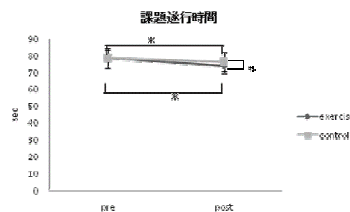


Fig.4 課題遂行時間（運動・安静前後）

*: $p < 0.05$ #: $p = 0.087$

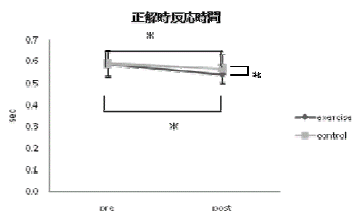


Fig.5 正解時反応時間（運動・安静前後）

*: $p < 0.05$ #: $p = 0.071$

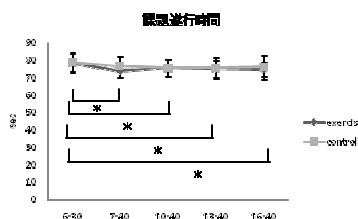


Fig.6 課題遂行時間（経時変化） *: $p < 0.05$

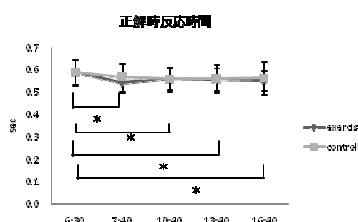


Fig.7 正解時反応時間（経時変化） *: $p < 0.05$

IV. 考察

本実験では、早朝に 30 分の中強度有酸素運動を行ったとき、認知機能にどのような変化が生じるのかを 9 時間にわたり、3 種類の視覚的認知課題を用いて検討した。30 分の中強度有酸素運動直後、Color word stroop test の課題遂行時間と正解時反応時間の短縮が安静条件よりも大きい傾向がみられた。従って、先述した先行研究の結果 (Nakamura et al. 1999 ; Kamijo et al. 2004) と同様に、30 分の中強度有酸素運動を行うことによって認知機能が改善される傾向が示されたと考えられた。しかし、運動による一過性の影響がみられた Color word stroop test の課題遂行時間と正解時反応時間について、運動の影響を示す持続的な変化はみられなかった。このことから早朝に行う 30 分の中強度有酸素運動は、認知機能に一過性の影響を与えるが、持続的な影響は与えないと考えられた。また、課題難易度の高い Color word stroop test では、運動後の変化がみられたが、その他の課題ではみられなかった。このことから、30 分の中強度有酸素運動の影響を検討するために Go / no - go test 及び Wisconsin card sorting test は適さないと考えられた。

V. 結語

本実験の結果から、30 分の中強度有酸素運動は認知機能に一過性の影響を与えること、また、運動の効果は持続しないことが明らかになった。従って、早朝に行う 30 分の中強度有酸素運動は、認知機能に一過性の影響を与えるため、一時的に気分が良くなり、頭がスッキリする感覚が得られるかもしれないが、それは持続しないと考えられた。

私たちの日常生活において早朝に 30 分の中強度有酸素運動を行うことは、一時的に気分が良くなり、集中力が増すという現象については期待できるが、認知機能そのものを向上させるということに効果はなく、仕事能率が上がるという期待や、持続的に良い気分を維持できるということを証明する結果にはいたらなかった。しかし、運動を実施するタイミングを変えたり、習慣的にこの運動を行ったり、運動内容を変化させることによって、私たちの日常生活に好影響を及ぼす結果が得られる可能性はある。今後、これらの点について研究を続け、運動の有益性をより明らかにしていきたい。

目次

第1章 緒言	1
第1節 認知機能	2
第2節 認知機能の評価方法	4
第3節 視覚的認知課題	6
第4節 運動と認知機能	9
第5節 認知機能の日内変動	14
第6節 本研究の特徴と目的	15
 第2章 方法	 16
第1節 対象	16
第2節 実験手順	17
第3節 運動負荷	21
第4節 視覚的認知課題	23
第5節 その他の測定項目	26
第6節 統計処理	27
 第3章 結果	 28
第1節 運動	28
第2節 体温・心拍・VAS	32
第3節 視覚的認知課題遂行能力の急性運動効果	37
第4節 視覚的認知課題遂行能力の経時変化	48
 第4章 考察	 59
第1節 運動の認知機能に対する急性効果の評価	59
第2節 運動の認知機能に対する経時変化の評価	62
 第5章 結論	 64
第6章 謝辞	66
参考文献	67

第 1 章 緒言

最近、テレビや本などの多くの場面で『脳』という語を目にするようになった。脳機能を活性化させる方法や、脳機能を低下させてしまう事例など、様々な報道がされている。これほどにも、脳機能に注目されるようになったのは、高齢社会になり老人性認知症が増加したことや、ストレスによる社会人のうつ病の増加、また学校現場においてキレやすい子供が増加したという時代背景が理由の一つであると思われる。いずれにしても、今まで複雑難解で敬遠されていた脳機能がメディアを通して私たちの身近な言葉の一つになったように感じる。私自身、脳機能について注目したのは、ある記事を読んだことがきっかけであった。「運動をすると脳が活性化する」といった内容であった（内田.2006）。確かに、運動をした時には頭がすっきりしたり、気持ちが晴れやかになるという感覚は、運動をしたことのある人は誰もが一度は経験したことがあるだろう。この時、脳ではどのような変化が起きているのであろうか。気持ちや感情を司る認知機能はどのような変化をしているのか。一般的には運動は身体に良いとされているが、それは認知機能にとっても同じであるのか。運動が認知機能に与える影響はどの程度持続するのか。そういった様々な疑問を抱いた。興味を持ったきっかけは、たった一つの記事であったが、運動が認知機能に何らかの影響を及ぼすということが明らかになれば、日本を支える社会人・若者、そして高齢者にも認知機能を最大限有効利用するための運動処方を示せるのではないかと考えた。このような背景により本研究を始めることにした。

第 1 節 認知機能

認知機能とは人間が内的環境・外的環境のある事実・事象を認識していく過程のことをいう。感覚器における知覚と、それを記憶し知識として蓄え、記憶された事象を合成して様々な問題を解決したり、物事の理由づけを行ったり、言語を話したりといった一連の情報処理を行っている。そして、この過程には記憶・判断・注意といった多くの能力が関わっている。すなわち認知機能は日常生活に密接に関係し、ヒトにとって非常に重要な機能である。

また、認知機能の要素についてさらに細かく着目してみる。情報は、感覚器官を通して視覚、聴覚、身体感覚、嗅覚、味覚の刺激が脳に入ってくる。嗅覚と視覚の刺激は前脳から、聴覚と味覚の刺激は後脳から、身体知覚は後脳と髄脳から中枢神経系内に入り、その感覚性ニューロンを興奮させることから、認知機能の最初のステップが始まるのである。興奮活動の主たる流れは、脳内を上行して前脳レベルの上位中枢にまで達するものと、後脳レベルの下位中枢に向かうものとに分かれる。前者が脳の認知機能に、後者は小脳の運動機能に関連しているものと考えられている。嗅覚系を含めてすべての感覚系の刺激・興奮は視床核を経由して脳に至り、そこでそれぞれ特定の皮質感覚野に伝えられる。この伝達様式は、個別の感覚が一般に模式的に考えられているように、直列的に第一次、第二次の皮質領野へとすべての興奮が伝わるのではなく、皮質への入力は並列的になっている。すなわち、それぞれの皮質感覚野は視床皮質繊維が終止する異なる複数の領域をもっているのである。大脳皮質のうち、感覚野および運動野としてその機能が末梢刺激の知覚あ

るいは効果器への作用と対応する領域はむしろ小さく、大脳皮質には非常に大きな皮質連合野と呼ばれる高度な情報処理機能を有する領域が、高等動物ほど発達している。上記の皮質感覚野からは皮質連合野へ連合繊維が送られている。感覚と知覚とを、どちらも刺激が感覚器官へ直接に働きかけて発生する。この両者を区別すると、外界の事物または現象の個別的で要素的な性質が反映された映像が「感覚」であるのに対して、これらの感覚を基礎にしながら、体験される諸感覚が孤立したものでなく総合的に意味のあるものとして反映されたものが「知覚」である。さらに、知覚と認知の関係について、現時点で知覚している対象の知覚像を、記憶している一般的表象と照合し、判断することを「認知」と言う。これらの事象が大脳皮質の感覚野および連合野で起こるのである。大脳皮質連合野には、前頭前野と後連合野があり、後連合野はさらに頭頂連合野、後頭連合野および側頭連合野に分けられる。各々の感覚皮質野と皮質連合野との間およびこれら複数の皮質連合野間の結合様式はたいへん複雑である。いわゆる大脳の高次機能といわれるものは、神経回路網の上に成立する興奮伝達ないし神経活動の総合的な所産であると示唆されている（川村光毅.1993）。

第 2 節 認知機能の評価方法

認知機能の評価する際にもっとも多く使用されている方法は、行動指標を用いた方法である。身体運動と認知機能の関係を検討した研究では、古くから視覚的認知課題を行った際の反応時間や正答率などの行動指標が用いられてきた。行動指標は簡易に測定できるという大きな利点がある。しかしその反面、様々な末梢要因を含み上位中枢における認知処理過程のみを検討するには限界がある。

Davranche et al. (2005) は従来の行動指標に加えて、刺激の提示から筋電図出現までの時間を測定する筋電図反応時間を用い、筋活動の開始から実際の運動開始までの時間 (motor time) を除いて検討できる分だけ、中枢性の要因を区分して評価する方法を用いている。しかし、筋電図反応時間もあくまで最終的に出力された結果であり、それに要した時間からヒトの脳内で進行している認知処理過程について分離しているにすぎない。このため、認知処理過程の要因と反応処理過程の要因を明確に分離することができず、研究間の矛盾する見解につながっていると考えられている (紙上,2008)。

また、Hillman et al. (2002) や Kamijo et al. (2007) は事象関連電位を用いて認知・脳機能を直接評価する研究も数多く行っている。事象関連電位は、何らかの事象 (光・音・自発的な運動や、これらに関連したタスクなど) に関連して一過性に生じる脳電位である。事象関連電位は、いくつかの振れをもった波のような形状をしており、それらの振れは成分として分離され、それぞれの成分が別々の脳内活動 (感覚処理・認知処理・運動処理) に対応していると仮定されている。つまり、事象関連

電位から行動指標のみでは、推測することが難しい身体が脳内のどの処理過程に影響を及ぼすのかを明らかにすることができるとされている。

しかし、事象関連電位の測定は、加算平均法を用いて測定されるので 1 回限りの事象に対しては対応できないことや脳以外から発生する電位の混入を防ぐために参加者の動きを制限しなければならないことなどの短所が挙げられる（紙上.2005）。

こうして見ると、それぞれの測定方法が一丁両端であるのがよく分かる。そこで、本実験では、先行研究で事象関連電位によって評価されたことのある視覚的認知課題を使用し、簡易に測定できる行動指標によって運動効果を評価することにした。

第 3 節 視覚的認知課題

前節で説明したように認知機能を測定する方法は数多くある。本節では、本実験で用いた行動指標をもとに認知機能を評価する視覚的認知課題について記す。

(1) Color word stroop test

Color word stroop test は、John Ridley Stroop (1935) が発見したストループ効果を利用した課題である。ストループ効果とは、注意・切り替えに関する機能、つまり情報処理過程における視覚情報（色）と言語情報（文字）の間に干渉が起き、発音や指摘をする場合に妨害が起こるといえるものである。例えば、色単語と色単語自体の色が不一致のとき、色単語と色単語自体の色が一致しているときに比べて反応が遅くなるということである。被験者は、色と文字の違いに惑わされずに色を答え、それを一定数繰り返す。検者は、被験者の回答にかかった合計時間（課題遂行時間）、刺激に対する反応時間（正解時・誤反応時）、誤反応数等を評価する。

この課題中に活性化される脳部位は、山本ら (2007) によって左前頭前野であることが明らかにされている。また、Color word stroop test は難易度の高い課題で、テスト - 再テストによる尺度の安定性があるとされ、信頼性は種々の研究によって示されている。

(2) Go / no - go test

Go / no-go test は、ロシアのノーベル賞科学者パブロフが最初に開発した課題である。自己制御能力を調査するため幅広く使われている。「青い丸が出たらボタンを押し、赤い丸が出たらボタンを押さないで下さい」という指示を被験者に与え、ボタン押しの反応 (go response) とボタンを押さない反応 (no-go response) をさせ課題の選択を行わせる。検者は、被験者の刺激に対する反応時間 (正解時)、反応時間の SD、誤反応率を評価する。

この課題は、前頭連合野の統合機能を反映し、特に no- go 刺激に対する反応は前頭葉の主たる機能の一つである制御機能を反映すると考えられている。渡邊 (2003) は、事象関連 f-MRI によって、no-go 刺激時は両側前頭回、左背側運動前野、左頭頂間溝後部の皮質、右後頭側頭葉が関与していることを示唆している。難易度は先述した Color word stroop test よりも易しいとされ、視覚的認知課題全体の中でも比較的容易である課題とされている。

(3) Wisconsin card sorting test

Wisconsin card sorting test (Grant& Berg.1948;Heaton.1981) は、仮説生成と反応切り替え機能のためにしばしば使用されている課題である。赤・緑・黄・青の 1~4 個の三角形、星型、十字型、丸からなる図形のカードを示しながら、被験者の反応をみる課題で、検者は被験者に対して

色・形・数の3つの分類カテゴリーのいずれかに従って1枚ずつカードを示す。被験者は、それがどのカテゴリーに属するのかを自分自身で類推し、反応カードを示す。検者は、検者の分類カテゴリーと被験者のそれとの一致、不一致のみを答え、被験者は、検者の正否の返答のみを手がかりとして、検者の考えている分類カテゴリーを推測し4枚のカードのいずれかを選択する。検者は、被験者の連続正答が決められた数に達したら、被験者に予告なしに分類カテゴリーを変更する。これを一定回数続ける。検者は、被験者によって達成された分類カテゴリー数、誤反応数、保続性誤反応数によって評価する。

船橋 (2005) は、**Wisconsin card sorting test** の実行にはワーキングメモリが不可欠であり、前頭連合野がワーキングメモリに密接に関わっていることを示唆している。視覚的認知課題の中でも難易度の高い課題である。

第 4 節 運動と認知機能

運動は、種類、頻度、継続時間、強度、漸進性等を変えることによって身体に様々な影響を及ぼす。それは認知機能に対しても類似した知見が報告されており、長期的な運動を習慣的に行うことによって加齢に伴う認知機能の衰退を抑制できる (Hatta et al. 2005) ことや習慣的運動は作業記憶の向上に貢献する (Themanson et al. 2005) という報告等、運動と認知機能に関する先行研究は数多く行われている。

American College of Sports Medicine (ACSM) において、運動は有酸素運動と無酸素運動に大別されている。有酸素運動は、持続的で律動的な運動であり、心血管疾患、糖尿病、高血圧、肥満などの慢性疾患の治療・予防効果が数多く証明されている。また、強度の調節が比較的容易であり、かなり低い強度から高強度まで処方が可能である。そこで、身体に良いとされている有酸素運動に運動内容を限定し、運動期間や運動強度等、運動処方と認知機能の関係を調べた。また、運動の結果として変化する認知機能を評価するための視覚的認知課題と運動の関係についての先行研究も調べた。

(1) 運動実施期間と認知機能の関係

運動期間は、月～年単位にわたり継続して運動を実施する長期的な運動と数時間～1 日単位でおこなう一過性の運動に大きく分けることができる。

長期的な運動が認知機能へ与える影響について調べた先行研究は、Dustman et al. (1990) が運動を継続することにより、認知機能や課題遂行能力を促進させ、加齢に伴う認知機能の低下を抑制することを明らかにした。Harada et al. (2004) は習慣的なジョギングが前頭連合野の機能を促進することを明らかにした。また、秋山ら (2000) は、長期的な運動経験のある被験者は刺激情報の認知処理が優れている可能性があることを示唆する報告をした。このように、長期的な運動が認知機能に与える影響についての研究は、運動経験者と日頃あまり運動をしない被験者を比較する横断的研究から運動介入を用いた縦断的研究まで多岐にわたり盛んに行われている。そして、日常的な身体運動が認知機能を改善させるといった見解ではほぼ一致している。

次に一過性の運動が認知機能へ与える影響について調べた先行研究では、Khatri et al. (2001) が高齢者の鬱病患者がエアロビクスに参加した時、抗鬱剤を用いた患者に比べ認知機能が改善したことを明らかにした。また、Lee et al. (2007) は 30 分間の持久的運動後、認知機能が改善することを Color word stroop test を用いて明らかにした。Tomprowski (2003) は、一過性の運動は中枢神経系に直接影響し、注意過程をスムーズにするということを報告している。Hillman et al. (2004) は運動能力の高い被験者は低い被験者に比べて 30 分間の有酸素運動後、運動能力が高い被験者の方が認知課題に対する注意力がよりあることを明らかにした。紙上 (2008) は、一過性の運動における研究についていまだ不明瞭な点が多く、系統的な建久による今後のデータ蓄積が期待されるとまとめている。以上のように一過性の運動が認知機能へ与える影響を調べた研究も数多く行われてきているが、運動直後の運動効果のみを調べたものがほとんどであり、運動後の経時変化を調べたものはない。そのため、運

動が認知機能に与える影響はどれほど持続されるのかを調査することは非常に重要であると考えられる。本実験ではこれらの背景をもとに一過性の運動後、認知機能の経時変化を調べることにした。

(2) 運動強度と認知機能の関係

有酸素運動の運動強度は主観的運動強度や客観的運動強度として表すことができる。具体的な運動処方は、米国スポーツ医学会 (American College of Sports Medicine : ACSM) などから指針されている。運動に対する生理的・感覚的反応や、意欲、運動への適応速度・程度には各個人間で差があり、運動への効果や障害の現れ方も異なる。1995年時点でのACSMの指針では、成人の健康や体力増強には中強度の有酸素運動を30分間、週に3～5日行うことだとされている。有酸素運動には一定の強度を容易に維持でき、エネルギー消費量の差が個人間で比較的少ない身体活動が期待できる自転車エルゴメーターが良いとされている (山本ら, 1999)。

運動強度は、高強度にすることによりエネルギー消費が増えるが、整形外科的障害が増加しやすい上、低強度の時よりも運動に対する意欲が薄れがちである。一方、低強度は、長時間運動を継続することが可能であるが、脱水による疲労感や時間的拘束もあり、日常で実践する上で困難なことが多い。従って、一般的には中強度で持続の長い運動が推奨されている。

その運動強度の指標とされているものは幾つかあり、運動と認知機能に関する研究では、最大酸素摂取量 VO_{2max} や Borg の主観的運動強度尺

度 RPE が多く用いられている。

Nakamura et al. (1999) は快適な自己ペースでのジョギング後に P300 振幅の増大を示し、そのような運動は P300 に関連する認知機能を促進させることを示唆している。紙上ら (2005) も自己調節運動後には課題に対してより多くの注意処理資源が配分され、それとともに刺激評価時間も短縮したことが考えられると述べている。客観的指標 $VO_2\max$ に基づく運動強度設定を用いる研究 (Grego et al.,2004;Yagi et al.,1999) においても、運動と脳内情報処理過程の間にポジティブな関係があることが示されている。認知機能と快適感の関係を調査した研究が様々な分野で行われており、それらは認知機能と快適感の間にポジティブな関係が示されている (Bell et al.,2003;Nunneley et al.,1982)。

先行研究を参考に、本実験では身体に好影響を与えるとされている中強度有酸素運動を行うことにし、被験者の運動強度を客観的に示すことができる $VO_2\max$ 測定を用いて運動処方をした。

(3) 運動と視覚的認知課題

Hillman et al. (2003) は、中強度でのペダリング運動後に P300 潜時がより困難な試行では短縮したが、比較的容易な試行では変化しなかったことを明らかにした。Chodzko - Zajko (1991) は、より多くの注意処理を必要とする課題は、あまり必要としない課題に比べ運動による影響を受けやすいとしている。また、Kamijo et al. (2007) は課題の難易度の違いによって脳内情報処理過程に対する運動の影響度は異なるが、中強度運動後は課題の難易度に関係なく、脳内情報処理過程が常に至適レベル

に近いことが示唆されると報告した。

以上のように先行研究において、運動後は注意処理を伴う課題で認知機能の変化が見られることが報告されている。しかしながら、課題の難易度の違いによって、運動の影響がどのように異なるかを調査した先行研究は数少ない。そこで、本実験では難易度の異なる課題を複数用いて運動後の変化を調べることにした。

第 5 節 認知機能の日内変動

地球の自転に伴って明暗は 24 時間周期で交代する。それを受けて私たちは日が昇ると目覚め、明るい間に食事を取り活動する。一方、日が沈むと眠りに落ち、休息をとる。このように 1 日を周期とするリズムを日内変動という。私たちの認知機能にも日内変動があるとされている。樋口ら (1999) が脳の覚醒水準および認知機能の日内変動について調査したところによると、脳の認知機能を反映する脳電位である事象関連電位 P300 の潜時は午前 8 時と午後 2 時に長く、午前 11 時と午後 8 時に短かった。P300 潜時は弁別課題時の刺激に対する脳内情報処理速度を反映しており、すなわち午前 11 時と午後 8 時は他の時刻に比べて脳内情報処理能力が良好であったことが考えられると示している。このような脳の電気生理学的指標を用いて、日中の作業能率の変動を明らかにした研究は他にもあるものの (後藤.1995;岡村.2007)、認知機能の日内変動については未だ十分に明らかにされていないことが多い。

第 6 節 本研究の特徴と目的

以上のように運動が及ぼす認知機能への影響を調べた先行研究は数多くおこなわれている。しかし、一過性の運動による認知機能への影響は未だに一致した見解が得られていない上に、課題難易度の違いに対する見解も一致していない。また、先行研究において運動が認知機能に何らかの影響を与えるということには見解が一致しているものの、その影響がいつまで持続するのかを示したものはない。

そこで、本研究では、これまでの研究において認知機能にポジティブな影響を与えると考えられている一過性の中強度有酸素運動が認知機能に与える影響について、①難易度の異なる認知機能検査を用いて評価する ②認知機能に与えられた影響が何時間後まで持続するのかを調べるという 2 つの目的を設定して行った。

第 2 章 方法

第 1 節 対象

過去 1 年間に週 3 日以上の運動習慣がないこと、喫煙習慣がないこと、普段の睡眠状況が朝型（朝型夜型スケールによる）であること、過去に精神疾患・循環器疾患の既往歴がないことの条件に当てはまる健康な男子大学生 10 名を対象とした。被験者の身体的特徴については Table 1 に示す。すべての被験者に対して、事前に実験の目的、方法などを詳細に説明し、実験参加の同意を得た。

被験者は実験に先立ち朝型・夜型を調査するためのアンケートに回答した。アンケートを用いて被験者が朝型であることを確認した上で実験に参加してもらった。

Table 1. 被験者特徴

	平均 $\pm$ SD
年齢 (age)	23.0 $\pm$ 2.4
身長 (cm)	174 $\pm$ 4.3
体重 (kg)	66.6 $\pm$ 7.7

第 2 節 実験手順

本実験は、10名の被験者を2人1組とし、2008年9月11日～2008年10月24日の期間、計5回に分けて行った。(Table 2)

実験内容は、運動条件(60% VO_2max を35分間、視覚的認知課題)と安静条件(運動なし、視覚的認知課題のみ)からなる。Table 2、Fig.1に示したとおり、各条件は視覚的認知課題に対する慣れの影響や、運動による疲労を考慮し、1週間以上の間隔をとった。被験者は、実験開始1週間前に最大酸素摂取量の測定および視覚的認知課題の練習を行った。その日から実験当日まで運動をしないことを指示し(自転車などの交通手段も含む)、身体活動量を調査する為のアクチウォッチ(フジ・レスピロニクス社製 アクチウォッチ AWL)を非利き手に装着、身体活動日誌(Fig.4)を記入してもらった。また、測定前夜からカフェイン・アルコールの摂取を禁止した。測定前夜、被験者は19時に早稲田大学所沢キャンパスフロンティアリサーチセンターに集合し、22時に視覚的認知課題1回目を実施、23時に就寝した。測定当日は、6時に起床し、6時30分に視覚的認知課題2回目を実施、7時に運動もしくは安静条件を開始した。運動条件では、自転車エルゴメーター(COMBI WELLNESS 社製 エアロバイク 75XL II)を使用した。一方、安静条件では、運動条件と同一の時間、座位で安静に過ごした。運動条件・安静条件の前後に指先から少量の血液を採血し、血中乳酸値(ARKRAY 社製 Lactate Pro)と血糖値(NIPRO 社製 FreeStyle)を測定した。運動もしくは安静条件終了後5分以内に視覚的認知課題3回目を実施し、その後3時間ごとに視覚的認知課題を行った。また視覚的認知課題前に毎回体温、血圧、心拍、VAS

を測定した。実験中の食事内容を統一するため、すべての食事を検者が用意した。測定前夜、当日のスケジュールを Fig.2、Fig.3 に示す。実験環境は 25 ℃ に設定した。

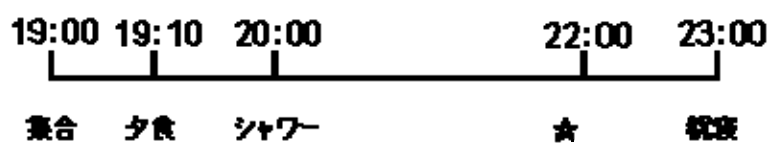
Table 2. 実験被験者参加期間

	実験日程	実験内容	参加被験者
①	9 月 4 日	事前説明 & 最大酸素摂取量測定 & 視覚刺激課題練習	1・2
	9 月 11 日 12 日	実験 1 回目	1 (Ex)・2 (Cont)
	9 月 18 日 19 日	実験 2 回目	1 (Cont)・2 (Ex)
②	9 月 8 日	事前説明 & 最大酸素摂取量測定 & 視覚刺激課題練習	3・4
	9 月 14 日 15 日	実験 1 回目	3 (Ex)・4 (Cont)
	9 月 21 日 22 日	実験 2 回目	4 (Ex)
③	9 月 22 日	事前説明 & 最大酸素摂取量測定 & 視覚刺激課題練習	5・6
	9 月 28 日 29 日	実験 1 回目 (C のみ実験 2 回目)	3 (Cont)・5 (Ex)・6 (Cont)
	10 月 5 日 6 日	実験 2 回目	5 (Cont)・6 (Ex)
④	9 月 26 日	事前説明 & 最大酸素摂取量測定 & 視覚刺激課題練習	7・8
	10 月 2 日 3 日	実験 1 回目	7 (Ex)・8 (Cont)
	10 月 9 日 10 日	実験 2 回目	7 (Cont)・8 (Ex)
⑤	10 月 10 日	事前説明 & 最大酸素摂取量測定 & 視覚刺激課題練習	9・10
	10 月 16 日 17 日	実験 1 回目	9 (Ex)・10 (Cont)
	10 月 23 日 24 日	実験 2 回目	9 (Cont)・10 (Ex)

※注：被験者 3 は体調不良のため、運動条件後 2 週間後に安静条件を実施した。

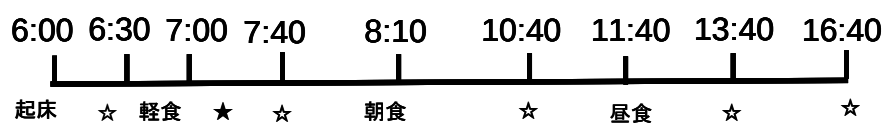
実験 1 週間前 VO ₂ max 測定 課題練習	1 週間 アクチウォッチにて観察	実験 1 運動 or 安静	1 週間 アクチウォッチにて観察	実験 2 運動 or 安静
---	---------------------	------------------------	---------------------	------------------------

Fig.1 実験スケジュール（全体）



☆：体温・血圧・心拍・VAS 測定、視覚的認知課題

Fig.2 実験スケジュール（測定日前夜）



☆：体温・血圧・心拍・VAS 測定、視覚的認知課題

★：運動もしくは安静

Fig.3 実験スケジュール（測定日）

日誌		ID																								名前		No.											
		6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00													
月	日																																						
月	日																																						
月	日																																						
月	日																																						
月	日																																						
月	日																																						
月	日																																						
月	日																																						

食事△ 起床○ 就寝● 昼寝◎ アクテグラフをはずしたとき★

※原則実験以外の運動は行わないで下さい。やむをえず運動や激しい動きをした場合は日誌に記入してください。

Fig.4 身体活動日誌

第 3 節 運動負荷

実験開始（運動条件もしくは安静条件）の一週間前に被験者の最大酸素摂取量（以下 VO_2max ）を測定し、60% VO_2max を算出した。

VO_2max の測定は負荷 70 W で運動を開始し、2 分毎に負荷を 35 W 上げた。負荷増加毎に RPE と心拍を測定し、RPE 20 以上、心拍 200 拍 / 分以上、呼吸商 1.1 以上、 VO_2 がプラトーに達するという条件いずれか 2 つが当てはまった段階で被験者の最大酸素量に到達したと判断し運動を中止した。60% VO_2max の負荷算出方法は、30 秒平均で VO_2 を出力、 VO_2max 値を確認し、 $\text{VO}_2 \cdot \text{Workload (W)}$ 間の 1 次回帰式を求め、目的となる 60% VO_2max 時の Workload (W) を算出した。

実験当日の運動は、無負荷で 3 分間のウォーミングアップ後、60% VO_2max 強度の自転車エルゴメーター運動を 30 分間行った。その後、再び無負荷で 2 分間のクールダウンを行った。回転数は 60 rpm で一定とし、5 分毎に RPE と心拍を測定した。

RPE は Borg (1970) の主観的運動強度尺度 (Fig.5) を用いて評価した。

主観的運動強度尺度	
20	
19	非常にきつい
18	
17	かなりきつい
16	
15	きつい
14	
13	ややきつい
12	
11	楽である
10	
9	かなり楽である
8	
7	非常に楽である
6	
5	

Fig.5 主観的運動強度尺度

第 4 節 視覚的認知課題

本実験では 3 種類の視覚刺激を用いた視覚的認知課題を行った。検者はのべ 3 名で行い、検者間で教示の差がでないように台本を作成し、被験者に対する視覚的認知課題の教示を統一した。測定装置は、CRT モニター、パソコン、キーボード (Color word stroop test 用)、1 つ押しボタン (Go / no - go test 用) を使用した。

(1) Color word stroop test

被験者は、ブース内の椅子に着席し、約 80 cm 前方に設置された CRT モニターに表示される課題を見ながら、手元にある色のついたキーボードによって回答した。回答時、被験者は両手の中指・人差し指をキーボードの上に乗せた状態を保ち、手元を見ないように、刺激に対してできるだけ速く、できるだけ正確に反応をするように課題を行った。表示される文字は「あか」「あお」「きいろ」「みどり」の 4 種類とし、文字に使用される色も同 4 色とした。文字と使用される色が一致しない試行 12 パターン (例、「あか」「あお」「きいろ」「みどり」) を作成し、それらがランダムに計 96 試行 (12 パターン×8 回) 表示されるように設定した。Color word stroop test はキーボード操作の練習が必要なため、実験の 1 週間前に 96 試行×4 set の練習を行った。また測定日前夜は練習も含め、96 試行×4 set を 2 回行い、測定日は 96 試行×4 set を 1 回ずつ行った。課題遂行時間は 1 回につき約 4 分間であった。課題作成には presentation

ソフト（Neurobehavioral Systems 社製）を使用した。

(2) Go / no - go test

被験者は、ブース内の椅子に着席、イヤホンを装着しその上に防音用のイヤークフを装着した。約 80 cm 前方に設置された CRT モニターに表示される刺激に対して利き手側に置いてあるボタンを用いて反応した。青い丸が 1500 ms 間隔で表示される単純反応課題を 50 試行×1 set を実施した。その後、青い丸でボタンを押し、赤い丸ではボタンを押さないものとした青い丸 80 試行・赤い丸 20 試行がランダムに表示される刺激弁別課題を行った。刺激弁別課題は 100 試行×2 set 行った。被験者には、刺激に対してできるだけ速く、できるだけ正確に反応をするように教示を行った。課題遂行時間は全ての課題を合わせて約 10 分間であった。課題作成には presentation ソフト（Neurobehavioral Systems 社製）を使用した。

(3) Wisconsin card sorting test

被験者は、ブース内の椅子に着席、イヤホンを装着しその上に防音用のイヤークフを装着した。約 80 cm 前方に設置された CRT モニターに表示される刺激を見て課題を行った。イヤホンからは課題の指示が出され、被験者はその指示に従い、利き手側にあるマウスを動かし回答した。練習課題を数回行ってから本番課題を行った。課題遂行時間は、全ての課

題を合わせて約 2～3 分間であった。課題は小林祥奏（島根医科大学第 3 内科教授）が作成した慶應 F-S version ウィスコンシンカードソーティングテストを用いた。

以上の順番で視覚的認知課題を行った。

課題全体の遂行時間は課題間の休憩も含め約 25 分間であった。

第 5 節 その他の測定項目

血圧・心拍の測定は HEM-1000 OMRON を使用し、体温の測定は WelchAllyn ThermoScan PRO4000 Type6021 BRAUN を使用した。眠気や疲労の評価は、視覚的アナログ評価尺度（Visual analog scale: VAS）を使用した。VAS は 100 mm の直線の左右両端に単語を記しておき、今の状態に近いと思われる位置に垂直線を引いてもらう方法であり、本実験では Fig.6 を使用した。

眠気・疲労指標

氏名：
日付：
時刻：

現在の状態にもっとも良く当てはまる位置に垂直に線を引いてください。

全く眠くない	非常に眠い
全く疲れていない	非常に疲れた

Fig.6 VAS（眠気・疲労）

第 6 節 統計処理

統計処理には二元配置分散分析を行い、交互作用が認められたものに関しては、条件ごとに時間を要因とした一元配置分散分析を用いて多重比較検定を行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。ソフトは SPSS Ver.15 を使用した。

第 3 章 結果

第 1 節 運動

(1) 運動負荷・運動中の変化

被験者の VO_2max 、60% VO_2max 、WATT 数を Table 3 に、運動中の心拍、RPE の変化・平均を Table 4 に示す。

Table 3. VO_2max 、60% VO_2max 、WATT 数

	平均 $\pm$ SD
VO_2max	2932 $\pm$ 526.6
60% VO_2max	1759 $\pm$ 315.9
WATT 数	129.7 $\pm$ 38.6

Table 4. 心拍、RPE の変化・平均

	平均±SD
HR start	75.5±16.7
HR goal	145±13.6
HR max	145±13.5
RPE start	7.70±2.63
RPE goal	14.3±1.70
RPE max	14.5±1.58

(2) 乳酸値

運動条件 (exercise) 10 名と安静条件 (control) 10 名の平均を以下に表す。

運動の有無（運動条件・安静条件）と乳酸値測定時刻を二要因として二元配置分散分析をおこなった結果、有意な交互作用が認められた。各要因の単純主効果を検討したところ、いずれの条件においても時間に関する有意な単純主効果が認められた。また、運動・安静後に条件に関する有意な単純主効果が認められた。多重比較検定の結果、いずれの条件においても時間の経過とともに乳酸値が有意に増加した。また、運動・安静後に、運動条件の乳酸値が有意に高かった。(Fig.7)

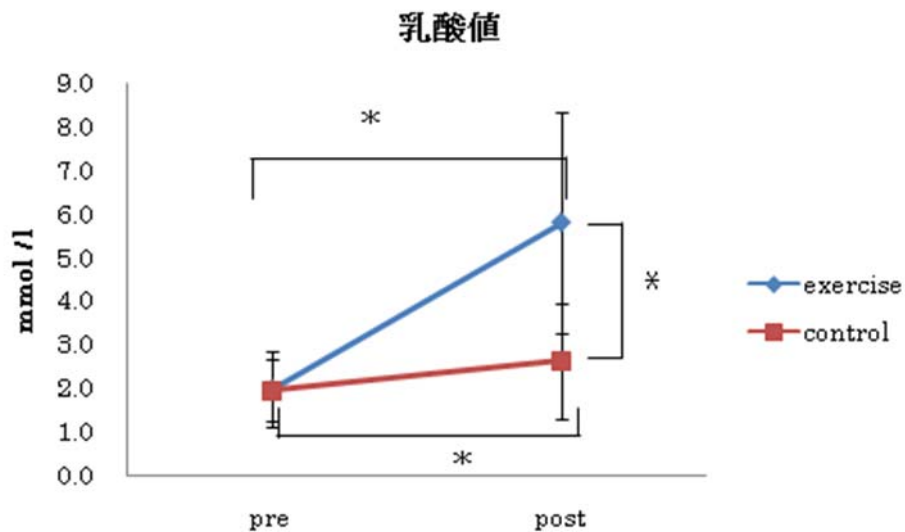


Fig.7 乳酸値 *:p<0.01

(3) 血糖値

運動条件 (exercise) 10 名と安静条件 (control) 10 名の平均を以下に表す。

運動の有無（運動条件・安静条件）と血糖値測定時刻を二要因として二元配置分散分析をおこなった結果、有意な交互作用が認められた。各要因の単純主効果を検討したところ、いずれの条件においても時間に関する有意な単純主効果が認められた。また、運動・安静後に条件に関する有意な単純主効果が認められた。多重比較検定の結果、いずれの条件においても時間の経過とともに血糖値が有意に増加した。また、運動・安静後に、安静条件の血糖値が有意に高かった。(Fig.8)

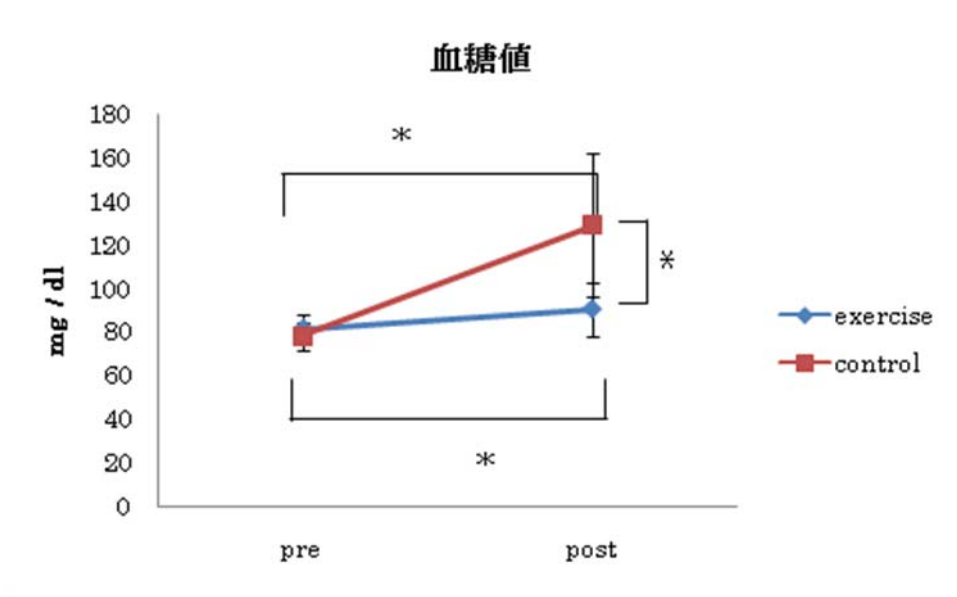


Fig.8 血糖値 *:p<0.01

第 2 節 体温・心拍・VAS

運動条件 (exercise) 10 名と安静条件 (control) 10 名の平均を以下に表す。

(1) 体温

運動の有無（運動条件・安静条件）と体温測定時刻を二要因として二元配置分散分析をおこなった結果、有意な交互作用が認められた。各要因の単純主効果を検討したところ、いずれの条件においても時間に関する有意な単純主効果が認められた。また、運動・安静直後の 7:40 にのみ条件に関する有意な単純主効果が認められた。多重比較検定の結果、いずれの条件においても、時間の経過とともに体温が有意に変化した。また、運動・安静直後の 7:40 のみ、運動条件の体温が有意に高かった。

(Fig.9)

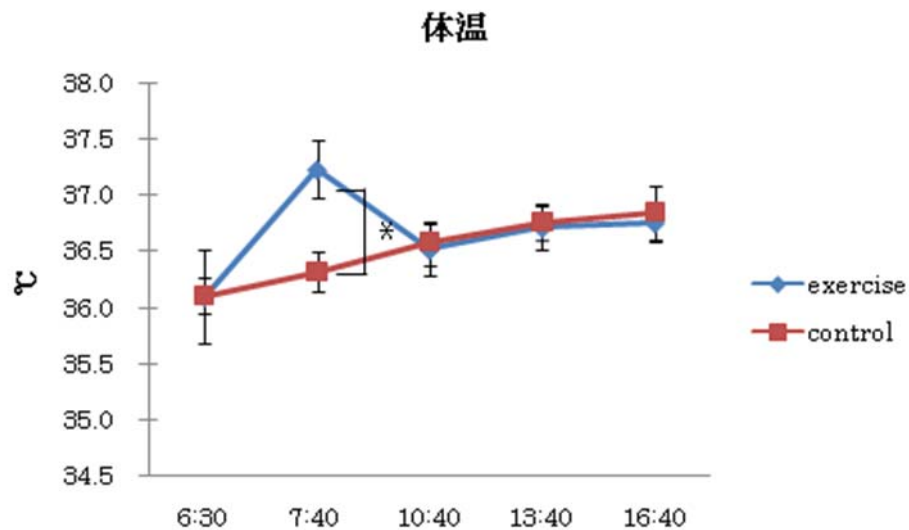


Fig.9 体温 *:p<0.05

(2) 心拍

運動の有無（運動条件・安静条件）と心拍測定時刻を二要因として二元配置分散分析をおこなった結果、有意な交互作用が認められた。各要因の単純主効果を検討したところ、いずれの条件においても時間に関する有意な単純主効果が認められた。また、運動・安静直後の 7:40 にのみ条件に関する有意な単純主効果が認められた。多重比較検定の結果、いずれの条件においても、時間の経過とともに心拍が有意に変化した。また、運動・安静直後の 7:40 のみ、運動条件の心拍が有意に高かった。

(Fig.10)

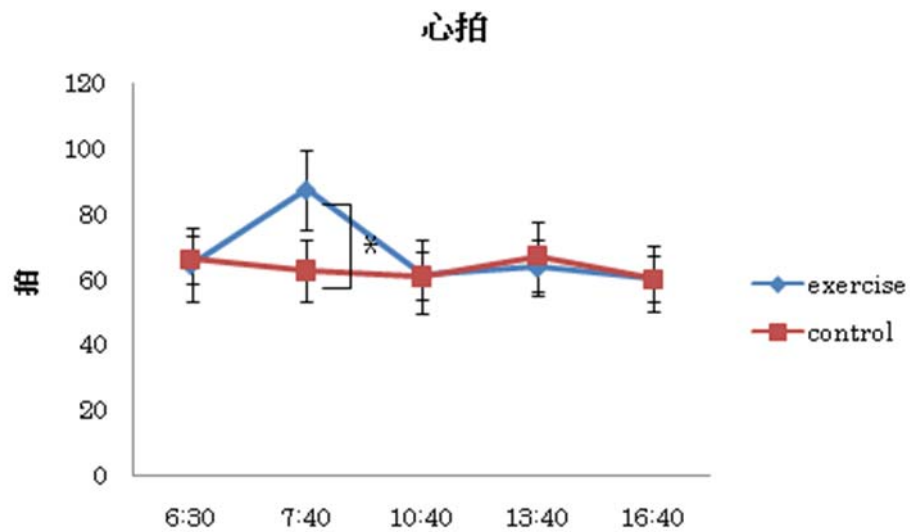


Fig.10 心拍 *:p<0.05

(3) VAS

a. 眠気

運動の有無（運動条件・安静条件）と VAS 測定時刻を二要因として二元配置分散分析をおこなった結果、時間に関する有意な主効果が認められた。多重比較検定の結果、眠気は、運動・安静直後の 7:40 より 13:40の方が有意に高かった。(Fig.11)

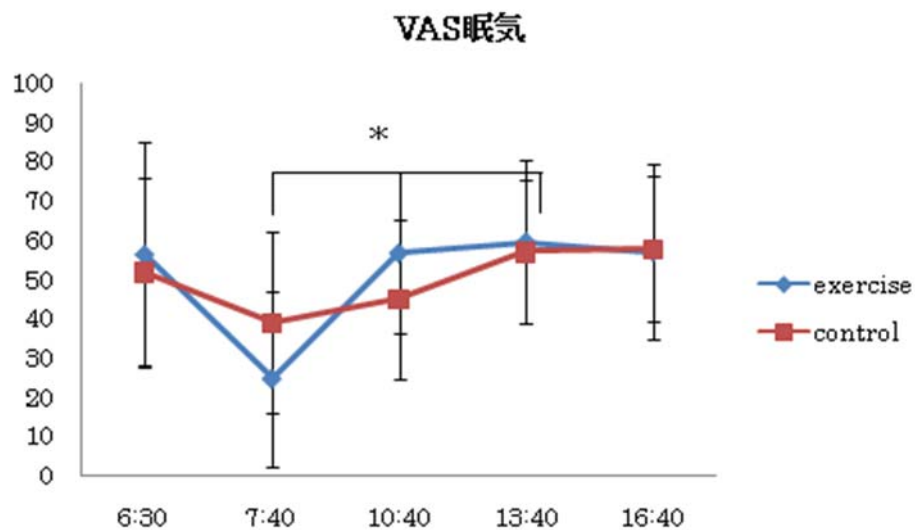


Fig.11 VAS 眠気 *:p<0.05

b. 疲労

運動の有無（運動条件・安静条件）と VAS 測定時刻を二要因として二元配置分散分析をおこなった結果、有意な交互作用が認められた。各要因の単純主効果を検討したところ、いずれの条件においても時間に関する有意な単純主効果が認められた。また、運動・安静直後の 7:40 にのみ条件に関する有意な単純主効果が認められた。多重比較検定の結果、いずれの条件においても、時間の経過とともに疲労が有意に変化した。また、運動・安静直後の 7:40 にのみ、運動条件の疲労が有意に高かった。(Fig.12)

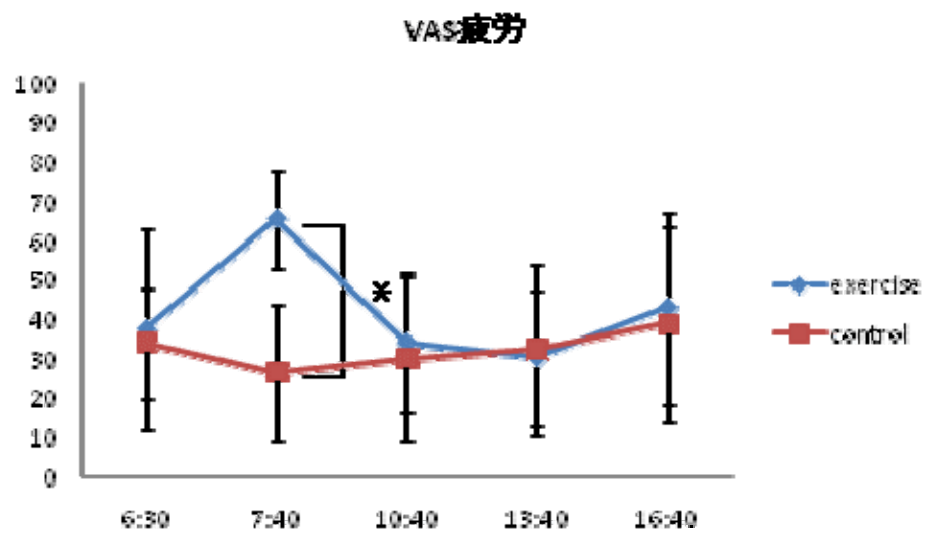


Fig.12 VAS 疲劳 *:p<0.05

第 3 節 視覚的認知課題遂行能力の急性運動効果

(1) Color word stroop test

運動条件 (exercise) 10 名と安静条件 (control) 10 名の平均を以下に表す。

a. 課題遂行時間

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題測定時刻を二要因として二元配置分散分析をおこなった結果、有意な交互作用が認められた。各要因の単純主効果を検討したところ、いずれの条件においても時間に関する有意な単純主効果が認められた。多重比較検定の結果、いずれの条件においても、時間の経過とともに課題遂行時間が有意に短縮した。また、運動・安静後に、運動条件の課題遂行時間が有意に短縮する傾向がみられた。(Fig.13)

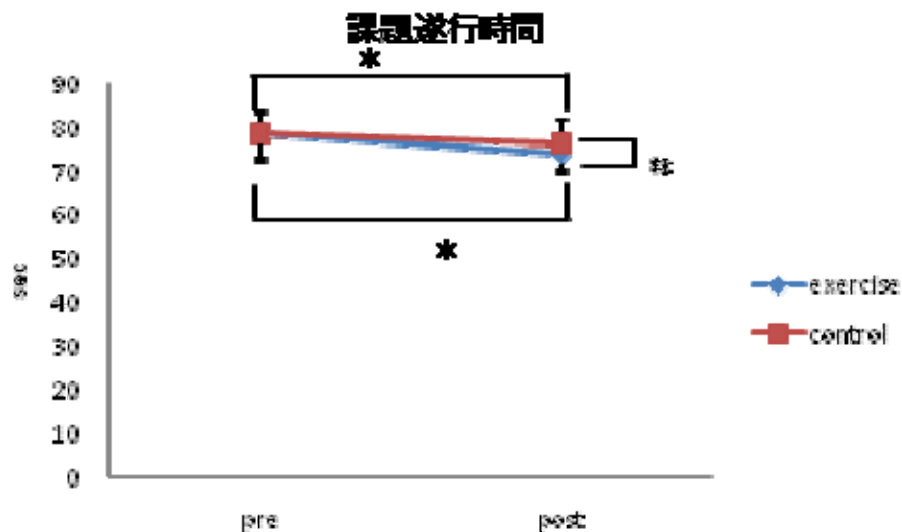


Fig.13 課題遂行時間 * : $p < 0.05$ # : $p = 0.087$

b. 正解時反応時間

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題測定時刻を二要因として二元配置分散分析をおこなった結果、有意な交互作用が認められた。各要因の単純主効果を検討したところ、いずれの条件においても時間に関する有意な単純主効果が認められた。多重比較検定の結果、いずれの条件においても、時間の経過とともに正解時反応時間が有意に短縮した。また、運動・安静後に運動条件の正解時反応時間が有意に短縮する傾向がみられた。（Fig.14）

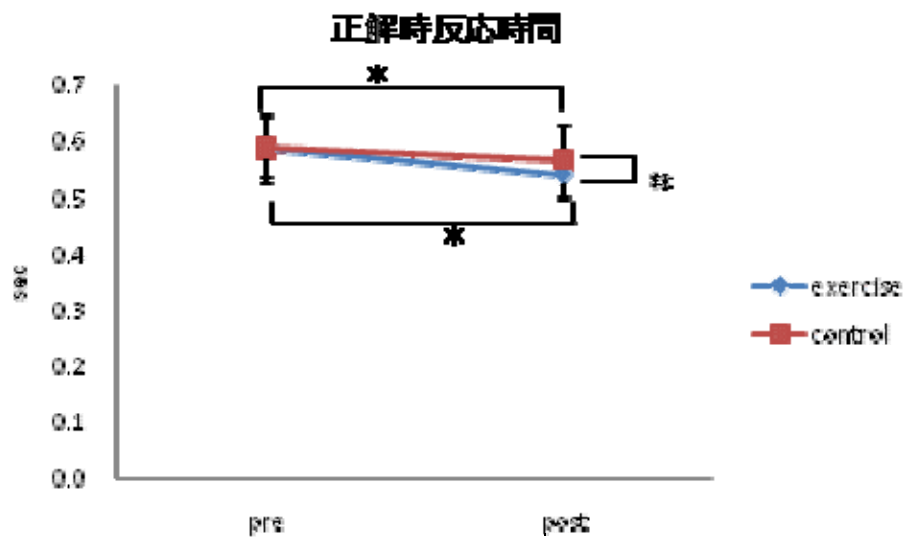


Fig.14 正解時反応時間 * : $p < 0.05$ # : $p = 0.071$

c. 誤反応時反応時間

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.15）

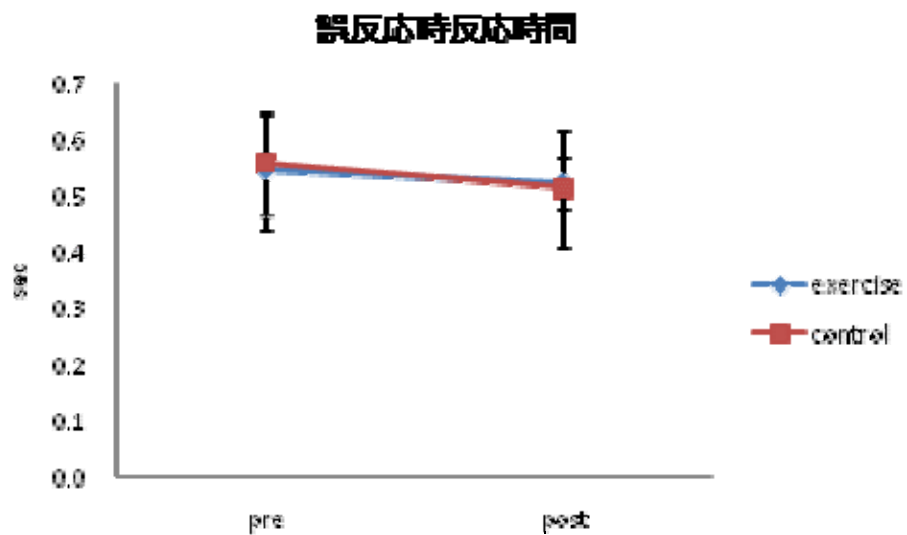


Fig.15 誤反応時反応時間

d. 誤反応数（回）

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.16）

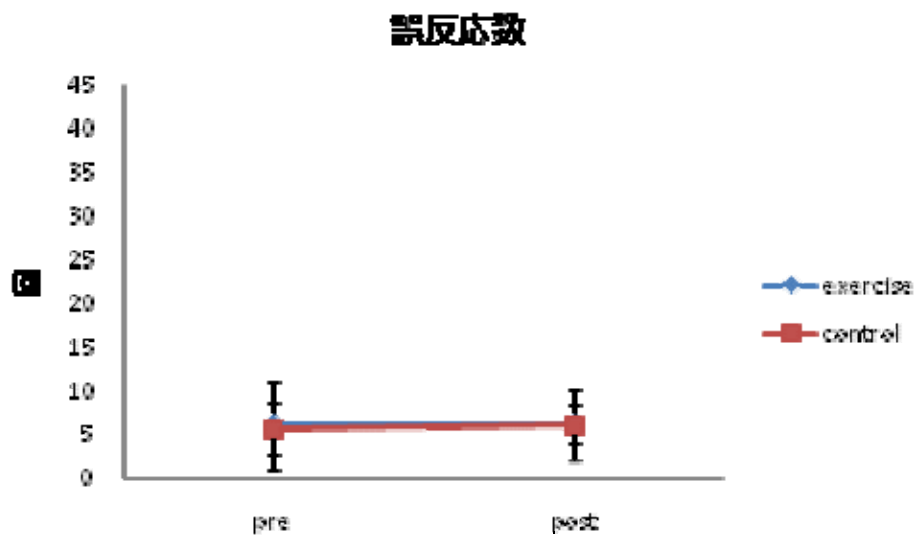


Fig.16 誤反応数

(2) Go / no - go test

運動条件 (exercise) 10 名と安静条件 (control) 10 名の平均を以下に表す。

a. 正解時反応時間

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.17）

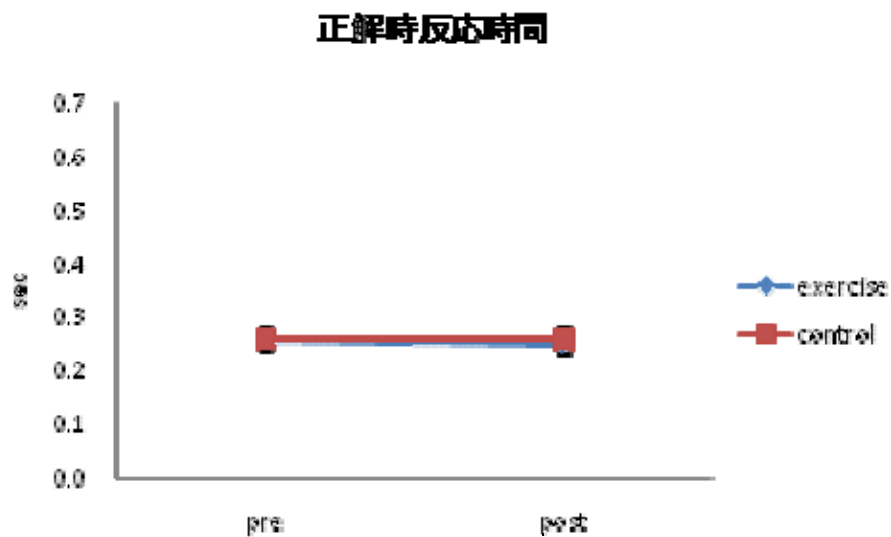


Fig.17 正解時反応時間

b. 正解時反応時間 SD

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、有意な交互作用が認められた。各要因の単純主効果を検討したところ、運動・安静条件前にのみ条件に関する有意な単純主効果が認められた。多重比較検定の結果、運動・安静条件前にのみ、安静条件の方が有意に低かった。(Fig.18)

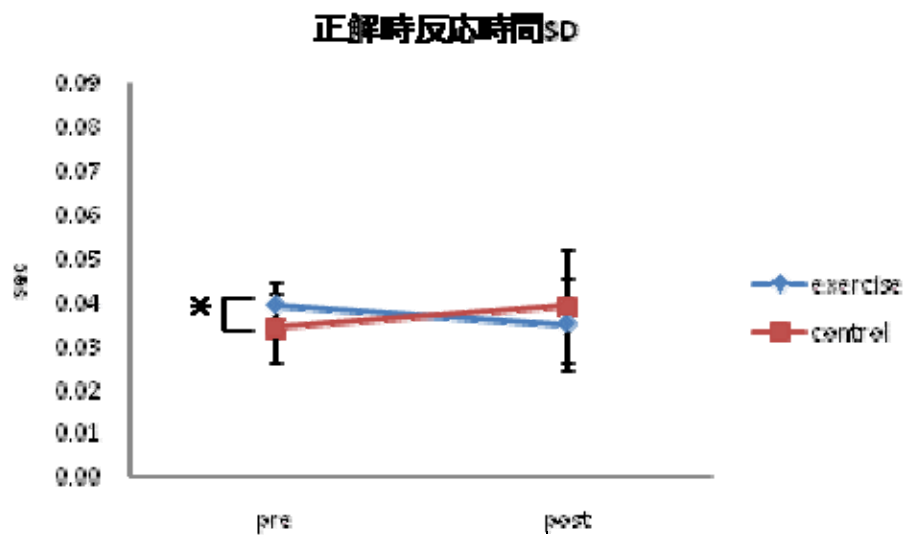


Fig.18 正解時反応時間 SD *:p<0.05

c. 誤反応率 (%)

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.19）

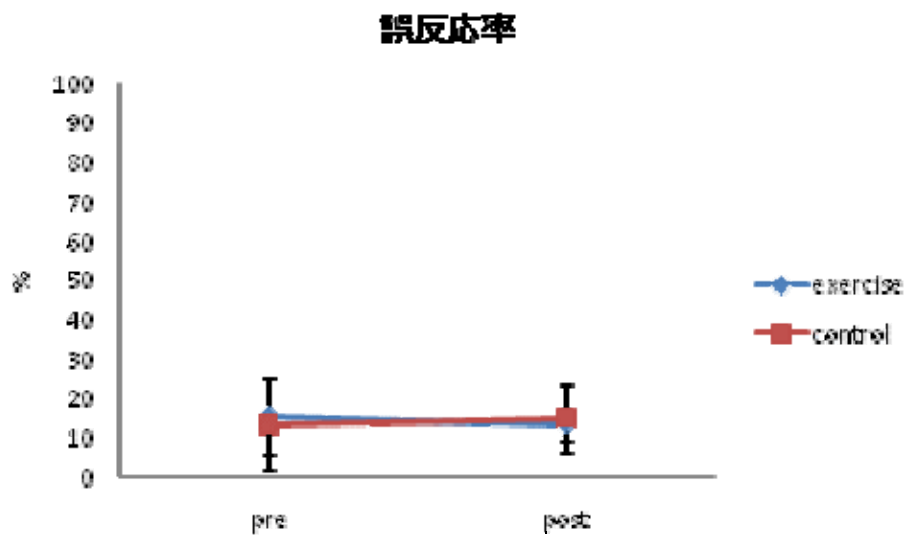


Fig.19 誤反応率

(3) Wisconsin card sorting test

運動条件 (exercise) 10 名と安静条件 (control) 10 名の平均を以下に表す。

a. カテゴリー達成数 (CA)

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.20）

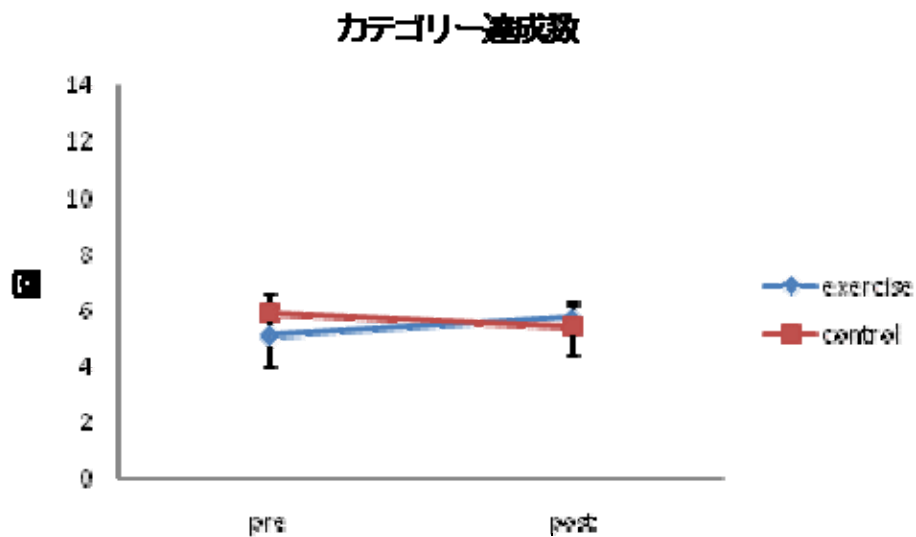


Fig.20 カテゴリー達成数

b. 誤反応数 (回)

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.21）

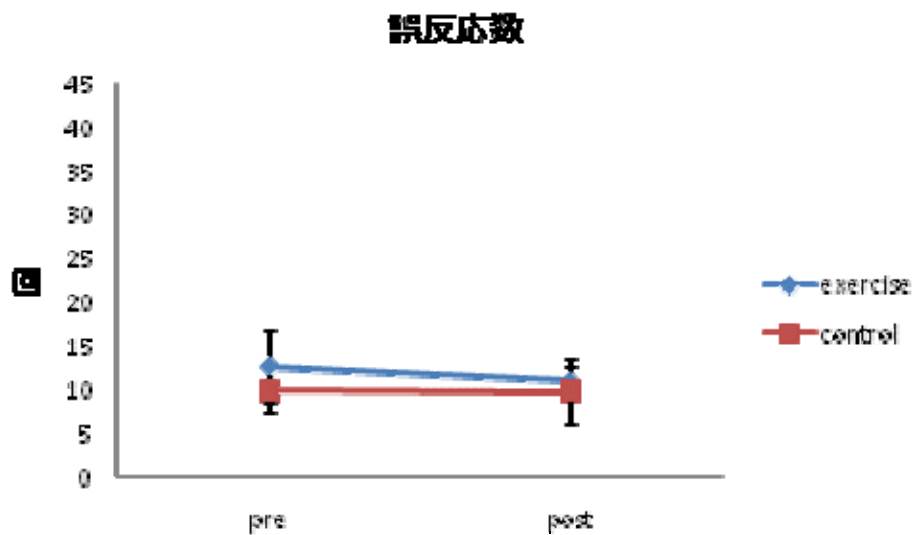


Fig.21 誤反応数

c. 保続性誤反応数 (PEM)

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.22）

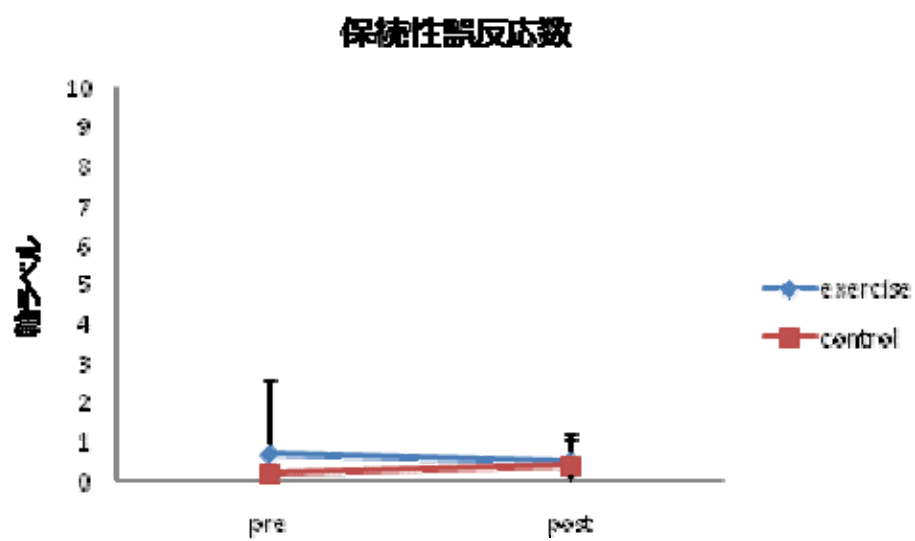


Fig.22 保続性誤反応数

第 4 節 視覚的認知課題遂行能力の経時変化

(1) Color word stroop test

運動条件 (exercise) 10 名と安静条件 (control) 10 名の平均を以下に表す。

a. 課題遂行時間

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、時間に関して有意な主効果が認められた。多重比較検定の結果、課題遂行時間は、6:30 の測定より 7:40 以降全ての測定が有意に短縮した。(Fig.23)

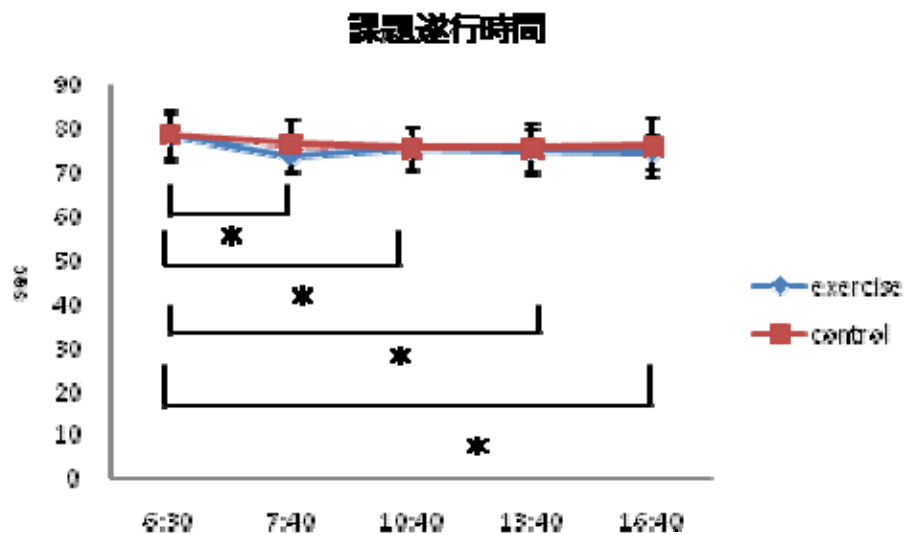


Fig.23 課題遂行時間 *:p<0.05

b. 正解時反応時間

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、時間に関して有意な主効果が認められた。多重比較検定の結果、正解時反応時間は、6:30の測定より 7:40 以降全ての測定が有意に短縮した。（Fig.24）

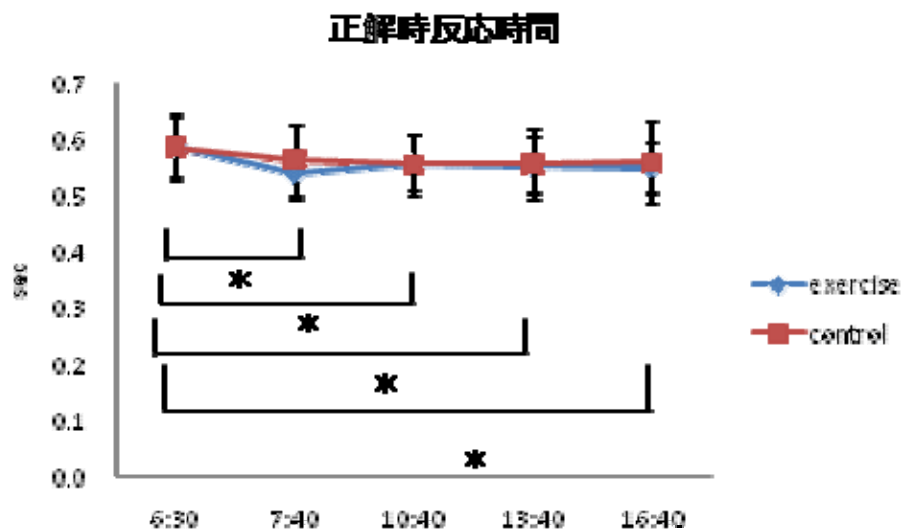


Fig.24 正解時反応時間 *:p<0.05

e. 誤反応時反応時間

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.25）

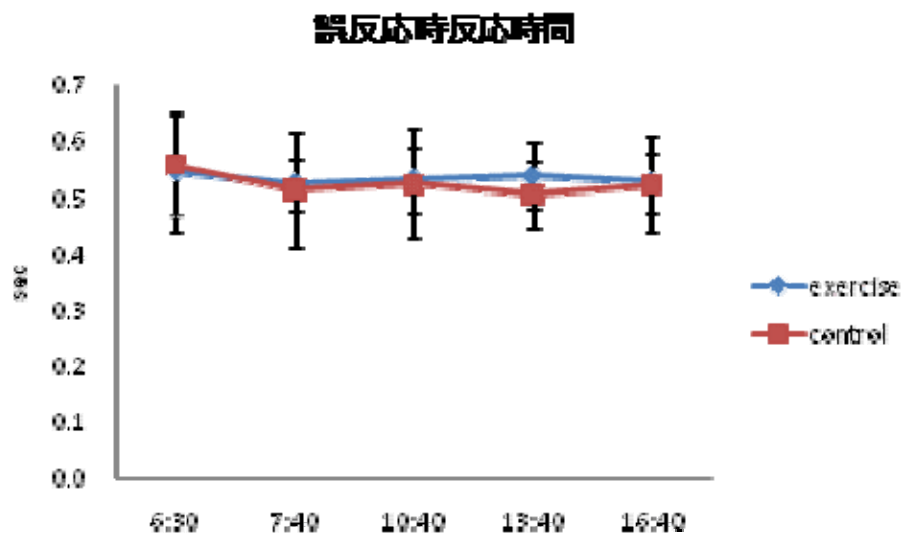


Fig.25 誤反応時反応時間

d. 誤反応数 (回)

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.26）

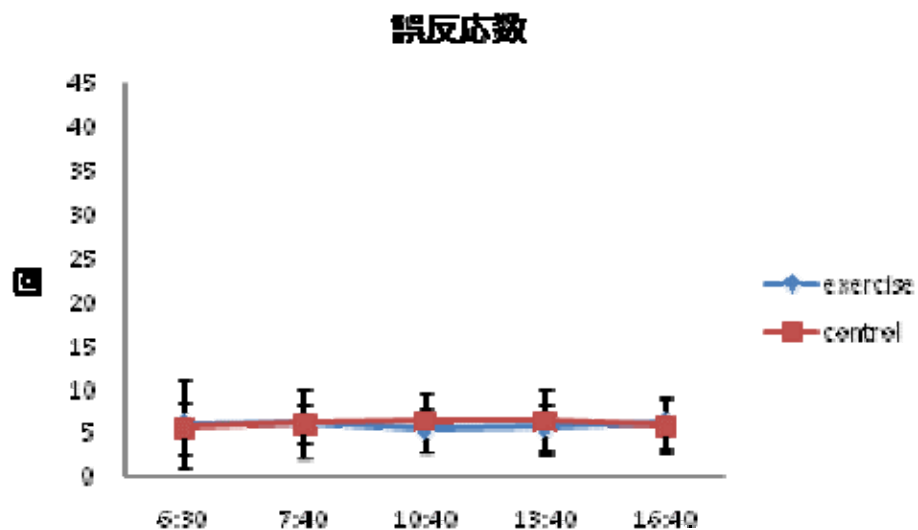


Fig.26 誤反応数

(2) Go / no – go test

運動条件 (exercise) 10 名と安静条件 (control) 10 名の平均を以下に表す。

a. 正解時反応時間

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.27）

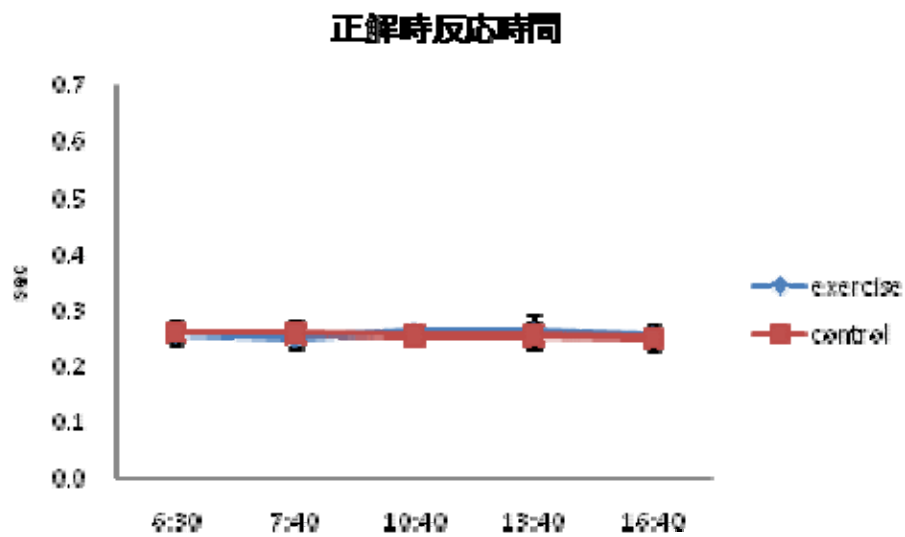


Fig.27 正解時反応時間

b. 正解時反応時間 SD

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.28）

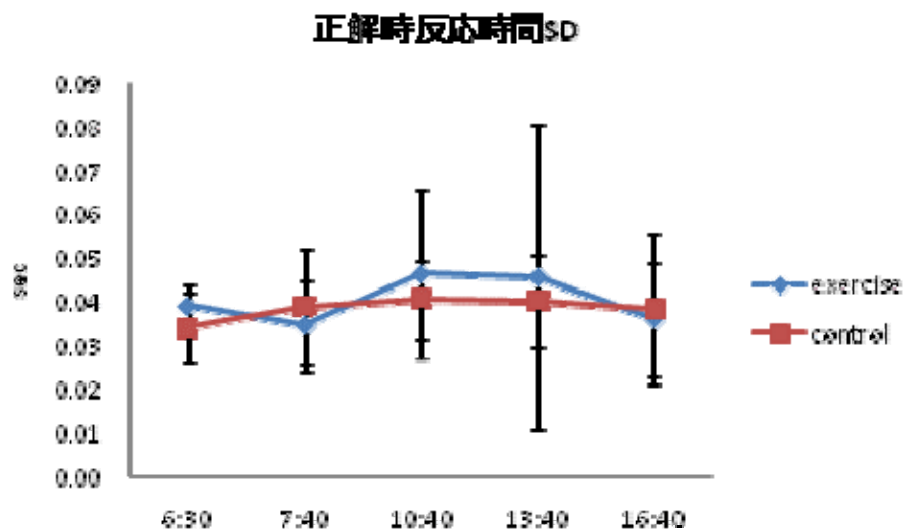


Fig.28 正解時反応時間 SD

c. 誤反応率 (%)

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.29）

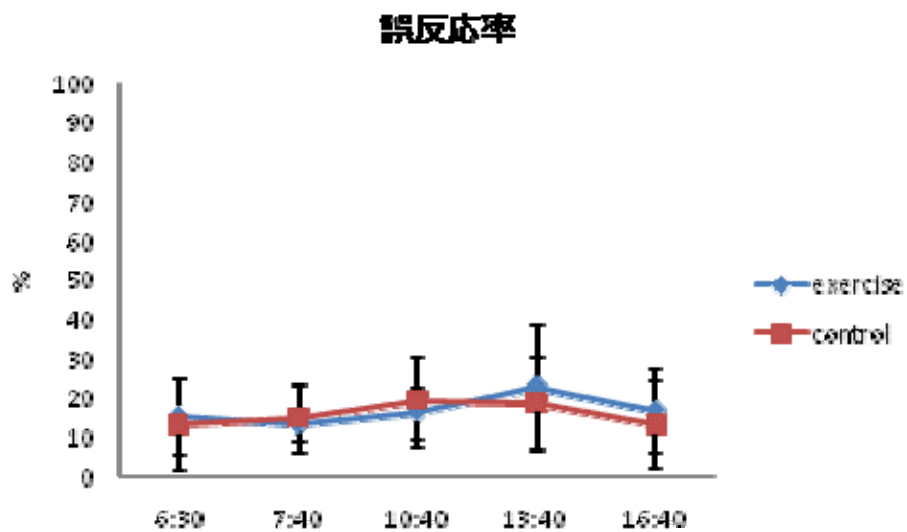


Fig.29 誤反応率

(3) Wisconsin card sorting test

運動条件 (exercise) 10 名と安静条件 (control) 10 名の平均を以下に表す。

a. カテゴリー達成数 (CA)

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。(Fig.30)

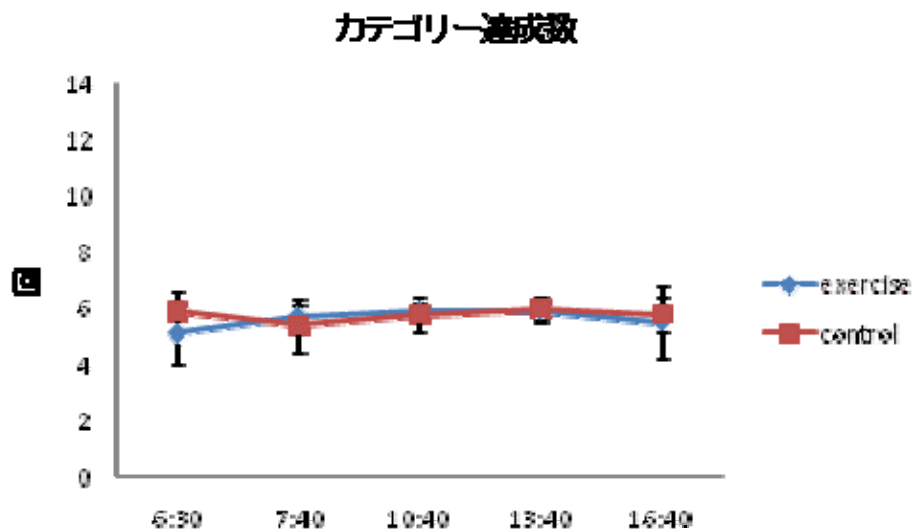


Fig.30 カテゴリー達成数

b. 誤反応数 (回)

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.31）

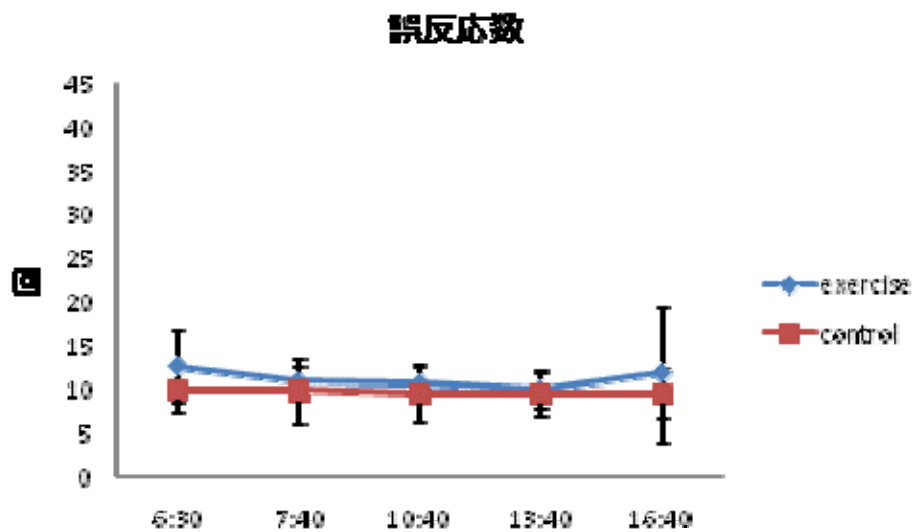


Fig.31 誤反応数

c. 持続性誤反応数 (PEM)

運動の有無（運動条件・安静条件）と視覚的認知課題実施時刻を二要因として二元配置分散分析の統計をおこなった結果、両要因に有意な主効果が認められなかった。（Fig.32）

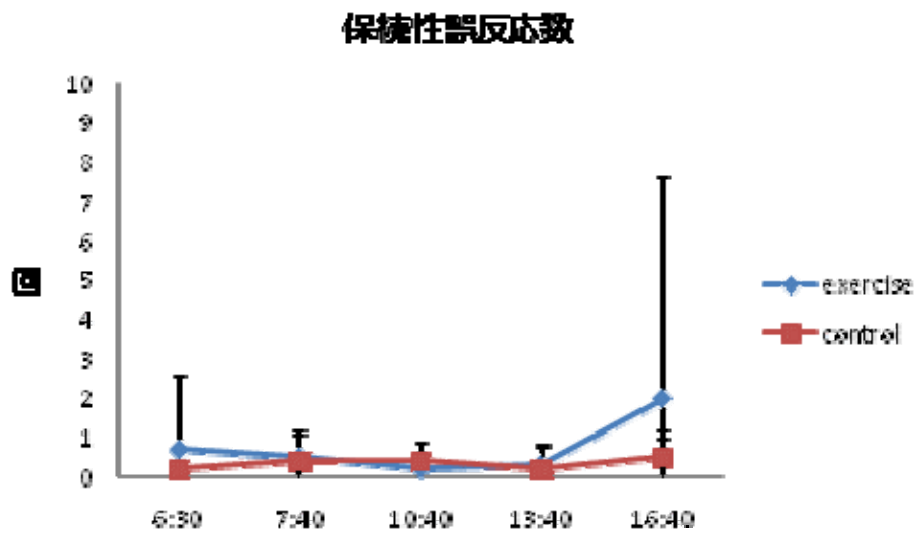


Fig.32 保続性誤反応数

第 4 章 考察

本実験では、早朝に 30 分間の中強度有酸素運動を行った場合、その直後及びその後の日中の認知機能にどのような変化が生じるのかを 3 種類の視覚的認知課題を用いて評価した。

第 1 節 運動の認知機能に対する急性効果の評価

本実験では、Color word stroop test の課題遂行時間及び正解時反応時間が 30 分間の運動・安静前後で有意に短縮した。また、運動条件では安静条件よりも課題遂行時間 ($p=0.087$) と正解時反応時間 ($p=0.071$) がより短縮する傾向がみられた。しかし、その他の課題では、運動、安静前後にも、条件間にも有意な差はみられなかった。この Color word stroop test で運動の影響がみられ、Go / no - go test では運動の影響がみられなかったという結果については、難易度の高い視覚的認知課題が運動の影響をより受けやすいと論じている先行研究 (Chodzko-Zajko.1991) や、難易度の高い試行では P300 潜時が短縮したが、比較的容易な試行では変化しなかったことを示した先行研究 (Hillman et al.2003) に一致するものである。しかし、本実験においては課題難易度が高いとされる Wisconsin card sorting test で運動の急性効果はみられなかった。これは、課題特性から生じた結果だと考えられる。Color word stroop test は、注意・切り替えに関する機能、つまり情報処理過程における視覚情報 (色) と言語情報 (文字) の間に干渉が起き、発音や指摘をする場合

に妨害が起こる。被験者はこの妨害が生じている上で刺激に対する反応をするので、課題難易度は高く、テストー再テストによる尺度の安定性が高いとされている。このことから、**Color word stroop test** は子供から一般成人まで幅広く使用されている。一方、**Wisconsin card sorting test** は、前頭連合野の損傷を評価するために医療分野で幅広く使用されている課題である。前頭連合野が損傷していることにより課題の成績が著しく低下するものであり、前頭連合野に損傷を受けていない健康な一般成人では、運動前後での成績の変化がみられなかったと考えられる。このように本実験及び先行研究の結果から、同じ難易度の高い課題であっても、その課題の特性によって、運動の影響を受けやすい課題と受けにくい課題があることが考えられる。**Go / no - go test** と **Wisconsin card sorting test** は短時間の中強度有酸素運動後の認知機能の変化を測定する上で、感度の高い課題ではないということが考えられる。

また、本実験では、運動終了後 5 分以内に視覚的認知課題を開始した。乳酸値、体温、心拍、VAS（疲労）は、運動条件の方が安静条件よりも有意に上昇していた。これらのことから、30 分間の中強度有酸素運動の影響下で、視覚的認知課題を行ったと考えられる。従って、30 分間の中強度有酸素運動直後は、一時的に身体及び脳へ影響を与え、**Color word stroop test** の結果に影響を及ぼしたのではないかと考えられる。**Tomprowski (2003)** は、運動が脳にもたらすメカニズムについて調査した結果をまとめ、60 分間までの最大下運動は認知機能を促進させるが、脱水症状を生じさせるようなきつい運動は認知機能を低下させるとまとめている。さらに、運動は脳内情報処理過程全体に影響を及ぼすのではなく、初期の知覚過程には影響を及ぼさず、それ以降の意志決定、反応準備過程に対して選択的に影響することを推測している。また、**Lee T et**

al. (2007) は、血清 BDNF が運動後の認知機能の変化に関与していることを示唆している。血清 BDNF は標的細胞表面上にある特異的受容体 TrkB に結合し、神経細胞の生存・成長・シナプスの機能亢進などの神経細胞の成長を調節する脳細胞の増加には不可欠な神経系の液性蛋白質である。血清 BDNF と運動に関する先行研究は、ヒトに対して行われているものはまだ数少ない。しかし、短期間運動によって血清 BDNF の上昇がみられたという先行研究がある (Gold et al.2003)。今後、運動の影響をより明らかにするために、血清 BDNF 等の新たな指標を取り入れるべきであると考えられる。

第 2 節 運動の認知機能に対する経時変化の評価

経時変化について、Color word stroop test の課題遂行時間及び正解時反応時間が運動・安静条件ともに 6:40 の 1 回目の測定に比べ、それ以降全ての測定が有意に短縮した。これは、眠気による覚醒度の影響が示されたものだと考えられる。

森国 (2006) は、眠気と注意力には強い相関があり、眠気が強いと注意力は低下すると述べている。また、眠気と注意力の日内変動は明け方 (4 時～6 時) と昼食後の 1 日 2 回低下すると示唆している。本実験では視覚的認知課題実施時間に食事の影響がでないように昼食時に視覚的認知課題を行っていないが、起床後 30 分で行った課題では最も成績が悪い結果であった。このことから先行研究に一致している。

先述した樋口ら (1999) は、P300 潜時と眠気の調査をし、P300 と眠気の変動が対応していることを明らかにした。P300 は事象関連電位で、脳の認知活動を反映する脳電位であることから、認知機能と眠気の変動が一致していることが考えられる。P300 の潜時は午前 8 時と午後 2 時に長く、午前 11 時と午後 8 時に短かった。この先行研究では午前 8 時から P300 を測定しているが、経時変化は本実験の結果とほぼ一致している。

本実験では、注意力を要する課題難易度の高い Color word stroop test において早朝の測定に比較し、他のすべての測定時刻の課題遂行時間と正解時反応時間が短縮した。しかし、運動条件と安静条件間には差はなかった。また、VAS の眠気調査も運動・安静直後に最も低く、日中に最も高くなったが、運動条件と安静条件で有意な差はみられなかった。その後の測定でも運動条件と安静条件間に差はみられなかった。先行研究

による認知機能や覚醒水準の日内変動と本実験の認知機能及び眠気調査の結果がほぼ一致しており、早朝に行った30分間の中強度有酸素運動は、認知機能及び覚醒に持続的な影響を与えることがなかったと考えられる。

従って、今後の実験では、①運動時間を長くすること②運動強度をあげること③一過性の運動効果を調査するのではなく、長期的に運動を行ったときの認知機能への影響をみることなどの改善点が挙げられる。

第 5 章 結論

本実験で明らかになったことを以下に示す。

(1) 30 分間の中強度有酸素運動は、Color word stroop test に関連する認知機能に一過性の影響を与える。

(2) 30 分間の中強度有酸素運動は、認知機能に一過性の影響を与えるが、その効果は持続しない。

(3) Go / no – go test、Wisconsin card sorting test は、短時間の中強度有酸素運動が認知機能に与える影響を評価するのには適さない。

本実験の結果から 30 分間の中強度有酸素運動は、認知機能に一過性の影響を与えることが明らかになった。また、30 分間の中強度有酸素運動は、認知機能に持続的な影響を与えないことも明らかになった。このことから、私たちの日常生活において早朝に 30 分間の中強度有酸素運動を行うことは、一時的に気分が良くなり、集中力が増すという現象については期待ができるものの、認知機能にそれほど大きな影響はなく、仕事能率が上がるという期待や、持続的に良い気分を維持できるということを証明する結果にはいたらなかった。しかし、運動を実施するタイミングを変えることによって、私たちの日常生活に好影響を及ぼす結果が得られるかもしれない。また、運動強度や運動内容を変えることで新たな知見が得られるかもしれない。いずれにせよ、身体に良いとされてい

る運動が認知機能にも好影響を与えることを証明し、世の中の人々に運動の有益性をより明らかにしていきたい。

第 6 章 謝辞

本論文を執筆するにあたり、多くの方々にご指導、ご協力して頂きました。心より感謝しております。

終始暖かくご指導して下さった内田直教授、宮崎先生、後藤先生、関口先生、飯田さん、小川さん、副査を快諾して下さいました山崎先生、彼末先生、有難うございました。

そして、実験に快く手を貸してくれた修士課程の仲間たち、学部生の皆さん、有難うございました。

最後に、陰ながら支えてくれた家族に深く感謝します。

平成 21 年 1 月

寺本圭子

参考文献

American College of Sports Medicine ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 5th ed. Baltimore Md: Williams & Wilkins; 1995.

秋山幸代,西平賀昭,八田有洋,麓正樹,金田健史,時任真一郎,下田政博. 長期的な運動経験が事象関連電位に及ぼす影響. 体力科学 49: 267-276,2000.

Bell R,Cardello AV,Schutz HZ. Relations among comfort of fabrics ratings of comfort,and visual vigilance. Perceptual and Motor Skills 97: 57-67,2003.

Borg GA. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine 2: 92-98,1970.

Chodzko-Zajko WJ.Physical fitness,cognitive performance and aging. Medicine and Science in sports and Exercise 23: 868-872,1991.

Davranche K,et al..Information processing during physical exercise: a chronometric and electromyographic study.Experimental Brain Research,165:532-540,2005 .

Dustman RE,Emmerson RY,Ruhling RO,Shearer DE,Steinhaus LA,Johnson SC, Bonekat HW,Shigeoka JW. Age and fitness effects on EEG,ERPs,visual

sensitivity, and cognition. *Neurobiology of Aging* 11:193-200,1990.

船橋新太郎.前頭葉の謎を解く.京都大学学術出版会:94-97,2005.

GOLD, S.M. et al..Basal serum levels and reactivity of nerve growth factor and brain-derived neurotrophic factor to standardized acute exercise in multiple sclerosis and controls. *Journal of Neuroimmunology* 138: 99-105,2003

Grant,D.A., & Berg,E.A. A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card sorting problem. *Journal of Experimental Psychology* 38: 404-411,1948.

Grego F,Vallier JM,Collardeau M,Bermon S,Ferrari P,Candito M,Bayer P,Magnière MN,Brisswalter J.Effects of long duration exercise on cognitive function,blood glucose,and counterregulatory hormones in male cyclists. *Neuroscience Letters* 364: 76-80,2004.

後藤栄司.血圧変動と交換神経活動.CLINICIAN 440: 24-28,1995.

Harada T,Okagawa S,Kubota K.Jogging improved performance of a behavioral branching task: implications for prefrontal activation. *Neuroscience Research* 49: 325-337,2004.

Hatta A, Nishihira Y, Kim SR, Kaneda T, Kida T, Kamijo K, Sasahara M, Haga S. Effects of habitual moderate exercise on response processing and cognitive processing in older adults. Japanese Journal of Physiology 55: 29-36, 2005.

Heaton,R.K. Wisconsin Card Sorting Test manual. Odessa,FL: Psychological Assessment Resources,1981.

樋口重和,前田明,本橋豊 (秋田大学医学部公衆衛生学講座).主観的眠気,脳の覚醒水準および認知機能の日内変動について.産衛誌 41 巻:117,1999.

Hillman CH,Belopolsky AV,Snook EM,Kramer AF,McAuley E. Physical activity and executive control: implications for increases cognitive health during older adulthood.Research Quarterly for Exercise and Sport 75: 176-185,2004.

Hillman CH,Snook EM,Jerome GJ. Acute cardiovascular exercise and executive control function.International Journal of Psychophysiology 48:307-314,2003.

Hillman CH,Weiss,E.P.,Hagberg,J.M.,Hatfield,B.D. The relationship of age and cardiovascular fitness to cognitive and motor processes. Psychophysiology 39: 303-312,2002.

紙上敬太．運動と脳の活性に関する研究小史．体育の科学 vol.58: 92-95,2008.

Kamijo K, Nishihira Y, Higashiura T, Kuroiwa K. The interactive effect of exercise intensity and task difficulty on human cognitive processing. International Journal of Psychophysiology 65: 114-121, 2007.

Kamijo K, Nishihira Y, Higashiura T, Hatta A, Kaneda T, Kim S, Kuroiwa K, Kim B. Influence of exercise intensity on cognitive processing and arousal level in the central nervous system. Advances in Exercise and Sports Physiology 12: 1-7, 2006.

紙上敬太，西平賀昭，八田有洋，金田健史，金勝烈，東浦拓郎．運動後に得られる快適感の違いが脳内情報処理過程に及ぼす影響．体育学研究 50: 663-673, 2005.

紙上敬太．運動強度が脳内刺激弁別過程に及ぼす影響．筑波大学大学院人間総合科学研究科 体育科学専攻:13-19,2005.

Kamijo K, Nishihira Y, Hatta A, Kaneda K, Kida T, Higashiura T, Kuroiwa K. Changes in arousal level by differential exercise intensity. Clinical Neurophysiology 115: 2693-2698, 2004.

Kamijo K, Nishihira Y, Hatta A, Kaneda K, Wasaka T, Kida T, Kuroiwa K. Differential influences of exercise intensity on information

processing in the central nervous system. European Journal of Applied Physiology 92: 305-311, 2004.

Kamijo K, Nishihira Y, Hatta A, Kaneda T, Kida T, Higashiura T, Kuroiwa K. Changes in arousal level by differential exercise intensity. Clinical Neurophysiology 115: 2693-2698, 2004.

鹿島晴雄, 加藤元一郎. 前頭葉機能検査－障害の形式と評価法－. 神経進歩 37 巻 1 号: 93-109, 1993.

鹿島晴雄, 加藤元一郎, 半田貴士. 慢性分裂病の前頭葉機能に関する神経心理学的検討 - Wisconsin Card Sorting Test 新修正法による結果 -. 臨床精神医 14: 1479-1489, 1985.

川村光毅. 認知機能についての機能解剖学的考察－正常と異常. <http://web.sc.itc.keio.ac.jp/~kokikawa/>, 1993.

Khatri, p., J.A. BLUMENTHAL, M.A. BABYAK, et al. Effects of exercise training on cognitive functioning among depressed older men and women. Journal of aging and physical activity 9: 43-57, 2001.

Lee T. Ferris, James S. Williams, Chwan-Li Shen. The Effect of Acute Exercise on Serum Brain-Derived Neurotrophic Factor Levels and Cognitive Function. Medicine & Science in Sports & Exercise 39(4): 728-734, 2007.

M.G.Lenne,T.J.Triggs,J.R.Redman.Time of Day Variations in Driving Performance. Accident; analysis and prevention vol.29: 431-437,1997

森国功.サーカディアンリズムを活用した運行管理事例.安全と健康 vol.7: 229-233,2006.

中川八郎,長井克也(著),脳と生物時計—からだのリズムのメカニズム.共立出版株式会社:18-39,1991.

Nakamura Y,Nishimoto K,Akamatsu M,Takahashi M,Maruyama A. The effect of jogging on P300 event related potential. Electromyography and Clinical Neurophysiology 39: 71-74,1999.

Nunneley SA,Reader DC,Maldonado RJ.Head-temperature effects on physiology,comfort,and performance during hyperthermia. Aviation,Space,and Environmental Medicine 53: 623-628,1982.

岡村法宜.長時間の計算作業による精神疲労が事象関連電位 P300 に及ぼす影響.産衛誌 49 巻: 203-208,2007.

Sroop,J.R. Studies of interference in serial verbal reaction. Journal of experimental psychology 18:643-662,1935.

Themanson JR,Hillman CH,Curtin JJ.Age and physical activity influences on

action monitoring during task swiching.Neurobiology of Aging:1335-1345, 2005.

Tomporowski PD. Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica* 112: 297-324,2003.

内田直. 脳画像からスポーツを測る. 臨床スポーツ医学 第23巻 第8号 別刷:937-938,2006.

渡邊丈夫.機能的磁気共鳴画像法を用いた NO-GO 反応に関わる大脳領域. 東北大学大学院医学研究科:401-404,2003.

Yagi Y,Coburn KL, Estes KM,Arruda JE. Effects of aerobic exercise and gender on visual and auditory P300,reaction time,and accuracy. *European Journal of Applied Physiology* 80: 402-408,1999.

Yamamoto T,PT,PhD Nara I,PT,PhD Shuntoh H,MD,PhD Matsuo Y,PT,PhD Nakamae T,OT,MS Morikawa T,OT. The effects of therapeutic exercise for cognitive function and nervous activity in the brain.神戸学院総合リハビリテーション研究 第2巻 第2号:42,2007.

山本哲史,山崎元.運動処方 of 最近の考え方.慶應義塾大学スポーツ医学研究センター紀要: 33-39,1999.