

氏名(本籍)	あき やま さち よ 秋 山 幸 代 (埼 玉 県)
学位の種類	博 士 (学 術)
学位記番号	博 甲 第 3245 号
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	体育科学研究科
学位論文題目	運動が感覚-運動処理過程に及ぼす影響
主 査	筑波大学教授 学术博士 西 平 賀 昭
副 査	筑波大学助教授 教育学博士 田 中 喜代次
副 査	筑波大学講師 理学博士 武 政 徹 博士(医学)
副 査	筑波大学教授 博士(心身障害学) 四日市 章

論 文 の 内 容 の 要 旨

ヒトにおける随意運動で特筆すべきことは、経験や繰り返し練習の積み重ねによって、新しい運動を獲得し、より速く正確で円滑な運動を実現できる適応能力が備わっていることである。特に、運動の発現や制御に大きく関与している脳は、非常に柔軟性に富んだ可塑性の高い器官であり、近年、経験や学習、反復刺激に応じて適応的な変化が生じる性質を持つことが、ヒトにおいても明らかにされつつある。したがって、随意運動の反復、すなわち運動トレーニングによって、脳機能にも適応的な変容をもたらすと考えられるが、十分明らかにされていない。

これまでにヒトにおいて運動による脳への影響を調べた研究では、反応時間や認知機能テストを用い、運動刺激は認知機能や課題遂行能力を促進させ、加齢に伴う認知能力の低下を抑制するといった脳機能への影響が報告されている。しかし、これらの指標はあくまでも最終的に出力された結果であり、それに要した時間と正確さという2つの指標に基づき、脳内で進行している情報処理過程について推測するに過ぎなかった。一方、誘発電位や事象関連電位を用いた検討では、競技者と一般人に差が認められたことから、長時間のトレーニングは感覚入力機構や認知機能に影響を及ぼす可能性が示唆されているが、報告は少なく一致した見解は得られていない。さらに近年では、イメージング法を用いた研究によって、運動や特異的な身体部位の活動、経験により、皮質感覚運動野の支配領域や興奮性に変化が生じることも示されている。しかしながら、このような皮質の変化が、脳に特異的な機能である感覚系から入力された情報を分析・統合し、目的に応じて四肢の運動を計画し実行するという一連の感覚-運動処理過程にどのように関与しているか明らかではない。そこで本研究は、事象関連電位と行動指標を同時に記録することにより、感覚-運動処理過程に運動がどのような影響を及ぼすか検討した。

研究課題1では、長期的な運動が感覚情報処理過程に及ぼす影響について検討するため、すでに長期間にわたって運動トレーニングを積んでおり、身体諸機能に適応変化が起こっていると考えられるスポーツ競技者と非競技者を比較し、2つの実験を行った。実験1-1では、陸上長距離選手と非競技者を比較し、反応課題と計数課題の遂行における感覚情報処理過程について検討した。実験1-2では、競技種目の特性と感覚モダリティ間の関係について、聴覚刺激によってスタートが促される陸上短距離選手、様々な視覚情報からの素早い判断が重要な

バスケットボール選手，さらに陸上長距離選手，非競技者を比較し検討した。その結果，EMG-RTは非競技者より競技者で速く競技種目間でも差が認められた。また，N100に競技者と非競技の差は認められなかったが，P300の潜時は非競技者より競技者で速くEMG-RTと正の相関関係が認められた。P300潜時は，刺激の識別が困難なときや難易度の高い課題を要求すると潜時が延長することなどから，刺激の認知・判断といった刺激評価時間を反映する。つまり，競技者ではN100からP300までに行われる刺激の情報処理に要する時間が速く，長時間の運動の継続は，素早い反応動作の遂行および，感覚情報の処理時間に影響を及ぼすことが示唆された。

研究課題2では，長期的な運動が運動準備過程に及ぼす影響について，競技者と非競技者を比較し検討した。その結果，計数課題におけるCNVには競技者と非競技者に差は認められなかったが，反応課題では競技者のCNV後期成分の振幅が非競技者より大きかった。また，反応課題におけるEMG-RTは非競技者より競技者で速く，発揮張力の立ち上がり課題における後期CNVの差には発揮力の大きさによる影響ではなく，素早く効率の良い運動遂行のための準備状態が関与していることが考えられる。命令刺激に対する後期CNVは，運動準備電位（Bereitschaftspotential：BP）と発生源や形状に類似性が認められることから，BPが重畳した運動の準備機能に対応する皮質活動であること，さらに，命令刺激に対する期待や予測を反映する刺激前陰性変動（stimulus preceding negativity：SPN）の影響が示されている。本研究では，計数課題にグループ間の差が認められなかったことから，競技者では，反応動作に対して特異的に運動準備状態を構築しており，より命令刺激に注意を向けるとともに，運動の遂行に関与する運動関連領野の興奮性を高めていることが示唆された。

研究課題3では，随意運動の反復によるパフォーマンスの変動と感覚刺激の処理過程の経時的変動について，単純な反応動作課題（バリステック課題）と巧緻な制御を要する反応動作課題（ターゲットマッチ課題）を比較し検討した。その結果，ターゲットマッチ課題においてのみEMG-RTおよびP300潜時が短縮し，P300振幅は前頭一中心部で減少した。P300振幅の減少の要因として，集中力やモチベーションなどの覚醒レベルの低下があげられているが，一方で刺激処理過程の自動化に伴う注意分配量の減少による影響も考えられている。本研究ではターゲットマッチ課題のP300潜時およびEMG-RTは短縮していることから，後者を支持する結果であった。さらに，P300振幅が減少した前頭領野は，得に注意機能に深く関与しており，P300振幅は，刺激の処理に要する注意の分配量を含む認知機能を反映していることから，ターゲットマッチ課題では反復に伴い反応動作がほとんど自動化され，もはや意識的に注意を向ける必要がなくなったため，少ない注意で課題遂行が可能になったことが考えられる。これらのことから，運動の反復効果は課題に依存して異なる変動を示し，より巧緻な制御が必要である運動の反復は，動作のパフォーマンスの向上とともに感覚刺激の処理過程に影響を及ぼすことが示唆された。

研究課題4では，随意運動の反復によるパフォーマンスの変動と運動準備過程の経時的変動について，バリステック課題とターゲットマッチ課題を比較し検討した。その結果，準備過程においても課題によって異なる変動を示し，バリステック課題では反復に伴いCNVが減少したのに対し，ターゲットマッチ課題ではCNV後期成分が増大し，反応動作のスピードおよび正確性が向上した。これまでに運動課題の反復により反応の正確性の向上とともに運動に先行して出現する準備電位が増大することが示されている。この準備電位は，後期CNVに重畳している可能性が議論されていることから，後期CNVの増大は運動の準備に関与する運動関連領野における興奮性の増大が考えられる。また，新たな運動の獲得時に運動前野の活動が増加することや，補足運動野が損傷されると，新奇の運動課題の学習は不可能になることなどから，前頭運動関連領野は複雑な運動を企画するのに重要であり，新しい運動プログラムが確立される時，あるいは以前に学習されたプログラムが調整される時に活性化されることがイメージング法を用いた研究で指摘されている。このような前頭運動関連領野はCNVの発生源の一つであることから，本研究におけるターゲットマッチ課題での後期CNVの増大は，新たな運動を獲得する

ために前頭運動関連領野の活動が増大したことによるものと考えられる。これらのことから、より巧緻な制御が必要である運動の反復によるパフォーマンスの向上には、運動準備過程の変動が関与していることが示唆された。

本研究における一連の結果より、長期的な運動トレーニングが反応動作の実行だけでなく感覚情報処理過程および、運動準備過程に変容をもたらし、それが素早く効率の良い反応動作の遂行に関与していることが示唆された。さらに、このような感覚-運動処理過程の変化は短期間の運動の反復によって生ずるが、単純な運動と巧緻な制御が必要な運動では、その変動動態が異なることが示唆された。以上のことから、運動トレーニングは、円滑で効率の良い運動を遂行するため、適切な運動準備状態の構築および感覚情報の認知処理といった高次脳機能に影響を及ぼすものと考えられる。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、随意運動の反復、すなわち運動トレーニングによって、脳機能にも適応な変容をもたらすと考えられるが、十分明らかにされていない現状を考慮し、事象関連電位と行動指標を同時に記録することにより、感覚-運動処理過程に運動がどのような影響を及ぼすか検討したものである。その結果、競技者ではN100からP300までに行われる刺激の情報処理に要する時間が速く、長時間の運動の継続は、素早い反応動作の遂行および、感覚情報の処理時間に影響を及ぼすことを確認している。さらに随意運動の反復によるパフォーマンスの変動と感覚刺激の処理過程の経時的変動について検討した結果、随意運動の反復により、ターゲットマッチ課題においてのみEMG-RTおよびP300潜時が短縮し、P300振幅は前頭-中心部で減少した知見を得たことは新しい結果である。また、随意運動の反復によるパフォーマンスの変動と運動準備過程の経時的変動についてもバリスティック課題とターゲットマッチ課題を比較検討した結果、準備過程において課題によって異なる変動を示し、バリスティック課題では反復に伴いCNVが減少したのに対し、ターゲットマッチ課題ではCNV後期成分が増大し、反応動作のスピードおよび正確性が向上した結果を示し、ターゲットマッチ課題での後期CNVの増大は、新たな運動を獲得するために前頭運動関連領野の活動が増大したことを見いだしたことは優れた知見であり、専門委員会でも高く評価された。

今後は被験者や運動課題をさらに吟味して測定したら、さらにおもしろい知見が得られると思われるなど幾つかの意見が出たが、今後の課題と思われる。

よって、著者は博士（学術）の学位を受けるに十分な資格を有する者と認める。