

氏名(本籍)	金	勝	烈	(韓国)
学位の種類	博士(体育科学)			
学位記番号	博乙第2495号			
学位授与年月日	平成22年3月25日			
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当			
審査研究科	人間総合科学研究科			
学位論文題目	長期運動が脳内の運動関連領域と運動神経伝導速度に及ぼす影響			
主査	筑波大学教授	学術博士	西平賀昭	
副査	筑波大学准教授	理学博士	足立和隆	
副査	筑波大学准教授	理学博士	武政徹	
副査		博士(医学)		
副査	筑波大学講師	博士(体育科学)	前田清司	

論文の内容の要旨

本博士論文は、運動出力に着目して長期運動に伴う脳内の情報処理過程を含む運動関連領域に及ぼす影響を及ぼすかについて脳を中心とする中枢神経系については運動関連脳電位(movement-related cortical potentials: MRCP)を用いて、脳内の運動準備、出力との関係を詳細に検討すると共に、末梢神経系については末梢運動神経伝導速度(motor nerve conduction velocity: MCV)と相対神経線維数の最も多い神経伝導速度を反映するDMCVのピーク値(DMCV_{peak})をCollision法を用いて詳細に検討し、長期間の運動トレーニング経験が身体の末梢から中枢までに及ぼす影響を電気生理学的指標によって多角的に検討することとともに、運動効果における理論的背景のさらなる理解を深めることである。

そこで本研究では以下の研究課題を設定し、実験を行った。最初に研究課題1では、長期間の運動トレーニング経験が末梢神経系に及ぼす影響を明らかにするためにMCV及びDMCV_{peak}の指標を用いてスポーツ競技者と非競技者を比較するため2つの研究課題で検討した。続く2つの研究課題において、長期運動トレーニングに伴う脳内の運動関連領域の情報処理過程に及ぼす影響を及ぼすかについて随意動作課題に伴う中枢のMRCPを用いて詳細に検討している。

研究課題1. 長期運動トレーニング経験がMCV及びDMCV_{peak}に及ぼす影響

1-1. 長期運動トレーニング歴を有する車椅子陸上長距離選手の上肢末梢運動神経伝導速度

単一種目の競技者に対象を限定し、上肢を中心に長期間にわたる運動トレーニングを行っている車椅子陸上長距離選手のMCVとDMCV_{peak}をcollision法を用いて上肢の正中神経と尺骨神経を検討し、以下の結果を得ている。

1). 非競技群に比べ競技群(車椅子陸上長距離選手)の尺骨神経と正中神経のMCV、DMCV_{peak}が速い値を示した。

以上のことから、先天的(遺伝的)な要因以外にも、長期間にわたる有酸素性と無酸素性、さらにパワー系の複合的なトレーニングによってMCV及びDMCV_{peak}に変化を生じさせている可能性があると考えしている。

次に1-2. 長期間の運動経験に伴う下肢の末梢運動神経伝導速度及び分布の変化（サッカー選手を中心に）と題して1-1の結果をさらに詳細に確認するために対象を変え、長期的に運動を経験しているサッカー選手を対象に下肢の運動神経のMCVと身体神経線維数の最も多い神経伝導速度を反映するDMCV_{peak}をCollision法を用いて測定し、以下の結果を得ている。

1). 上肢における尺骨神経と正中神経のDMCV_{peak}は、左右の両神経とともに非競技者に比べて競技者でより速い伝導速度区間に相対神経線維数が多い結果が得られた。

2). 下肢における腓骨神経と脛骨神経のMCVは、左右の両神経で非競技者に比べて競技者で有意に速い結果を示し、またDMCV_{peak}も両神経（腓骨神経、脛骨神経）で非競技者に比べて競技者でより速い伝導速度区間に相対神経線維数が多い結果が得られた。

以上のことから競技者群の上肢の両神経のDMCV_{peak}と下肢における両神経のMCV、DMCV_{peak}が非競技者に比べ有意に速い値を示したことは先天的な要因以外にも後天的な競技特性も含めた長期間にわたる複合的なトレーニング内容がMCV及びDMCV_{peak}に変化を生じさせている可能性があるかと推察している。

研究課題2. では長期運動トレーニング経験が随意運動遂行時の中枢内情報処理過程に及ぼす影響と題して運動出力系に着目して自発的（self-paced）な随意運動に伴う中枢内情報処理過程について、MRCPのBPを指標に用いてスポーツ競技者と非競技者の両手、両足を比較し検討し、以下の知見を得ている。

1). 上肢、下肢における10%、50% MVC課題を行う時のBP振幅は、ほとんどの導出部位において非競技者に比べ競技者で低値を示した。

以上の結果から、長期的な運動トレーニングの継続はスポーツ競技者の運動準備過程に影響を及ぼし、その結果として効率の良い運動が遂行されていることを確認している。

短期間の運動介入が随意運動遂行時の中枢内情報処理過程に及ぼす影響と題する研究課題3では特定のトレーニングを受けた経験がなく、日常運動の機会に乏しい健康な成人を用い、短期間の随意運動を反復することによって運動準備電位過程の変動について精巧な制御が必要となる運動課題を行う際の脳内情報処理過程にいかなる影響を及ぼすかについてMRCPのBPを用いて検討し、次のような結果を得ている。

本研究において下肢における10% MCV課題を行う時のBP振幅や潜時は全部位において1セット目に比べ10セット目における有意な短縮を示した。

以上の結果から、短期間の繰り返し動作でも脳内の運動関連の情報処理過程が変容を示したことを確認している。

以上のことから競技者群の上肢の両神経のDMCV_{peak}と下肢における両神経のMCV、DMCV_{peak}が非競技者に比べ有意に速い値を示した。すなわちこれらの実験結果は長期運動経験者の運動神経は変化していることを示している。運動神経線維の伝導速度が速くなることは今までの生理学的知見に照らし合わせて考えてみればその直径が大きくなっていることを間接的にはあるが確認している。最近の報告によれば長期の繰り返しトレーニングは脳の中の神経細胞の数を増加させ、脳の中の樹状突起が伸び神経細胞同士を結びつけるシナプスの数を増加させているということである。さらに運動領域から指にいたるまでの神経線維もより太くなっている、正確に言えば神経線維の髄鞘と呼ばれる構造が増加しているということである。子供のころからピアノの訓練をしてきたピアニストは手指の巧みな運動司令を伝えるべく大脳運動領域から脊髄へ向かう神経線維の髄鞘が増加していることが基礎的研究により確認されるようになった。こられることは幼少のころから運動音痴、運動能力が低いと言われても、またかなりの程度遺伝的に素因に支配されていても長期にわたってトレーニングを継続すれば運動神経には変化が生じることを示している。従来考えでは、脳の神経細胞は増えもせず神経線維の太さも変わらないという考えが支配的であったが、本実験結果と最近の知見から総合的に考察すると長期間にわたってトレーニングを継続すれば脳の神経細胞や神経線維は変化することを明らかにしている。さらに長期の競技歴を持ち、現在も継続して競技を続けているサッカー選手と、

非運動群はこれまでに運動部に所属したことがなく、日常的に運動の機会に乏しい者を用い、長期運動トレーニングに伴う脳内の運動関連領域に及ぼす影響を及ぼすかについて運動関連脳電位を用いて検討した結果、上肢、下肢における 10%、50% MVC 課題を行う時の BP 振幅は、ほとんどの導出部位において非競技者に比べ競技者で低値を示した。運動を長期に繰り返すと脳活動も変化する。運動初期には前頭葉はじめ脳は全体的に強く活動すると考えられる。学習が進むにつれてこれらの領域の活動は次第に低下する。学習所期の段階では無駄な情報処理があるために本当は課題遂行に必要な神経細胞が多数活動しているものの、学習が進むにつれて本当に必要な神経細胞だけが活動するようになるため全体としての脳活動が低下するのである。前頭葉の個々の回路が新しい課題にとりかかるとその課題に関連する周辺のニューロンは現在の活動を停止し、新しい課題解決に参加し、おびただしく流入してくる感覚情報を処理し、学習領域を拡大していく。課題を反復していったん習得してしまえば発火パターンはゆるぎないものとなり、行動も自動化してもはや意識的に注意が向けられることはない。そしてその情報は脳の奥にある皮質下領域（大脳基底核、小脳など）に送られ、将来の呼び出しに備えて貯蔵される。一方、その課題に関連する周辺のニューロンも次の新たな学習にむけて待機する。最近の研究によれば新しい運動技能の開始から 5～6 時間以内に短期記憶にむけられていた脳の指令は、習得した運動技能を司る領域に転じることである。被験者が運動課題に取り組んだ当初、短期記憶など学習を担当する前頭連合野に活発な活動が認められたという。ところが約 5 時間後再び、その運動課題に挑戦して難なく運動遂行ができた時点では、運動前野、頭頂葉、小脳などが活性化していて、まるで脳内の課題を担う神経回路網が前頭連合野から、運動制御に関与する領域へ移った感じだと報告している。これらのことは本研究の一連の実験結果によっても明らかにされている。つまり運動はどのような運動であろうとも脳を刺激する。初めは少々こちなくて格好が悪くても小脳や大脳基底核をつないでいる神経回路がスムーズに流れるようになるにつれて動きは正確になっていく。何度も繰り返すことでニューロンの軸索の周りの髄鞘も厚くなっていき信号の質や神経伝導速度が向上し神経回路はより効率的になると考えられる。それゆえこのような研究成果は幼児から児童期、青年期のスポーツ、体育、健康に大きく貢献するとともに学校の授業の学習効果を上げるためにも大きく役立つものである。例えば児童期はゴールデンエージといわれ技の習得が早い時期である。この時期に本研究の成果を背景に運動指導、スポーツの指導を行えば運動で脳機能と運動神経を鍛えながら、発育発達に対応した効率の良い身体トレーニングを行うことが可能になると考える。また本研究の一連の結果と最近の研究報告から運動が刺激となって脳は学習の準備をし、意欲を持ち、その能力を高めることができることが推測される。また運動が生物学的変化を引き起こし、脳のニューロンを結びつけることが分かっている。従って近い将来運動、スポーツ活動は特に体育や放課後のクラブ活動に限定しておこなうのではなく学校全体の教科のための脳内の準備状態を作るためにも行わなければならない学校教育の重要な活動の一つになる可能性があることを本論文の一連の結果は示唆している。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本博士論文は、運動出力に着目して長期運動に伴う脳内の情報処理過程を含む運動関連領域に及ぼす影響を及ぼすかについて脳を中心とする中枢神経系については運動関連脳電位を用いて、脳内の運動準備、出力との関係を詳細に検討することと共に、末梢神経系については末梢運動神経伝導速度と相対神経線維数の最も多い神経伝導速度を反映する DMCV のピーク値を Collision 法を用いて詳細に検討し、長期間の運動トレーニング経験が身体末梢から中枢までに及ぼす影響を電気生理学的指標によって多角的に検討している。本実験結果は競技者群の上肢の両神経の $DMCV_{peak}$ と下肢における両神経の MCV、 $DMCV_{peak}$ が非競技者に比べ有意に速い値を示した。すなわちこれらの実験結果は長期運動経験者の運動神経は変化している可能

性を確認している。さらに長期運動トレーニングに伴う脳内の運動関連領域に及ぼすかについて運動関連脳電位を用いて検討した結果、上肢、下肢における10%、50% MVC課題を行う時のBP振幅は、ほとんどの導出部位において非競技者に比べ競技者で低値を示し、運動を長期に繰り返すと脳活動も変化することを確認している。この一連の結果から運動はどのような運動であろうとも脳を刺激する。初めは少々ぎこちなくて格好が悪くても小脳や大脳基底核をつないでいる神経回路がスムーズに流れるようになるにつれて動きは正確になっていく。何度も繰り返すことでニューロンの軸索の周りの髄鞘も厚くなっていき信号の質や神経伝導速度が向上し神経回路はより効率的になると可能性を提示している重要な論文であり学位論文審査委員会において高く評価された。

今後は児童期のゴールデンエイジといわれ技の習得が早い時期における運動神経の変化や脳機能について検討して欲しいなど幾つかの課題の必要性が指摘されたが今後の課題であることが確認された。

よって、著者は博士（体育科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。