

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 3月30日現在

機関番号：32620

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500608

研究課題名（和文） コーディネーション運動による行動選択能力への効能

研究課題名（英文） Change in behavioral selection time after COORDINATION EXERCISE requiring reactivity

研究代表者

竹内 敏康（TAKEUCHI TOSHIYASU）

順天堂大学・スポーツ健康科学部・客員教授

研究者番号：50053294

研究成果の概要（和文）：本研究は行動選択能力に焦点をあて、行動選択に要する時間（行動選択時間）が短時間のコーディネーション運動を実施した後に改まることを検証した。被験者は、単純反応時間と Go/NoGo 選択反応時間課題という2つの課題をコーディネーション運動の前後で実施した。これら2つの反応時間課題の差は行動選択時間を意味する。その結果、行動選択時間は同運動実施後に短縮する傾向にあった。これは、行動選択能力のような認知機能が短時間のコーディネーション運動によって変化することを意味する。

研究成果の概要（英文）：The present study focused on ‘behavioral selection’, and investigated whether the behavioral selection time (BST) is altered by briefly performing coordination exercise (CE). Participants were asked to perform two response time tasks; a simple response time task (SRT) and a Go/NoGo choice response time task (CRT). These tasks were carried out before and after CE. We defined BST as the difference between SRT and CRT. In the result, BST tended to come shorter for high performance players after CE and longer for low performance players. Our finding shows that cognitive functions, such as behavioral selection, were influenced by short-time CE.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：スポーツ科学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：コーディネーション運動、スポーツトレーニング、行動選択能力、認知機能

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始時において「コーディネーション運動」は、日本体育協会のジュニアスポーツ養成コースに導入されて数年を経過した時期であった（日本体育協会、公認ジュニアスポーツ指導員養成テキスト、2005年）。

コーディネーション運動をスポーツや体育で安全且つ効果的に実施するためには、コーディネーション運動が身体へ与える影響を詳細に分析し、適切な実施方法を確立する必要がある。しかし、コーディネーション運動の効果に関する科学的な知見については十分ではなく、一層効果的に同運動を指導するための研究が求められていた。

Bernstein (1968年)の生理学的な運動制御理論の中で定義された「コーディネーション」は、「膨大な筋活動の組み合わせとその結果生じる関節運動を脳が獲得することによって、より効率的な動きの制御が可能になる」という制御の組織化を意味する用語である。このような理論背景を基に考案されたコーディネーション運動では、“多様で複雑な随意動作を実施する”事で、効率的な動きの学習を促進する事が重要なポイントとなっている。つまり、コーディネーション運動とは、身体動作の自由度、すなわち「体の様々な動かし方」を学習することを目的としており、とりわけ児童においては、かつて「外遊び」で獲得できていた身体能力の発達を促す効果も期待される。

その一方で、コーディネーション運動の副作用的な「効能」に関する研究も進められており、MochizukiとKirinoは、コーディネーション運動によって認知機能に携わる脳領域が賦活することを報告している（Mochizuki and Kirino, 2008）、この結果は、コーディネーション運動の複雑性という特性が高次脳機能の発達や回復にも有効である可能性を示している。そこで本研究課題は、この可能性を検証するために計画された。

本研究課題は、以上の目標達成により、運動による高次脳機能への効能に関する知見を提供することで、学校体育と脳健康への寄与を目指したものである。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、コーディネーション運動が高次脳機能に影響することを確かめるために、認知機能のうち「行動選択の素早さ（判断能力）」に着目し、同運動の実施によって判断能力が改まるか否かを検証した。

## 3. 研究の方法

### (1) 被験者

本研究では、既に開発されているバスケットボール選手でのコーディネーション運動を利用して実験を計画した。

コーディネーション運動をトレーニングとして実施した経験のないJ大学バスケットボール部に所属する健常な女子学生18名（18歳から22歳）が、被験者として実験に参加した。被験者らは同じチームに所属し、日常の練習では同一の練習内容を集団で行っていた。

実験に先立って、彼女らは実験内容に関する十分な説明を受け、被験者として参加することに同意した。また、事前に、本実験で被験者が実施する課題及び使用する手法については、順天堂大学スポーツ健康科学部倫理委員会の承認を得た（順大ス倫第20-7号）。

### (2) 実験手順

被験者は、はじめに座位で両手に反作用の押しボタンを持ち、前方に設置したコンピュータディスプレイに提示される視覚刺激に対して2種類の反応時間課題を行った。被験者の頭部（鼻根）からディスプレイまでの距離は約1mであった。1つめの反応時間課題では、「赤い円」の視覚刺激が左視野に提示された場合に左手で、反対に右視野に提示された場合に右手で素早く応答する事が求められた。この時、ディスプレイ上に提示される刺激図形が「青い円」であった場合には反応しないように教示した。このGo/Nogo選択反応時間課題（Go/Nogo choice response time test; CRT）では、視覚刺激に対して素早く反応するという要素に加えて、提示された刺激図形に応じて適切な応答を選択するという行動選択能力が要求される。また、単純反応時間課題（simple response time test; SRT）では、CRTと同じように、「赤い円」また「青い円」が左右いずれかの視野に提示されるが、その図形や視野に関係なく、右手に持ったボタンを拇指で押す事で素早く反応するように教示した。2つの反応時間課題で提示される「図形（赤い円または青い円、直径20mm）」と「提示位置（左視野または右視野）」はランダムに組み合わせられ、各刺激条件で10回ずつ計40回提示された。また、反応時間課題中に被験者はディスプレイ中央に常に提示されている注視点を注視しながら、左右視野（注視点から左右の各刺激提示位置の角度（視野角）は5度）に提示される刺激図形に対して応答する事が求められた。なお、反応時間測定装置の誤差は1msec未満であった。

反応時間課題に続いて、被験者は運動課題を実施した。運動課題では、状況判断が必要とされるコーディネーション運動種目から5種目を約15分間（各種目約3分）実施した。この時、被験者には「各種目で要求される運動課題を全力で遂行する」よう教示した。

最後に、短時間のコーディネーション運動による中枢神経系への影響を確かめる為に、

運動課題前に実施した反応時間課題と同様な方法でCRTとSRTを再度行った。

### (3) 反応時間課題による行動選択時間の計測

本実験では、上述の2種類の反応時間課題を実施する事で、中枢神経系の「行動選択の早さ」の評価を試みた。SRTは「視覚刺激に対して筋運動を実行する早さ」を意味するが、CRTでは「視覚刺激に対して、適切な反応を選択して筋運動を実行する早さ」を意味する。したがって、SRTとCRTの反応時間の差は、「適切な反応を選択する」ために要する時間（行動選択時間、behavioral selection time; BST）である。本研究では、運動課題前後でBSTを求めて比較した。

CRT課題で反応時間が計測できる条件（赤い円提示時）は、左手（左視野刺激）または右手（右視野刺激）による2種類の反応方法があった。本研究では、SRTとCRT課題間において「視野の違い」と「反応する手の違い」という2つの要因を排除する為に、SRT課題CRT課題共に「右視野に赤い円が提示された時」の「右手による反応」を反応時間とした。

### (4) コーディネーション運動の実施種目とパフォーマンス評価

本研究では、既に開発されているコーディネーション運動の中から、「合図に応じて反応する」という内容を含む反応能力を要する運動を選択し、被験者が運動課題として実施したコーディネーション運動の種目は、1) ドロップボールキャッチ課題、2) リアクションキャッチ課題、3) リアクションパス課題、4) ハンドタッチ課題、5) キャッチ・プル課題であった（東根他 2006年、荒木他 2007年、竹内 2008年）。これらの運動課題は被験者間で無作為に実施された。これらの課題は、コーディネーション運動の反応系種目として位置付けられている。また、バスケットボール選手を対象とした為、バスケットボール選手に対して開発された「ボールを用いた運動種目（竹内 2008年）」も実施した。コーディネーション運動では2人1組で行う運動が多く、本実験でも体育・スポーツ活動での実際の実施状況に準じて2人1組での課題を採用した。事前にリーダー（運動補助者）とパートナー（運動者）の役割を決定して行う課題（ドロップボールキャッチ課題、リアクションキャッチ課題、及びリアクションパス課題）では、課題毎に役割を交代しながら運動が進行した。したがって、これらの3種目の実施時間（計9分間程度）のうち、各被験者はリーダーとパートナーをそれぞれ4~5分ずつ経験したこととなる。また、残りの2種目（ハンドタッチ課題とキャッチ・プル課題）では、ジャンケンの結果によって異なる運動

課題が要求された。各運動種目の内容は、以下のとおりである。

#### ①ドロップボールキャッチ課題

本課題では、リーダーが肩の高さから落とした大きめのボール（本実験ではバスケットボール）を、パートナーが素早くキャッチすることが求められ、ボールが床に落ちる前にキャッチできると課題成功と判断した。この課題を20回繰り返した後、リーダーとパートナーの役割を交代して同様の手順で課題を再度実施した。

#### ②リアクションキャッチ課題

本課題では、リーダーが左右の手に持ったテニスボールのどちらか1個を落とし、パートナーはこれを素早くキャッチすることが求められた。本課題においてもボールが床に落ちる前にキャッチできた時に課題を成功したとみなした。この課題を20回繰り返した後、リーダーとパートナーの役割を交代して同様の手順で課題を再度実施した。

#### ③リアクションパス課題

本課題では、もしリーダーが床面でバウンドさせないチェストパスを出したら、床面にワンバウンドさせてボールをリーダーに返し（バウンドパス）、反対にリーダーがバウンドパスを出したら、チェストパスでボールを返すことが求められた。この課題を20回繰り返した後、リーダーとパートナーの役割を交代して同様の手順で課題を再度実施した。

#### ④ハンドタッチ課題

本課題では、2人1組で向かい合って立ち、左手を握り合った。そして、ジャンケンを行って、勝った方が握っている相手の左手に右手で素早くタッチし、負けた方は左手をタッチされないように右の手のひらで自身の左手をガードすることが求められた。この課題は90秒間繰り返した後、課題を行う手を入れ替えて同様な手順で課題を再度実施した。

#### ⑤キャッチ・プル課題

本課題では、2人1組で向かい合って立ち、左手で軽く握り合った。そして右手でジャンケンを行い、勝った方が素早く左手を握りしめ、負けた方は素早く左手を引くことで繋いでいる手を離すことが求められた。この課題を90秒間繰り返した後、課題を行う手を入れ替えて同様な手順で課題を再度実施した。

実施した運動課題の内、課題の成否を明確に確認できるドロップボールキャッチ課題とリアクションキャッチ課題の2種目で、各種目で20試行中にボールをキャッチできた回数（成功回数）を記録した。この成功回数が多い被験者では、少ない被験者よりも容易に課題を実施できた事を意味する。本研究では、この成功回数を各被験者の運動課題に対

するパフォーマンスを評価する為の指標とした。

#### (5) 統計解析

短時間のコーディネーション運動が中枢神経系に与える影響を検証する為に、運動課題前後でSRTとBSTの平均値を各被験者で算出し、各被験者の平均値を代表値として全被験者の平均値を求めた。そして、運動課題前後の差をpaired t-testで比較した。

さらに、各被験者の運動課題に対するパフォーマンスによって、SRTとBSTへの影響が異なる可能性を検証する為に、ドロップボールキャッチ課題とリアクションキャッチ課題の各運動種目における「成功回数」と「時間変化量（運動課題前後の時間差）」の相関係数を求めた。

なお、本研究における有意水準は5%とした。

### 4. 研究成果

#### (1) 運動課題前後のSRT及びBSTの比較

SRTは、運動課題前（平均 $238 \pm 27$ msec）と運動課題後（平均 $233 \pm 21$ msec）でほとんど変化しなかった（paired t-test 両側検定； $p=0.38$ ）（図1A）。また、BSTは運動課題前（ $39 \pm 24$ msec）よりも運動課題後（ $50 \pm 22$ msec）で遅延する傾向にあったが、有意な差は観察されなかった（paired t-test 両側検定； $p=0.11$ ）（図1B）。

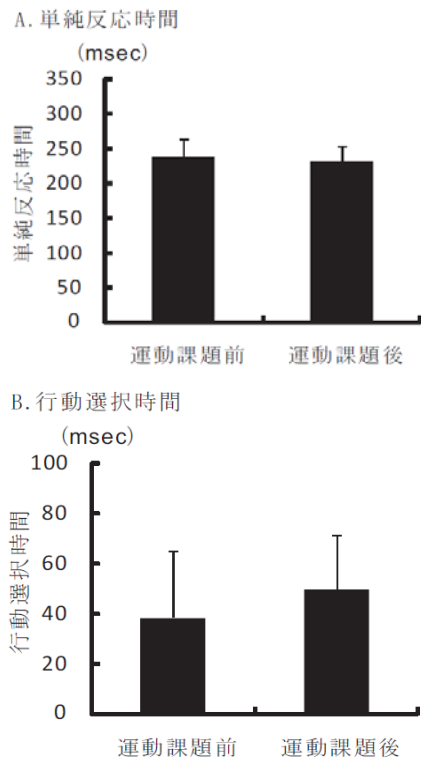


図1. 運動課題前後での単純反応時間 (A) と行動選択時間 (B) の比較。棒グラフ中の誤差線は標準偏差を表す。

#### (2) 運動課題のパフォーマンスとSRT及びBSTの時間変化量の関係

次に本研究では、各被験者の運動課題のパフォーマンスとSRT及びBSTの時間変化量の関係を検証した。運動課題では、明確に評価ができるドロップボールキャッチ課題及びリアクションキャッチ課題における各被験者の成功回数とSRT及びBSTの時間変化量（運動課題前後の時間差）との関係を求めた。

SRTは、ドロップボールキャッチ課題（ $r=0.14$ ）、リアクションキャッチ課題（ $r=-0.12$ ）ともに成功回数と時間変化量（運動課題後SRT-運動課題前SRT）の間に有意な相関関係は認められなかった。一方、BSTでは、ドロップボールキャッチ課題において成功回数が多い被験者ほど時間が短縮する傾向にあった（ $r=-0.55, p<.05$ ）（図2）。しかし、リアクションキャッチ課題（平均成功回数16回）では、ドロップボールキャッチ課題（平均成功回数9回）よりも課題が容易であり、成功回数とBSTの変化量との間に有意な相関関係はなかった（ $r=-0.15$ ）。

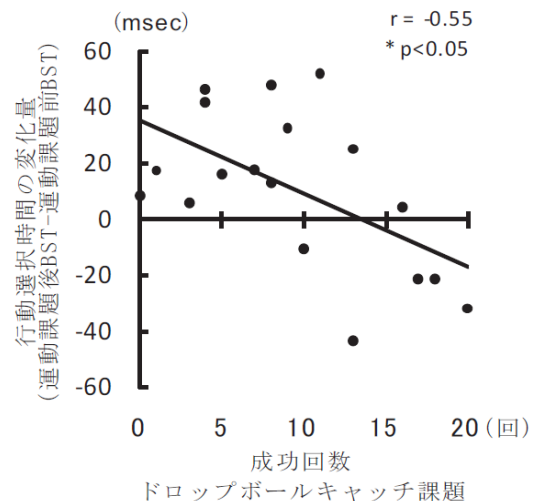


図2. 運動課題の成功回数と行動選択時間の変化量との関係。各プロットは各被験者の値を示す。

#### (3) 得られた成果の学術的意味

本研究は、コーディネーション運動による中枢神経処理への作用を示した。

本研究では、反応能力を要するとされるコーディネーション運動が行動選択能力に与える影響を、SRTとCRTという2つの反応時間課題を行うことで検証した。

これまでに、適度な有酸素運動を実施すると、運動神経の興奮性を高進したり

(Gardiner et al., 2006)、認知機能に関連するとされる脳波P300の活動が増加したり

(Magnié et al., 2000) するといった神経系への処理促進効果が報告されている。また、オールアウトに至る有酸素運動後では計算

成績が向上することも報告されている（松田他 1973 年）。しかし、本研究では、視覚刺激に素早く反応する処理時間（SRT）については運動課題後にわずかな減少（図 1A）が観察され、また、視覚刺激の内容を判断して適切な応答を選択するのに要する時間（BST）では、運動課題後にわずかな遅延が観察された（図 1B）が、これらの変化に有意な差は認められなかった。したがって、本研究で実施した運動課題では、単純な反応に関する神経処理機構や、計算課題のような認知機能への有酸素運動の効果は観察されなかった。

また、成功回数をもとにした運動課題のパフォーマンスと反応時間の相関解析の結果、SRT については成功回数との相関関係は認められなかったが、BST では、ドロップボールキャッチ課題で成功回数と BST 時間変化量の間に有意な負の相関関係が観察された（図 2）。つまり、成功回数が多い被験者ほど BST 時間が短縮した。運動の認知機能への効果は、実施する運動の強度に依存する事が知られている（Tomprowski, 2003）ので、ドロップボールキャッチ課題の結果（図 2）は、運動課題を容易に遂行できた被験者では、行動選択を司る神経処理系に対する刺激強度として、運動課題が適度に作用した為に BST 時間を短縮したが、反対に成功回数が少なかった被験者では、より多くの努力を必要としたために刺激強度が高まり、BST の時間延長として作用したと示唆される。また、リアクションキャッチ課題では、本実験に参加したほとんどの被験者が容易に課題を遂行できた為に時間変化量との関係性を評価する事ができなかった可能性がある。

本研究では、短時間のコーディネーション運動によって、SRT は変わらなかったが、課題を容易に達成できる被験者では BST が短縮し、反対に苦手とする被験者では BST が延長した。これらの結果は、コーディネーション運動が神経機構に対して一様に作用するのではないことを意味し、本研究で実施した種目においては行動選択能力のような認知機能への影響が大きかった事を示唆する。したがって、複雑なコーディネーション運動を実施するには、運動制御の組織化だけでなく、より広範な神経機構に対する影響にも注意を払う必要があり、熟練度に応じて運動課題を設定する事で行動選択能力のような認知機能のウォーミングアップにも有効であることが示唆された。

#### （4）本研究成果の位置付け

本研究は、スポーツ活動でのコーディネーション運動効果の 2 面性の証拠を示すことができた。

コーディネーション運動の本来の目的は、目的とする運動に対して豊富な身体の動か

し方を獲得し、最適な制御を選択できるようにすることにある。

本研究課題は、コーディネーション運動を行う際に付随する中枢神経系へのいわば副次的効果を調査したものであった。本研究で実施した運動時間は、通常のコーディネーション運動における実施時間（15 分から 20 分程度）を逸脱するものではなかった。つまり、本研究の結果は、1 回のコーディネーション運動における中枢神経系への刺激強度としての運動の負荷を示しているとも考えられる。

一般にトレーニング効果は、過負荷の原理で知られるように、回復可能な範囲で日常よりも高い負荷強度が必要である。運動学習においても、神経細胞の可塑的な変化を引き起こす為には反復的で且つ継続的な刺激という負荷が必要となる為、過負荷の原理が適用し得ると考えられている（Walters, 1956）。例えば、本研究で BST 時間が遅延した被験者については、これを長期的に繰り返す事で行動選択能力を司る神経機構へのトレーニング効果が期待できるかもしれない。一方、コーディネーション運動をウォーミングアップのように一過性の効果を期待して利用する場合には、本研究で BST が延長したような選手に対しての実施を避けるべきである。反対に、BST が短縮した被験者については、これを継続しても行動選択能力に対するトレーニング効果は期待できないが、適度な準備運動として利用するには有効であると考えられる。

行動選択能力は、素早い状況判断が求められるスポーツ競技においては、パフォーマンスを決定する重要な能力である。もし、ウォーミングアップ効果のように、全員に同じプラスの効果を期待する場合には、コーディネーション運動による行動選択能力への影響の個人差を考慮して、例えば、ペアや集団を同一レベルの選手で構成して各集団に適した難易度の種目を選択したり、運動時間を調整したりするなどの工夫が有効であるかもしれない。そのような実施計画によって、たとえコーディネーション運動を苦手とする選手であっても行動選択能力に対するウォーミングアップ効果を得ることができであろうし、反対に課題を容易に遂行できる選手であってもそのトレーニング効果が期待できるだろう。しかし、学校体育やスポーツ競技のトレーニング現場では、本研究で行ったように特定の能力への影響を選手ごとに調査して、最適な運動内容を設定する事は困難である。したがって、トレーニング現場で容易に利用できるようなコーディネーション運動の熟練度評価法とその熟練度に応じた負荷設定方法を確立する為には、さらに研究を進める必要がある。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

① 竹内敏康、木藤友規、中嶽誠、青木和浩、米田継武、千葉体育学研究、査読有、第33巻、p1-9、反応能力を要するコーディネーション運動後の行動選択時間の変化、2010年

〔学会発表〕(計2件)

① Tomomi NAKAZAWA, Tomonori KITO & Toshiyasu TAKEUCHI, The inaugural international academy of sportology, Influence of short-time COORDINATION motor tasks on response time, Mar. 5<sup>th</sup> 2011, ARIYAMA Noboru Memorial Hall, Bldg. 7, Juntendo University (Tokyo)

② 中澤朋美、越川瑞紀、木藤友規、竹内敏康、平成23年第1回千葉体育学会、バスケットボールにおけるコーディネーション運動の活用、2011年6月4日、千葉大学(千葉)

〔その他(論文賞受賞)〕(計1件)

① 竹内 敏康(代表者)他、平成22年度千葉県体育学会 学会賞、反応能力を要するコーディネーション運動後の行動選択時間の変化、2011年6月4日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹内 敏康 (TAKEUCHI TOSHIYASU)

順天堂大学・スポーツ健康科学部・客員教授

研究者番号：50053294

### (2) 研究協力者

木藤 友規 (KITO TOMONORI)

順天堂大学・スポーツ健康科学部・助教

研究者番号：80453596