

# 朝の運動が加算作業成績や記憶テスト成績に及ぼす影響

佐々木光流\*・塩田正俊

The effects of physical exercise in the morning on the performance of calculation task and memory task

SASAKI Mitsuru and SHIOTA Masatoshi

(Received September 25, 2015)

## I. 緒言

運動実践が脳にどのような影響を及ぼすのか、また心身の統合的な発達のためにどのような運動が効果的かという研究は、学校教育で運動・スポーツの意義を再考するうえで重要である。

これまで運動と脳機能については、計算課題などを用いて学習効果の面から数多くの研究がなされている。しかしどのような運動が効果的かという研究は少ない。これまで運動と学習効果の関係についてはトレッドミルや自転車エルゴメータを用いての検討が多い。柏原ら(1997)は80W強度で10分間の自転車運動後に計算課題や記憶課題の成績が向上し、過度な強度になると低下するとしている。また、大森ら(2011)は、フィールドにおける中強度のジョギングを10分間および30分間行くとどちらも加算作業成績が向上するが、10分間の方がその効果が持続すると報告している。しかし、その他の運動様式について検討した報告は少ないようである。

Ratey(2009)によると、ネーパーヴィル・セントラル高校のカリキュラムに0時限体育と称して始業前に朝の運動を取り入れたところ、健康効果だけでなく学業の成績が目覚しく向上したことを報告している。この研究での運動は有酸素性の運動で週に2回、最大心拍数の75~90%強度の運動を短めに、残りの4日は65~75%強度の運動をやや長めに行っている。また、酸素消費が少なく技能を必要とする、体を動かしながら頭を使うような運動はより効果的であると指摘している。一方、古田ら(2002)は朝の運動が子どもの覚醒に及ぼす効果について、東京都の小学校の児童に運動非実施期間と早朝に運動を行う運動実施期間を1週間ずつ設定し検討している。運動実施期間には鬼ごっこ型の遊びを行わせた。朝、2時間目終了時および4時間目終了時に覚醒の指標となる棒反応値の測定を行った結果、曜日や時間によって運動実施期間、非運動実施期間ともに覚醒度の増減が見られ、朝運動が覚醒度に及ぼす効果は明らかではなかった。この結果より、古田らは今後、運動の種類による影響について検討する余地があるとしている。以上のように、これまでの研究では運動量や運動強度の定量が可能で持続的な運動様式での研究が多く、技能を必要とするような運動様式を用いて行った研究は少ないようである。

古田らが前述の研究を行った背景には、自身らが2000年に行った調査「子どものからだの調査2000」の中で「朝からあくびをする子」「授業中目がトロンとしている子」がそれぞれ44.9%、39.6%と多く、朝から活動的でない現在の子どもの状況が予想され、学校の授業の始まる時間になっても脳の覚醒水準が高まっていない子どもが少なからずいることを懸念

---

\* 山口大学教育学部スポーツ健康科学

している。したがって、早朝に運動を行うことで、早い時間帯から学習に向け脳の覚醒水準を上げる準備ができるようにすること、そして、そのためにはどのような運動様式が適切かを明らかにすることは重要な教育課題であろう。

そこで本研究では、朝に、心拍数が50%心拍予備の強度になるジョギング運動と技能および記憶力を必要とする迷路ドリブル運動を実施し、その前後に覚醒度テスト、計算課題や記憶課題を行い、異なる運動によってその後の計算課題などにどのような影響を及ぼすかについて検討した。

これらの運動により覚醒度、計算課題や記憶課題に良い効果が認められれば、運動が健康や体力づくりといった面だけではなく、午前中の学習効果を改善するといった、学校での新たな運動や体育の意義を見出すことが出来ると考える。

## II. 方法

### 1. 被験者

被験者は山口大学に所属する運動習慣のない健康な男子大学生8名であった。年齢は $22.0 \pm 0.5$ 歳、身長は $173.9 \pm 3.4$  cm、体重は $65.9 \pm 3.1$  kg、BMIは $21.8 \pm 1.0$   $\text{kg}/\text{m}^2$ であり、過去の運動経験はサッカーが3名、バスケットボールが3名、野球が2名であった。なお、本実験を行うにあたり、ヘルシンキ宣言（1964年、2008年改定）にある倫理的原則を基に、本研究の目的、方法および運動負荷、計算課題遂行に伴う不快感などを被験者に説明し、同意の上で実験に参加してもらった。

### 2. 実験方法

被験者は午前0時に就寝し、7時に起床、7時から7時30分の間に朝食(おにぎり二つとお茶)を摂った後、7時45分に実験室に来室した。実験のプロトコルを図1に示した。

来室した被験者は心拍計（HRモニターRS400、ポラル社）を装着し、その後実験室にて15分間の椅座位安静を保持した。実験中の心拍数は全実験期間を通して1分毎に記録した。次に運動前の測定として血中乳酸濃度、血中アンモニア濃度、血糖値、鼓膜温および棒反応値の測定を行った。その後、計算課題と記憶課題を行い、課題終了時に先の測定と同じ項目を課題①後測定として行った。課題①後測定終了後、被験者はグラウンドに移動し、ジョギングあるいはドリブル運動を行った（ジョギング実験、ドリブル実験）。また、対照実験として20分間の安静を保持した。運動終了後、被験者は実験室に戻り運動前と同様の測定を運動後測定として行い、次に計算課題と記憶課題を行った。これらの課題終了後に再び測定を課題②後測定として行い、実験を終了した。これらの3実験は順不同で行った。

研究室の室温は $25.6 \pm 2.1^\circ\text{C}$ 、相対湿度は $43.0 \pm 5.4\%$ であった。また、グラウンドの気象条件は気温 $6.3 \sim 14.5^\circ\text{C}$ 、相対湿度は $30 \sim 70\%$ の範囲であった。

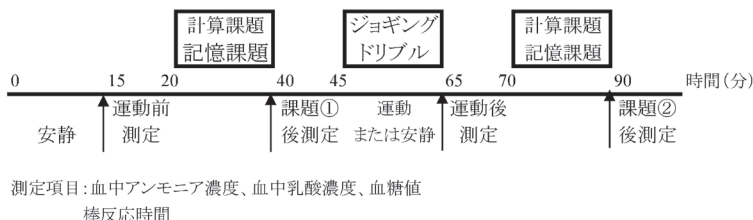


図1. 実験のプロトコール

### 3. 運動方法

ジョギングおよびドリブル実験では、まずウォーミングアップとしてラジオ体操第一を3分間程度行った。続いてジョギング運動、あるいはドリブル運動を15分間行った。ジョギング運動では50%心拍予備(50%HRR)強度の心拍数になるようHRモニターを見てジョギングを行った。ジョギングは特別なコースを設定せず、グラウンドを自由に走ってもらった。50%HRRは予測最大心拍数(220-年齢)を用いて、次の式から算出した。

$$50\%HRR = (\text{予測最大心拍数} - \text{安静心拍数}) \times 0.5 + \text{安静時心拍数}$$

ドリブル運動ではドッチボールを使用し、ドリブルを行うコースは4行5列にマーカーを置いて作成した。被験者は、検者がホワイトボードに示したコースを記憶し、そのコースに従いドリブルを行った。運動開始7分のところで課題の水準を上げるためボールを2個に増やし同様にドリブル運動を行った。

### 4. 測定項目及び測定方法

(1) 血中成分：血中アンモニア濃度は、血中アンモニア濃度測定器(ポケットケム BAPA-4130、ARKRAY)を用いて、血中乳酸濃度は、簡易乳酸濃度測定器(Lactate pro、ARKRAY)を用いて、血糖値は、血糖値測定器(ダイアセンサー、ARKRAY)を用いてそれぞれ測定した。  
(2) 鼓膜温：鼓膜温度計(VTTS-1000、EXERGEN Corporation)を用い、鼓膜温度計の先を外耳道に差し込み鼓膜温を測定した。温度は華氏で表示されるため摂氏に読み替えた。その計算式は以下の通りである。

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 \times (\text{F} - 32)$$

(3) 棒反応値：覚醒度の指標として用いられることが多いフリッカー値と相関のある棒反応値を大脳覚醒度の指標として測定した(古田ら、2002)。棒反応値の測定には、直径1.5 cmで1 cm間隔の目盛りがついた棒を用意した。被験者の利き手の手首を机の端に固定し、手を軽く開いた状態で、棒の0目盛りが人差し指と親指を繋いだ手の上端に来るよう設定し、不規則なタイミングで落ちる棒をできるだけ早く握るようにさせた。被験者には目線を目盛りの20 cmのところを注視するように指示し、握った手の上端の目盛りの値を棒反応値の記録とし、これを5回繰り返した。棒反応値は最大値と最小値を除いた3つの記録の平均値とした。

(4) 計算課題：計算課題としてクレペリンテスト(内田クレペリン精神検査-標準型-、日本・精神技術研究所)を用いた。クレペリンテストは一桁の加算作業で、一桁の数字が並んでいる用紙の数字の間に足し合わせた答えの下一桁を記入するものである。1分毎に合図をし、その合図で改行するよう指示し15分間行った。そのときの総回答数、正当数および誤答数を計測した。

(5) 記憶課題：中里ら(1981)が老人向けに作成した4×3マスの課題を7×4マスに作り変えたものを使用した。7×4のマス目を書いた用紙のマス目を黒いカードを用いて7マス埋めたものを見本として見せ、10秒間その位置を記憶させた。それを見えないように覆い、30秒間時間を取った。その後、「始め」の合図で別の用紙に黒いカードを用いて見本と同じ配置を再現させた。それに要した時間と正答率を測定し、これを5回行い、その平均値を記憶課題の記録とした。

### 5. 統計方法

血中乳酸濃度、血糖値、血中アンモニア濃度、鼓膜温、棒反応値、計算課題の総回答数、正答数、誤答数、記憶課題の正当数、回答時間は平均値±標準偏差で示した。これらの値の解析には反復測定による二元配置分散分析(運動要因×時間要因)を用いた。交互作用が認められた

場合には、運動要因についてはTukey法による多重比較検定を行い、時間要因については安静時の値とそれ以降の各測定時点での値とを対応のあるt検定で比較検討した。時間要因が有意であった場合には、contrasts法の検定を行うべきであるが、本研究では全条件の安静時の平均値とそれ以降の各測定時点での平均値とを対応のあるt検定で比較検討した。

また計算課題、記憶課題については運動前後の差に対して一元配置分散分析を行い、有意であった場合にはTukey法による多重比較検定を行った。棒反応値については運動前、課題①後の2回の測定の平均値と運動後、課題②後の2回の測定の平均値の差を求め、3実験間の平均値について一元配置分散分析を行い、有意であった場合にはTukey法による多重比較検定を行った。計算および記憶課題の成績と覚醒度との相関には回帰分析を用いた。有意水準はいずれも5%未満とした。

### Ⅲ. 結果

#### (1) 各実験条件での心拍数、鼓膜温および棒反応値の変化

図2に、安静および運動中の心拍数(A)、安静前、課題①後、運動後および課題②後の鼓膜温(B)および棒反応(C)の変化について示した。

3実験の安静時の平均心拍数は $67.6 \pm 7.0$ 拍/分で、運動中の平均心拍数はドリブル運動中が $112.4 \pm 18.1$ 拍/分、ジョギング運動中が $132.8 \pm 7.1$ 拍/分、その時間に対応する対照実験での心拍数は $72.2 \pm 7.2$ 拍/分であった。

各実験の鼓膜温の平均値は二元配置分散分析の結果、交互作用( $p < 0.0001$ )および時間要因( $p < 0.0001$ )が有意であった。交互作用が見られたため各群間について多重比較検定を行ったところ、運動後のドリブル実験( $p < 0.05$ )およびジョギング実験( $p < 0.01$ )の鼓膜温は、対照実験と比較し有意に低値を示した。また、時間経過に伴いドリブル実験の鼓膜温は運動前値に比べ運動後( $p < 0.05$ )に有意に低下し、課題②後に有意に上昇した。一方、対照実験の鼓膜温は、運動前値に比べ課題①後( $p < 0.05$ )、運動後および課題②後(いずれも $p < 0.01$ )に有意に上昇した。

棒反応値について二元配置分散分析を行った結果、交互作用( $p < 0.05$ )が有意であった。そこで、各群間について多重比較検定を行ったが、有意差はなかった。時間経過に伴いドリブル実験では運動前値に比べ有意( $p < 0.05$ )な低下が、対照実験では有意( $p < 0.05$ )な上昇が認められた。そこで、各実験の棒反応値の運動前と課題①後の平均値と運動後と課題②後の平均値の差をとり、一元配置分散分析を行ったところ有意であった( $p < 0.05$ )。Tukey法による多重比較検定の結果、対照実験に比べドリブル実験で棒反応値が有意に減少していた。

#### (2) 各実験条件での血液成分の変化

図3に、運動前、課題①後、運動後、課題②後の血中乳酸濃度(A)、血糖値(B)および血中アンモニア濃度(C)の変化について示した。

血中乳酸濃度および血中アンモニア濃度についての二元配置分散分析の結果は、いずれも交互作用、運動要因および時間要因ともに有意ではなかった。

血糖値について二元配置分散分析を行ったところ、時間要因( $p < 0.001$ )のみ有意であった。そこで、全実験の運動前の平均値から、それ以降の各計測時点での平均値を対応のあるt検定で比較したところ、運動前の血糖値に対して課題①後、運動後および課題②後に有意に低下していた( $p < 0.01$ )。



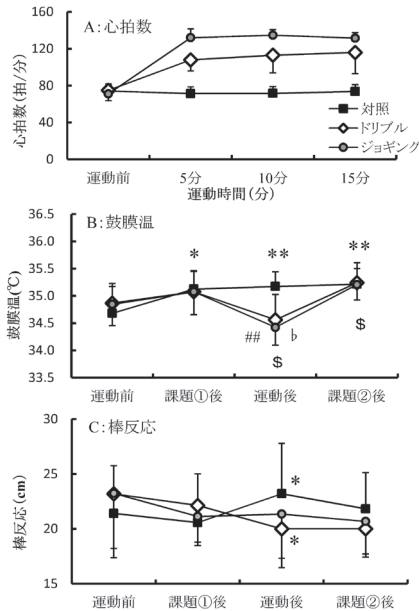


図2. 運動中の心拍数の変化 (A)、運動前後および課題①②後の鼓膜温 (B)、棒反応 (C)の変化

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$  vs 対照の運動前値 (交互作用 :  $p < 0.0001$ )  
 \$ :  $p < 0.05$  vs ジョギングの運動前値  
 b :  $p < 0.05$ , 対照 vs ドリブル, ## :  $p < 0.01$ , 対照 vs ジョギング

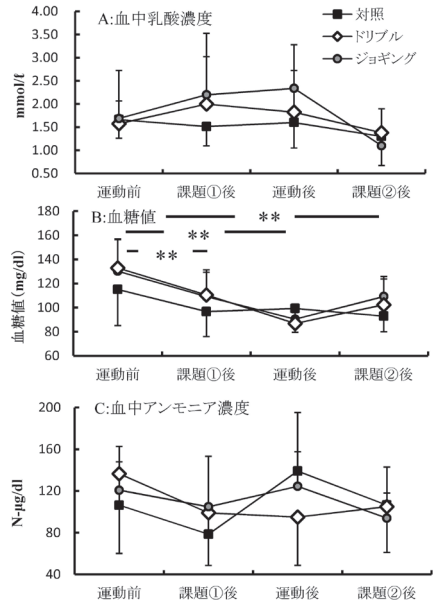


図3. 運動前後および課題①②後の血中乳酸濃度、血糖値および血中アンモニア濃度の変化

\*\* :  $p < 0.01$  vs 運動前値 (時間要因 :  $p < 0.001$ )

### (3) 計算課題および記憶課題の変化

図4に、課題①と課題②で行った計算課題の総回答数、正答数および誤答数、記憶課題の正答数について示した。

計算課題の総回答数について二元配置分散分析を行ったところ、交互作用 ( $p < 0.05$ ) および時間要因 ( $p < 0.001$ ) が有意であった。交互作用が認められたため、各群間について多重比較検定を行ったところ、有意差は見られなかった。また、時間経過について運動前後の値に対して対応のあるt検定を行ったところ、ドリブル実験、ジョギング実験において運動後の総回答数は運動前値に比べ有意に増加したが (いずれも  $p < 0.01$ )、対照実験では有意差は見られなかった。

計算課題の正答数について二元配置分散分析を行ったところ、交互作用 ( $p < 0.05$ ) および時間要因 ( $p < 0.001$ ) が有意であった。交互作用が見られたため、各群間について多重比較検定を行ったが、いずれの群間にも有意差はなかった。また、時間経過について運動前後の値に対して対応のあるt検定を行ったところ、ドリブル実験、ジョギング実験において運動後の正答数が運動前値に比べ有意に増加した (いずれも  $p < 0.01$ )。

計算課題の誤答数について二元配置分散分析を行ったところ、交互作用 ( $p < 0.01$ ) のみ有意であった。そこで、各群間について多重比較検定を行ったが、有意差はなかった。また、時間経過について運動前後の値に対して対応のあるt検定を行ったところ、対照実験において誤答数が有意に増加し ( $p < 0.05$ )、ジョギング実験において誤答数が減少する傾向が見られた ( $p = 0.051$ )。

記憶課題の回答数について二元配置分散分析を行ったところ、交互作用 ( $p = 0.061$ )、運動

要因は有意ではなく、時間要因のみ有意であった ( $p < 0.05$ )。そこで、全実験条件の運動前後の平均値に対して対応のあるt検定を行ったが、有意差はなかった。また、記憶課題の回答時間について二元配置分散分析を行ったところ、時間要因のみ有意であった ( $p < 0.05$ )。そこ全実験条件の運動前後の平均値に対して対応のあるt検定を行ったが、有意差は見られなかった。

**(4) 運動前後の計算課題の総回答数の差、正答数の差、誤答数の差、および運動前後の記憶課題の解答時間の差**

図5に、計算課題の総回答数、正答数、誤答数および記憶課題の正答数について、課題①と課題②の差の平均値を示した。

総回答数の差について一元配置分散分析を行ったところ有意な傾向があり ( $p = 0.0538$ )、ドリブル実験、ジョギング実験、対照実験の順に総回答数が高くなる傾向にあった。

計算課題の正答数の差について、一元配置分散分析を行ったところ有意 ( $p < 0.05$ ) であり、Tukey法による多重比較検定の結果、ドリブル実験の正答数の差が対照実験に比べ有意 ( $p < 0.05$ ) に高値であった。

計算課題の誤答数の差について、一元配置分散分析を行ったところ有意 ( $p < 0.05$ ) であり、Tukey法による多重比較検定を行ったところ、ジョギング実験 ( $p < 0.01$ ) およびドリブル実験 ( $p < 0.05$ ) の誤答数は、対照実験と比べ有意に低値を示した。

記憶課題の正答数の差は一元配置分散分析の結果、有意な傾向 ( $p = 0.061$ ) を示した。

また、計算課題の総回答数、正答数および誤答数と覚醒度の変化について両者の相関を検討した。覚醒度と計算課題の総回答数 ( $r = 0.046$ )、正答数 ( $r = 0.041$ )、誤答数 ( $r = -0.155$ ) には有意な相関関係は得られなかった。また、記憶課題成績と覚醒度の変化についても相関を検討したが、覚醒度と記憶課題の正答数 ( $r = 0.335$ )、回答時間 ( $r = -0.041$ ) に有意な相関関係はなかった。

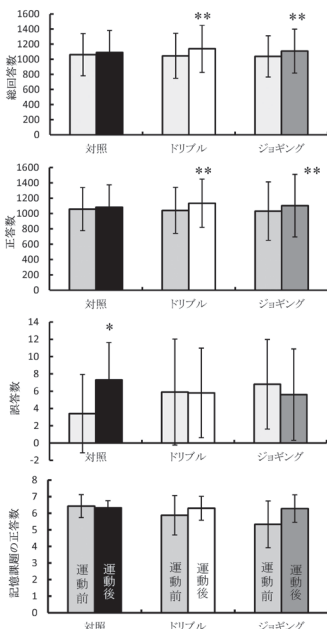


図4. 運動前後の計算課題の総回答数、正答数、誤答数、および運動前後の記憶課題の正答数

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$  vs 運動前値 (交互作用 :  $p < 0.05$ )

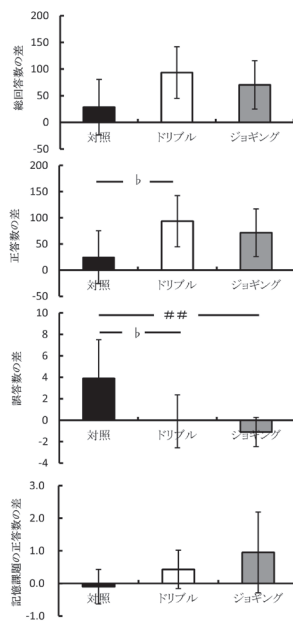


図5. 運動前後の計算課題の総回答数の差、正答数の差、誤答数の差および運動前後の記憶課題の正答数の差

b :  $p < 0.05$  対照 vs ドリブル, ## :  $p < 0.01$  対照 vs ジョギング (一元配置分散分析 :  $p < 0.05$ )

## IV. 考察

### (1) 運動強度、運動様式の違いが計算、記憶課題成績に及ぼす影響

本研究における安静時及び運動時の平均心拍数は、安静時が67.6拍/分であり、ドリブル運動時が112.4拍/分（約30%HRRの強度）、ジョギング運動時が132.8拍/分（約50%HRRの強度）であった。運動強度について、征矢ら（2011）は、50% $\dot{V}O_2$ max強度の自転車運動を10分間行くと、運動前後のカラーワードテストにおける不一致課題と中立課題の遂行時間の差で表される実行機能が向上すること、軽運動により前頭前野の血流量が増加し脳が活性化されて認知機能が高まることなどを報告している。

50% $\dot{V}O_2$ maxの心拍数は一般的に120～130拍/分程度で、本研究のジョギング実験における心拍数とほぼ同じである。また大森ら（2011）の研究でも、主観的運動強度（RPE）が11のジョギング運動を10分間行くと、運動前後で計算課題成績が向上したとしており、このときの心拍数は140拍/分程度である。これらの研究は、心拍数が120～140拍/分であれば計算課題成績等は改善されることを示している。本研究で用いた運動では、ジョギング運動時の心拍数の平均値は132拍で120～140拍/分の範囲内にあり、ドリブル運動時の心拍数の平均値は約112拍/分で120拍/分以下である。これらのことから、先行研究と同程度の心拍数の上昇を示した本研究のジョギング運動においても、計算課題の総回答数が増加し正確性も向上していたが、さらに低い強度であるドリブル運動でも同様に計算課題は向上したことがわかる。

Henningら（2008）は、normal sport lesson（NSL群）として体育教師による中等度強度の運動と、coordinative exercise（CE群）として短期間で左右非対称のコーディネイティブ能力（例えば、バランス、反応速度、調整力、判断力など）が負荷される運動を13～16歳の生徒に行わせ、認知機能と集中力を評価するd2-testをそれぞれの運動前後で実施した。その結果、各運動で強度の指標とした心拍数は変わらなかったが、CE群の方がよりテスト成績が向上していた。Henningらは、この原因はCEの運動特性によるもので、NSLのような単純な運動よりCEなどの運動の方が脳の活性を高める可能性を示唆している。これらのことから課題成績には、運動強度だけではなく運動様式も影響する可能性が考えられる。本研究で、ドリブル実験で対照実験に比べ計算課題の正答数の変化量が有意に増加していたことは、ジョギング運動などの単純な運動よりも技能や記憶力を必要としたドリブル運動のほうが、強度が低い場合でも計算課題成績に改善が見られる可能性があるとして示唆される。

記憶課題について、柏原ら（1997）の研究によると、エアロバイクを用いた80Wの運動を10分間行うことで記憶課題成績や計算課題成績は向上するとしている。しかし、本研究においては計算課題の向上は見られたが、記憶課題については明らかな成績の向上は見られなかった。そこで、計算、記憶課題の評価方法を見ると、運動負荷が計算課題に及ぼす影響の評価には、クレペリンテストが多く用いられ、大森ら（2011）や柏原ら（1997）の研究においても、クレペリンテストによる加算作業成績が安静時の成績に比べ増加したと報告している。本研究においても、計算課題はクレペリンテストを用いて検討し、先行研究と同様に計算課題成績の向上を認めている。計算課題成績の評価についてはクレペリンテストを用いている研究が多く、その評価も一定しているようである。一方、記憶課題の評価方法については、様々な課題が用いられている。記憶課題が向上したことを報告している柏原らの研究と、有意な向上が見られなかった本研究での結果の違いには、異なる形式の記憶課題を用いた事の影響が考えられる。柏原らは新制田中B式知能検査を改良したものをを用いており、これは様々な記号に当てられた

数字を記憶し、問題用紙に書いてある記号の下にその数字を記入するという短期記憶課題である。これを15秒毎に改行し300秒間行っていた。本研究で用いた記憶課題は中里ら（1981）の報告を基に作成したが、このテストは高齢者用であり、またこのテストは抽象的な空間図形刺激を用いており、かつ新しい課題を記憶し学習することが要求される、空間的図形的記憶を測定するテストであるとしている。このような評価方法の違いが、本研究での記憶課題成績が明確にならなかった要因の1つであると考えられる。

## （2）朝の運動が覚醒度に及ぼす影響および覚醒度が運動後の計算、記憶課題成績に及ぼす影響

本研究では覚醒度をみる指標として棒反応値を測定した。一般に、脳の覚醒水準を検討する際に最もよく採用される方法にフリッカー値があるが、これは測定方法の説明に時間を費やすこと、子どもに実施する場合の理解度、また多くの装置を用意する困難さなどから学校現場などでは最適とは言えない。そこで、それに変わり棒反応値が利用されている。棒反応値で得られた値はフリッカー値との相関も認められており、脳の覚醒水準の指標として用いることができる（古田、2002）。

本研究の結果より、運動前後の棒反応値の変化量においてドリブル実験は対照実験より有意（ $p<0.05$ ）に小さく、ドリブル実験で覚醒度が高まっていることが示された。またジョギング実験においても対照実験と比較し棒反応値が小さく覚醒度が高い傾向にあった（ $p=0.054$ ）。運動後の計算課題の総回答数がドリブル実験、ジョギング実験、対照実験の順に多くなっていること、正答数がドリブル運動およびジョギング運動において増加したこと、また、記憶課題の正答数に関してはジョギング実験、ドリブル実験、対照実験の順に向上する傾向が見られたことから、朝行う運動によって覚醒度が高まったことが計算、記憶課題成績に影響した可能性がある。しかし覚醒度の変化と計算、記憶課題成績の変化との間の相関を検討したところ、有意な相関は認められなかったことから、それ以外の要因が影響していることも考慮しておく必要がある。

覚醒度についてEasterbrook（1959）は低覚醒状態では知覚範囲が広く、計算課題を行うことに不必要な手がかりと必要な手がかりの両方を認知できるのでパフォーマンスは低くなる。つまり計算課題において不必要な情報を認知してしまい計算効率が低下する。さらに中程度あるいは至適ポイントに覚醒が達するまでは、不必要な手がかりに対する知覚が選択的に減少することで、パフォーマンスが高まり、計算課題においても必要な情報だけに集中でき解答の効率が上昇する。しかし至適ポイントを超えた高覚醒状態に至ると必要な手がかりに対する知覚も減少するためパフォーマンスが低下すると報告している。

本研究におけるドリブル運動は低強度であるが、覚醒度が有意に増加していた。このことからジョギングなどの単純な運動では、中程度の強度で覚醒が高まるが、ドリブル運動などの複雑な運動では低強度でも覚醒が高まる可能性があり、それが一つの要因となりドリブル運動において計算課題成績が改善されたのかもしれない。

また、覚醒度への睡眠時間の影響について、廣瀬ら（1986）は中学2年生を対象に検討している。睡眠時間調査の結果によると午前0時以降に就寝した者はそれ以前に就寝した者よりも翌日の脳の覚醒水準が低いレベルにあった。また生活リズムを朝型・中間型・夜型に区別した時、夜型では翌朝の脳の覚醒水準が低下することを示唆している。本研究では就寝時間を午前0時に、起床時間を午前7時に設定したが、これらのことより、実験前日の睡眠時間は覚醒度へ悪影響を与えなかったと考えられる。しかし、本研究では前日の睡眠時間のみコントロー



ロールしたため、それまでの各被験者の生活リズムが被験者の脳の覚醒水準に影響している可能性はあるのではないかと考えられる。

### (3) 計算、記憶課題成績に対する運動の効果の機序

前述のように運動が計算、記憶課題成績、特に計算課題成績に与える影響については、覚醒度以外の要因についても考える必要がある。課題成績の向上は、運動により脳の前頭前野への血流が増加したことによって生じた可能性がある(征矢, 2011)。また、注意を集中することや計算課題の遂行時には前頭前野の賦活が関与すると考えられている(大森, 2007)。以前の研究では運動時も脳血流量(CBF)は常に一定に保たれるとされてきたが、佐藤ら(2012)によると、最近の研究では、運動時におけるCBFは一定ではなく変動するとする報告が多い。高齢者の動的運動時においては低強度から中強度にかけて、内頸動脈および椎骨動脈血流量は20~30%程度増加するが、高強度では減少する。これには運動に伴う脳神経活動、代謝亢進が関与している。神経活動の亢進には、血液による酸素およびグルコースの供給が必要不可欠であり、その需要に応えるためCBFは増加する。この他にも、動脈血の二酸化炭素濃度や血圧、心拍出量、自律神経活動などが複雑に脳循環調節に関係していると考えられる。これらの報告から、中強度の運動で最もCBFが増加し、相対的に前頭前野の血流量が増加することで、課題成績にも影響したことが考えられる。また脳の機能的な活動には酸素とグルコースが必要なことから、それらを運搬する血流の増加が神経活動に関係すると考えられている。脳の活動により血流の需要が増加することに対して、運動によって血流が増加することが影響し、課題作業の成績へ影響した可能性が考えられる。

脳機能に影響を及ぼす要因として鼓膜温、血中乳酸濃度、血糖値、血中アンモニア濃度を測定した。まず鼓膜温については、本実験は10月~11月に行なったため、グラウンドで行われたドリブル実験およびジョギング実験では寒冷刺激があったことが予想される。実験室の室温は25℃前後に設定しており、外気温は14.5℃から6.3℃であった。また、グラウンドでの相対湿度は70%~30%程度であり、研究室の湿度は40%程度であった。運動後の鼓膜温の結果は、室温一定の室内で安静にしている対照実験と比較し、ドリブル実験およびジョギング実験の運動後で有意に低下していた。寒冷刺激を受けると非ふるえ熱産生、ふるえ熱産生などの熱産生型や皮膚血管の収縮などの断熱型の変化が起こり、これにより体温が一定に保たれる。また運動によって筋の活動が活発になると、体温は上昇し、深部温も上昇する。しかし、運動実験後に測定した鼓膜温は低下していることから、今回の条件での鼓膜温の測定には外気温が影響しており、深部温の指標としては、必ずしも正確でない可能性も考えられる。また低体温症になると課題への意欲や認知が低下することが知られているが、その基準は鼓膜温で34度である。本研究では34度を下回る値は計測されていない。これらのことより、課題成績や覚醒度への影響は、寒冷刺激による影響より運動刺激による影響のほうが高い可能性が考えられる。

血中乳酸濃度や血中アンモニア濃度は有意な変化は見られず、対照実験、ドリブル実験およびジョギング実験の各運動様式において計算課題や記憶課題への影響はなかったと考えられる。血糖値は運動前と比較して、課題①、運動後、課題②が有意( $p<0.01$ )に低かった。これは一般に食後30分~60分で血糖値は最高に達し、3時間後に正常に戻る。本研究では食後30分程度で一度目の血糖値測定をしているため、最初に測定する運動前での値が高くそれ以降の値が減少したと考えられる。課題②後の血糖値をみると対照実験では運動後測定の値から大きな変化はないが、ドリブル実験およびジョギング実験では運動後の値が最も低くなり、そこから増

加する傾向がある。この運動後の血糖値の変化は、運動時は血液中のグルコースの組織への取り込みが促進されるため一時的に血糖値は減少するが、その後フィードバックとして血糖が上昇することによると考えられる。大村(1996)によると、58～76歳のヒトにグルコースを投与すると、記憶課題のうち4課題の成績について有意な改善がみられ、また計算課題成績についても同様に血糖値が高く維持されているほうが、計算課題の正答率が高い傾向にあったと報告している。本研究では、計算課題および記憶課題は、運動前の血糖値に比べ課題①、課題②のそれが低い状態で行われており、この血糖値の低下が課題成績に影響した可能性も考えられるが、3条件間および課題①および課題②の血糖値水準はほぼ同程度であり、課題作業成績の違いには運動刺激が影響していたと考えられる。

本研究においては、運動による脳血流量の変化は明らかではない。本研究では、脳機能に影響を及ぼす要因として、鼓膜温、血中乳酸濃度、血糖値、血中アンモニア濃度を測定したが、運動時の鼓膜温の低下に関して、寒冷刺激の影響も考えられたが、鼓膜温の低下は課題成績に影響を及ぼすほどの低下ではなく、また、血糖値の低下は課題成績に影響を与えた可能性があるが、両要因とも運動様式間では差はなかったため、課題への影響は同じであったと考えられる。したがって、運動が計算課題の成績を増加させたと考えられ、これらの要因が課題成績に影響した可能性は少なかったと考えられ、運動刺激の影響の方が大きい可能性が考えられた。

## V. まとめ

以上より本研究の結果は、計算課題においてドリブル運動およびジョギング運動は総回答数および正答数を有意に増加させ、誤答数を有意に減少させた。また、記憶課題の正答数を増加させる傾向を示した。さらに、朝のドリブル運動は運動前と比べ覚醒度において有意に高値を示し、ジョギング運動においても増加する傾向を示した。計算課題成績の向上は、朝の運動によって覚醒度が高まったことが一つの要因であると考えられる。しかし覚醒度の変化と課題成績の変化の間に有意な相関は見られなかったため、覚醒度以外の要因が影響していた可能性も考慮すべきであると考えられた。運動様式の違いについては、ドリブル運動は運動をしないで安静にしているより覚醒度が高く、計算課題の正答数も有意に増加し、さらに総回答数も3実験の中で一番高い値にあった。このことよりドリブル運動の方がより覚醒を高め計算課題成績を向上する可能性があるが、記憶課題成績については、運動条件間では差は見られなかったため、明らかではない。運動様式については今後さらに検討が必要だと考えられる。

## VI. 謝辞

本稿を校閲の上、貴重なご助言をいただいた丹信介教授に、深く感謝いたします。また、本研究の主旨を十分にご理解し、協力していただいた被験者の方々にも深く感謝いたします。

## VII. 参考文献

- Easterbrook J A: The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior. Psychol. Rev. 66 (3) : 183-201, 1959
- 古田千恵子、野井真吾、正木健男：朝の運動が子どもの覚醒に及ぼす影響-棒反応値を指標として。日本体育大学紀要 31 (2) : 101-109, 2002
- Henning B, Claudia V, Sascha P, Pedro R, Gunter T: Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. Neuroscience Letters 441: 219-223, 2008

- 廣瀬正義、高橋基泰、野崎忠信、宮崎義憲：中学生における睡眠不足が体調に及ぼす影響について. デザントスポーツ科学 6：258-264, 1986
- Ratey JJ著（野中香方子訳）：脳を鍛えるには運動しかない！ 日本放送出版協会 東京 pp1-46, 2009
- 柏原考爾、佐藤幹寛、室田真男、清水康敬：計算課題と記憶課題における身体運動と学習能率の関係に関する検討. 信学技法 ET97-87：49-53, 1997
- 中里克治、下仲順子：老人の記憶機能を測定するテストの作成. 教育心理学研究 29（3）：240-244, 1981
- 大森肇、権藤雄一、澤入正通、窪田辰政、大城戸道生：中強度運動の継続時間が計算課題成績の向上と維持に及ぼす影響. 日本運動生理学雑誌 18（2）：47-54, 2011
- 大森肇、澤入正通、窪田辰政、村上繁：運動が計算課題遂行に及ぼす影響と脳機能計測法によるメカニズムの検討. 東海大学紀要海洋学部 5（2）：47-54, 2007
- 大村裕：グルコースと記憶・促進. 医学のあゆみ 177（12）：817-820, 1996
- 佐藤耕平、平澤愛、定本明子：高齢者の脳血流量と配分比. 体育の科学 62（3）：171-176, 2012
- 征矢英昭、兵頭和樹：運動・スポーツは脳を育てる. 体育科教育 59（3）：10-14, 2011