

局所的な高強度運動が運動抑制過程に及ぼす影響

黒岩一雄*・西平賀昭**・福本寛之**・碓井外幸***

Influence of a Localized High-intensity Exercise on Information Processing Involved in Motor Inhibition

Kazuo KUROIWA*, Yoshiaki NISHIHIRA**, Hiroyuki FUKUMOTO** and Sotoyuki USUI***

Abstract

The influence of a localized high-intensity exercise on the cognitive function and information processing involved in motor inhibition was investigated with regard to peripheral changes in multiple facets.

1. The exercise was an intermittent localized movement. Although the duration and frequency of movement varied among the subjects, it was continued until each subject become unable to maintain 40% MVC. Therefore, the relative load level was similar among all subjects.
2. The grip strength decreased, the lactic acid level rose, and the MF frequency decreased after exercise, suggesting that the peripheral muscles were in a state of fatigue due to localized high-intensity exercise.
3. The P300 amplitude significantly decreased and its latency significantly extended after exercise, showing the same results as Study Task 1.
4. No significant change was noted in the NoGoP300 latency or NoGoN2 latency or amplitude after exercise, whereas the NoGoP300 amplitude significantly decreased after exercise.

It was clarified that the localized high-intensity exercise influenced not only the peripheral muscles but also the cognitive function and information processing in the central nervous system. The localized high-intensity exercise-induced fatigue may have reduced the ability to perform the exercise through suppressing the central nervous system activity.

Key words: high-intensity exercise, cognitive function, information processing, P300, NoGoN2, NoGoP300

* 焼津市立東益津中学校

Yaizu Municipal Higashimashidu junior high school, 416 Nakazato, Yaizu, Shizuoka 425-0014, Japan

** 筑波大学大学院人間総合科学研究科

Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan

*** 東京国際大学人間社会学部人間スポーツ学科

Department of Human Development and Sport Science, School of Human and Social Science, Tokyo International University, 2509 Matoba, Kawagoe, Saitama 350-1198, Japan

1. 緒言

ヒトがなんらかの課題を遂行する場合、また運動場面でパフォーマンスを発揮する際には、与えられた刺激を知覚し、脳内での情報処理を経て、行動として出力するという一連の過程を必要とする²⁶⁾。運動がこの情報処理過程に影響を与えることは古くから論じられており、いくつかの実験が行われている。しかしながらそれらの研究の多くは、視覚閾値¹²⁾や line-matching テスト^{13,14)}、単純な足し算テスト⁷⁾のような認知テストを用いて評価しており、生理学的な指標を用いて客観的に評価した研究は少ない。また、中枢神経系の重要な機能の1つである認知機能はスポーツの状況判断、運動の実行、技術習得など様々な場面で重要な役割を果たしており、これらのことから運動による人体への影響、特に中枢神経系への影響を研究することにあたっておさえなければならない領域の1つである。

近年、大脳皮質における運動と認知機能、運動と情報処理能力との関係を調査する研究は、事象関連電位 (event-related potential: ERP)、背景脳波周波数解析 (background EEG frequency)、筋電図反応時間 (electromyogram reaction time: EMG-RT) のような電気生理学的後術の発展によって急速に進歩した^{15,18)}。多くの研究者は、運動は一般的な認知機能に影響を与えているとしており、ある研究者は「運動は認知機能を促進する」^{15,29)}とし、またある研究者は「運動は認知機能を減退させる」^{5,18)}としている。これらは運動が大脳皮質の認知機能および情報処理過程に影響を与えるだろうという知見だが、影響の現れ方や意見の不一致に関しての理由等はまだまだ十分に明らかでない。先行研究において、大脳皮質の認知機能および情報処理過程への運動の影響は、運動の強度と運動時間また運動経験年数等により異なるとされている^{23,27)}。しかしながらこれらの運動タイプの違いによる中枢神経系への影響の現れ方に関してはまだはっきりとしていないが、これらの先行研究は全身性運動が情報処理過程になんらかの影響を与えることを示唆するものである。

一方、最大あるいは最大下の筋力維持に伴う筋疲労について調べた研究^{11,28)}では、そのような疲労の要因の大部分は末梢にあるとしているが、より上位の中枢が関係する可能性も同時に提示している。よって全身性運動だけでなく、局所的な筋運動を行うことによって中枢神経系への影響が現れること

が考えられる。しかしながら、局所的な運動に対する ERP の変動をみた研究はない。それゆえ本研究では運動付加に局所運動である把持運動を用いた。Bigland-Ritchie et al. (1986)¹⁾や矢部 (1990)²⁸⁾が報告するように局所筋運動による疲労が末梢だけでなく中枢神経系にも現れるとするならば、中枢神経系の最も重要な機能の1つである認知機能、情報処理過程にも変化が見られる可能性が考えられる。そこで本研究においては運動抑制時における脳内情報処理過程への高強度運動の影響を事象関連電位の NoGo 電位を用いて検討することとした。

2. 方法

対象

被験者は、右利きの健康成人15名 (25.93±0.8歳) で最近2年は習慣的に運動を行っていない者であった。

手続き

被験者には、実験に先立ち、実験を目的・方法などを詳細に説明し、実験参加の同意を得た。

被験者には通常と変化のない食事を取るよう指示し、実験前日にはアルコールを控え、よく睡眠をとるように指示した。また実験当日は激しい運動をしないように指示した。

本研究課題はコントロール試行・テスト試行の2実験からなり、全て異なる日に行われた。コントロール試行・テスト試行では自覚症状しらべ、ERP、EMG-RT、RT を測定し、運動中には EMG、RPE (詳細は後述) を測定した。

異なる実験日において体調に大きな差が出ないように、握力数値、自覚症状調べ、被験者の内省報告を用いて調整した。また電極位置は国際10-20法を用い、抵抗は5kΩ以下とし、実験日が異なってもほぼ同じような状況が保たれるように、細心の注意を払った。そしてコントロール試行とテスト試行に関しては S1-S2課題に対する habituation の影響を避けるために、Kaseda et al. (1998)¹⁰⁾の先行研究にしたがい、4日以上時間を空けた。

コントロール試行は、S1-S2課題 (詳細は後述) によって ERP を誘発し記録した。テスト試行は局所的な運動負荷 (詳細は後述) を与え、運動終了直後にコントロール試行と同じ S1-S2課題によって ERP 測定を記録した。また局所的な運動中は RPE

の測定を行った。

また結果についてはコントロール試行のデータを pre-exercise, テスト試行のデータを post-exercise と表記している。

運動課題及び Go/NoGo 反応時間課題 (S1-S2課題)

被験者は、シールドルーム内の安楽椅子に座位姿勢を維持し、左手を肘掛に回内・回外の中位の状態でしっかりと固定し、歪み計が内蔵された握力計を握るというグリップ把持運動を行った。把持運動の構成は、最初に MVC を測定し、十分に時間をとった後に40%MVC の力で6s 間把持運動をし、その後4s 間の休憩をとることを繰り返し、40%MVC が2度続けて維持できなくなるまで行った。40%MVC に関しては運動前に測定した MVC をもとに眼前1m ~2m のところにあるオシロスコープ上にラインを設け、基準とした。また6s・4s に関してはオシロスコープ上にセットした青の LED にて呈示した。よって本実験の運動負荷は断続的な等尺性収縮運動である。また、運動中には自覚的な疲労度を確認するために2分に1度、RPE を測定した。運動負荷強度・時間の構成に関しては、予備実験・先行研究⁶⁾からより日常的な運動形式で、ある程度の運動時間・運動量が確保できるものを検討し、決定した。

S1-S2課題は、予告刺激 (S1) に聴覚刺激を、命令刺激 (S2) に視覚刺激を用いた。聴覚刺激 (S1) は AUDITORY/LED VISUAL STIMULATOR によって発生させた2000Hz の純音 (強度: 60dB, 持続時間50ms, 立ち上がり/立ち下り時間5ms) をヘッドホンから呈示し、視覚刺激 (S2) は同じく AUDITORY/LED VISUAL STIMULATOR によって発生させた2つのトリガー信号 (持続時間: 200ms) を ELECTRONIC STIMULATOR によって増幅させ、2色の LED につなげ刺激とした。ヘッドホンから呈示される S1の2s 後、S2として青と赤の LED を標的として弁別し、歪み計が内蔵された握力計をできるだけすばやく把持する課題を行った。つまり青が Go 刺激で、赤が NoGo 刺激である。試行回数は Go/NoGo それぞれ50回ずつの計100試行であり、試行間間隔 (interstimulus interval: ISI) は8s とした。

脳波の記録と処理

被験者は暗くしたシールドルーム内の安楽椅子に座位姿勢を維持し、開眼状態で課題を行った。

脳波は国際10-20法に基づき、Fz, Cz, Pz, C3, C4の頭皮上5部位より両耳朶連結を基準として Ag/AgCl 皿電極を用いて単極導出した。また脳波は多用途脳波計 (日本電気株式会社製 EE1000A) を用いて、時定数0.3s, 広域遮断周波数60Hz で増幅記録すると同時に、データレコーダー (SONY PC200AX) を用いて磁気テープに記録した。

脳波記録に影響を与える眼瞼運動及び眼球運動を検出するために眼電図を左眼窩上部及び外側部の皮膚上より導出し、時定数0.3s, 広域遮断周波数100Hz で増幅記録すると同時に、データレコーダーを用いて磁気テープに記録した。

S1-S2課題及び運動負荷時の筋電図は、橈側主根屈筋、橈側主根伸筋の2部位より表面双極導出すると同時に、データレコーダーを用いて、磁気テープに記録した。

実験終了後、誘発電位研究用プログラム EPLYSER II (キッセイコムテック株式会社製) を内蔵したコンピュータ (NECPC9821Xa7) を用いて、ERP の P300, NoGoP300, NoGoN2について off-line 解析を行った。解析は、データレコーダーで磁気記録しておいたデータをサンプリング周波数250Hz で A/D 変換してコンピュータに取り込んで行った。被験者1人について、頭皮上の5部位より記録された脳波を青・赤の刺激ごとに、眼電図などのアーチファクトが混入した試行を取り除いて平均加算した。加算することのできたデータはそれぞれ50回のうちの約30回ほどであった。加算区間は S1呈示500ms 前から S2呈示800ms 後までとした。

P300の同定は、命令刺激呈示後250ms から500ms の間の最大陽性成分とした。P300の測定は平均加算した波形の S1呈示前500ms の平均電位を基線として行った。P300振幅の測定は基線から最大陽性成分の頂点間距離とした。また、P300潜時の測定は命令刺激呈示より頂点までの時間とした (図1)。

NoGoP300に関する記録、処理は全て P300と同じとした。

NoGoN2の同定に関しては、NoGoP300直前の陽性成分を NoGoN2とした。NoGoN2振幅の測定は N2の立ち上がり (N2 onset) から頂点までの頂点間距離とした。そして N2潜時の測定は S2刺激呈示から

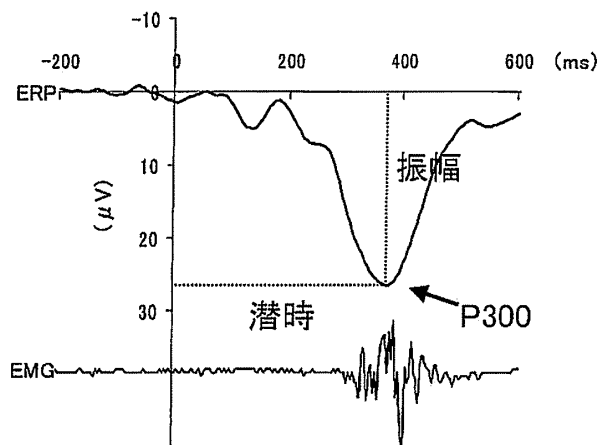


図1. P300の潜時と振幅の同定

P300の同定は、刺激呈示後250ms から500ms の間の最大陽性成分とした。P300振幅の測定は基線から最大陽性成分の頂点間距離とした。また P300潜時の測定は刺激呈示より頂点までの時間とした。

頂点までの時間とした。また NoGoN2は前頭-中心部で見られることから Fz と Cz の2部位より測定した。

自覚症状しらべ

試行前に日本産業衛生学会産業疲労研究会の自覚症状しらべ30項目を点数化（疲労感をなし：0，軽度：1，中程度：2，高度：3）したものを用いて^{16,17)}，実験当日の体調を把握し，調整した。

Rating of perceived exertion (RPE)

運動中の主観的運動強度を測定するために2分に1度，RPEを測定した。RPE測定は小野寺と宮下(1976)²⁰⁾がBorg scaleを日本語表示したものを使用した。本来は全身性運動の自覚的運動強度を測定するものであるが，今回は左手のRPEを測定している。

EMGの記録と解析

EMGは、時定数0.03s，広域遮断周波数1.5KHzで増幅記録すると同時に、データレコーダーを用いて磁気テープに記録した。EMGを記録した2部位のうち早いEMGの立ち上がりを示したのは橈側主根屈筋であり、EMG-RTは、S1-S2課題Go反応時の橈側主根屈筋より記録した。また筋電図周波数解析に関しても橈側主根屈筋におけるEMGから行った。分析設定に関しては、運動前後のMVCにおけ

るEMGの安定した2sを対象に2048ポイントをハミング窓で高速フーリエ変換し、その結果から周波数中央値(Median Frequency: MF)を求めて統計処理を行った。またEMG-RTは、S2呈示から筋電図の立ち上がりまでとし、RTは刺激呈示からforceの立ち上がりまでとした。

統計処理

各変数の測定結果は、平均値±標準誤差で示した。事象関連電位のP300・NoGoP300の測定結果は、運動負荷の影響（運動前・運動後）と導出部位(Fz・Cz・Pz・C3・C4)について反復測定による2元配置分散分析を行い、主効果が得られた時にはBonferroniによる多重比較，*t*検定を行った。また交互作用が得られた時は下位検定を行った。EMG-RT，RT，MFの測定結果は反復測定による1元配置分散分析を行った。分散分析を実施する際にはGreenhouse-Geisser法による自由度の修正を行った。有意水準は5%未満に設定した。また統計の詳細を表すため1%未満，0.1%未満の表記も行っている。

3. 結果

運動負荷

本研究における断続的な把持運動は、40%MVCを維持できなくなるまで続けるというもので、被験者全員の運動時間は異なっており、平均 27.16 ± 2.98 分の運動であった。

MFにおいて分散分析を行った結果、運動後のMFは有意に低下した [$F=19.09$; $p<0.01$] (図2)。

RPEは、運動時間の経過と共に全ての被験者において増大した。

P300・NoGoP300

運動の前後におけるERP波形はほぼ同形でP300を同定することができた。

P300振幅において分散分析を行った結果、運動負荷の影響と導出部位の両要因において交互作用 [$F=4.80$; $p<0.01$] が認められた。下位検定を行った結果、Fz以外の部位に運動負荷の影響が認められ、運動後のP300振幅は有意に減少した。また導出部位について多重比較を行った結果、頭頂部優位の頭皮上分布が得られた(図3)。

P300潜時において分散分析を行った結果、運動

局所的な高強度運動が運動抑制過程に及ぼす影響

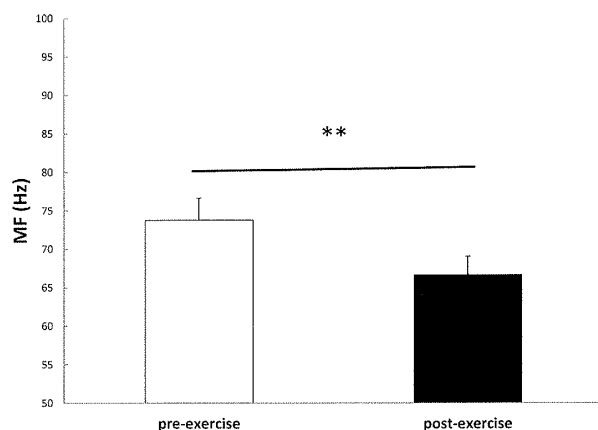


図2. 運動前後における MF (Values are means SE). 運動後の MF は運動前に比べて有意に低下した. (** $p < 0.01$)

負荷の影響に主効果が認められた (図4). また交互作用は認められなかった.

運動の前後における ERP 波形はほぼ同形で NoGoP300 を同定することができた.

NoGoP300 振幅において分散分析を行った結果, 運動負荷の影響と導出部位の両要因において交互作用 [$F = 3.07$; $p < 0.05$] が認められた. 下位検定を行った結果, 全ての部位に運動負荷の影響が認められ, 運動後の NoGoP300 振幅は有意に減少した. また導出部位について多重比較を行った結果, 前頭-中心部優位の頭皮上分布が得られた (図5).

NoGoP300 潜時において分散分析を行った結果, 導出部位には主効果が認められたが, 運動負荷の影響に主効果は認められなかった. また交互作用は認められなかった.

NoGoN2 および EMG-RT

運動の前後における ERP 波形はほぼ同形で NoGoN2 を同定することができた.

NoGoN2 振幅において分散分析を行った結果, 運動負荷の影響, 導出部位共に主効果は認められなかった. また交互作用も認められなかった.

NoGoN2 潜時において分散分析を行った結果, 導出部位には主効果が認められたが, 運動負荷の影響に主効果は認められなかった. また交互作用も認められなかった.

EMG-RT において分散分析を行った結果, 運動後は有意に延長した [$F = 15.15$; $p < 0.01$] (図6). また RT において分散分析を行った結果, 運動後は

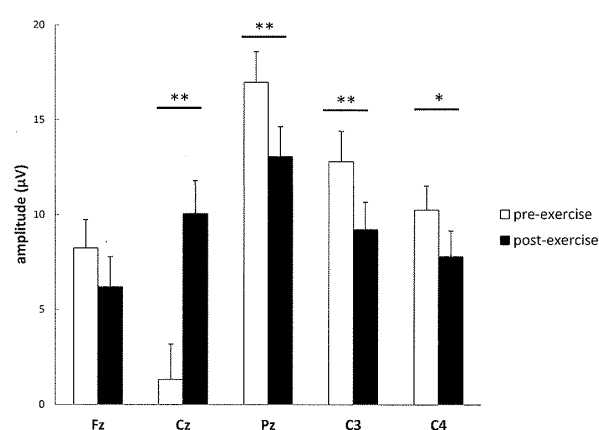


図3. 運動前後における P300 振幅
運動の前後共に, 頭頂部優位の頭皮上分布が得られた. また運動後に有意な振幅低下がみられた. (** $p < 0.01$, * $p < 0.05$)

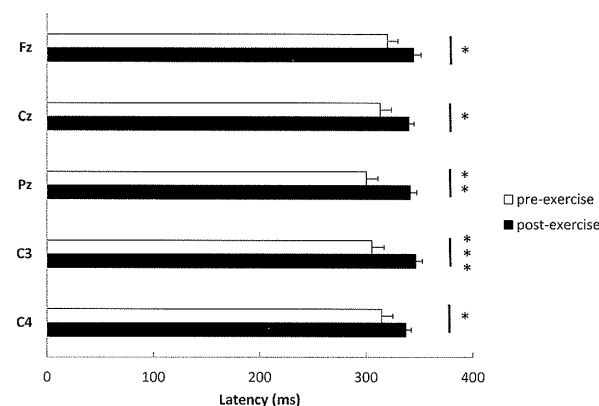


図4. 運動前後における P300 潜時
運動後に有意な潜時の延長がみられた. (** $p < 0.001$, * $p < 0.01$, * $p < 0.05$)

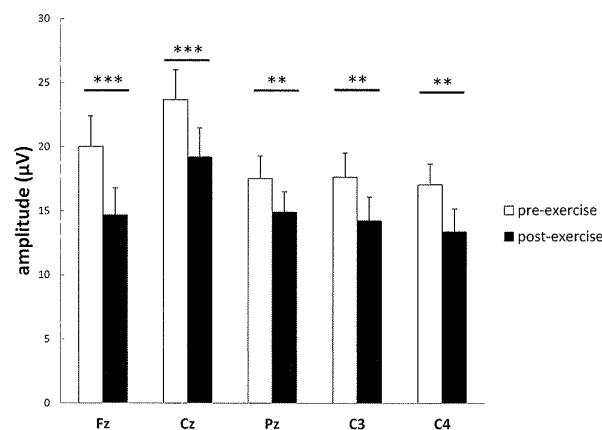


図5. 運動前後における NoGoP300 振幅
運動の前後共に, 中心部優位の頭皮上分布が得られた. また運動後に有意な振幅低下がみられた. (** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$)

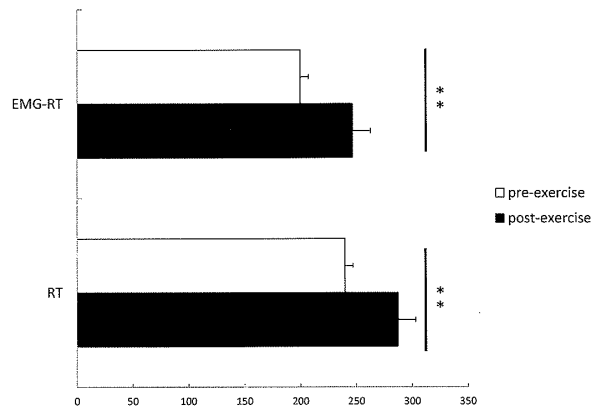


図6. 運動前後における EMG-RT および RT
EMG-RT, RT 共に運動後に有意な延長がみられた. (** $p < 0.01$)

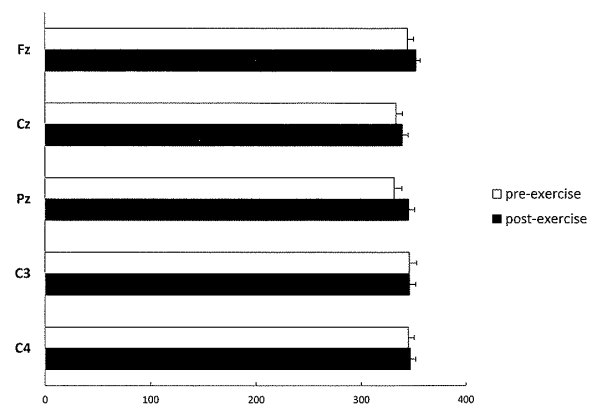


図7. 運動前後における NoGoP300潜時
運動後に有意な差は得られなかった.

有意に延長した [$F = 15.07$; $P > 0.01$].

4. 考察

最近の研究では運動が脳皮質の認知機能及び情報処理過程に影響を与えるという報告がある^{5,29)}. しかしそれらの研究はいずれも運動遂行時における脳内情報処理過程を評価している. 随意運動が円滑に行われるためには, 脳をはじめとする中枢神経系が筋収縮の遂行と抑制を統制する必要がある. 運動抑制時における脳内情報処理過程への高強度運動の影響を明らかにする必要がある. そこで本研究では, 運動抑制時における脳内情報処理過程への高強度運動の影響を, S1-S2課題によって得られた NoGo 電位を用いて検討した.

断続的な筋運動による末梢の変化

経時的に RPE が増大したことから被験者の努力度が運動課題の進行に伴って増大したことがわかる. さらに筋電図の MF の低周波化が起きたことから, 本運動課題は筋疲労を惹起させたことが示唆された.

断続的な筋運動による P300の変化

P300に関しては, 運動後の振幅は運動前に比べて有意に減少し, 運動後の潜時は有意に延長している. このことから局所的な高強度運動は中枢神経系, 特に情報処理過程に影響を与え, 機能を低下させたことが示唆された.

断続的な筋運動による NoGoN2・NoGoP300の変化 NoGoN2

随意運動が円滑に行われるためには, 脳をはじめとする中枢神経系が筋収縮の遂行と抑制を統制する必要がある. N2・P300は運動の遂行時に現れる ERP であるが, 運動の抑制に対応して現れる ERP 成分も存在する. それが NoGo 電位である. 本研究で得られた NoGoN2は前頭-中心領野から記録され, Go 反応を取りやめた時に増大するという先行研究^{21,25)}と一致する. 「NoGoN2は NoGo 試行で活動する前頭の抑制メカニズムを反映している」, これは Jodo and Kayama (1992)⁸⁾によって提唱された抑制仮説であるが, NoGoN2は抑制の神経プロセスに関係しているだけでなく, 刺激モダリティやパフォーマンスによって変動することも報告されている. Jodo and Kayama (1992)⁸⁾は RT が遅い群よりも速い群が有意に NoGoN2振幅が大きいことから, Go 刺激を取りやめるための心的負荷の高さと NoGoN2振幅の関わり合いを述べている. また Pliszka et al. (2000)²²⁾は健常な子どもにおいては反応抑制が必要とされている時に inferior frontal で大きな陰性成分 (NoGoN2) が認められたが, 注意欠陥・多動性障害をもった子どもでは振幅が著しく減少したことを報告している. これらのことから考えると本研究における NoGoN2の値は興味深い結果を示している. それゆえ局所的な高強度筋運動は, 中枢神経系に影響を与え, 情報処理過程の機能を変動させたということである. しかしながら, 同様の運動負荷を課したあとの NoGoN2の振幅・潜時には

全く変動は見られなかった。このことは局所的な高強度筋運動は運動抑制に関する情報処理過程の機能を低下させなかったということである。推測の域は出ないが、運動遂行に関する情報処理と運動抑制に関する情報処理に対して局所的な高強度筋運動の影響の現れ方には違いがみられることから、運動の遂行と抑制に関する情報処理のメカニズムは異なっている可能性が示唆された。

NoGoP300

NoGo 試行で得られた NoGoP300は、Go 試行で得られた P300に比べて潜時が遅く、P300よりも前方よりの頭皮上分布を示すことは広く知られている^{2,21)}。また振幅が P300に比べて NoGoP300で大きいことも知られている²¹⁾。本研究で得られた NoGoP300は前頭 - 中心領野で最大振幅を示し、NoGoP300潜時は P300潜時に比べて有意に遅かった。これらのことから NoGoP300は、P300とは異なる発生源を持ち、異なる成分であると考えられている³⁾。

NoGoP300に関しても抑制仮説が何人かの研究者によって提唱されている^{9,24)}。しかしこの仮説は現在いくつかの問題に直面しており、未だに問題は解決されていない。1つ目は方法論的な問題であり、S1-S2課題による NoGo 電位の誘発には運動に関連した活動の overlap の可能性が考えられるということと、2つ目は NoGoP300潜時が RT よりも遅いということである⁴⁾。NoGo と Go 刺激のプロセスの timing を推定すると、NoGoP300の onset は抑制メカニズムにしてはかなり遅い。しかし、NoGoP300は抑制プロセスのリセットや終了を反映していると考えられている⁴⁾。本研究で得られた NoGoP300は Go 試行で得られた P300にくらべて潜時が遅く、頭皮分布上も中心領野優位を示し、先行研究と一致した^{2,21)}。NoGoP300の抑制仮説に関しては前述したように賛否両論であるため、詳しい考察をすることはできない。しかしながら振幅に関しては局所的な運動によって低振幅を示した。このことは P300振幅のように局所的な高強度運動が運動抑制に関わる情報処理過程に影響を与え、機能を低下させたと解釈することもできるが、NoGoN2の結果、NoGoP300潜時に変動が得られなかったことから考えると、高強度運動（疲労）によって中枢神経系の抑制活動が活性化したことが考えられる。つまり NoGoP300を

抑制プロセスのリセットや終了と考えるのならば、高強度運動（疲労）によって中枢神経系が抑制状態に傾き、あまり中枢神経系が活動しなくても抑制プロセスのリセットや終了を行えるようになったように考えられる。しかしながら、あくまでも推測の域をでない考察であり、今後の NoGo 電位のメカニズム研究が望まれる。

断続的な筋運動による EMG-RT の変化

人間の情報処理は何かの刺激に注意した時、「それが何であるか」と評価する刺激評価過程と、「何をすべきか」と反応を行う選択反応過程の両方が同時に賦活することが考えられる¹⁹⁾。人間の情報処理過程はこれらの刺激評価過程と選択反応過程が並列的に働いていることが考えられ、特に P300・N2は刺激評価過程を反映する過程であり、その一方の選択反応処理過程の指標としての EMG-RT・RT は、その運動出力の結果である。研究課題では EMG-RT・RT に、有意な変化が認められた。これは課題に対する反応動作の違いおよび予告刺激の影響によって得られた差であろうと推測する。それゆえ本研究における EMG-RT・RT の局所的な高強度運動による延長は、P300潜時に現れた局所的な高強度運動による情報処理過程の機能低下が影響の一要因であると考えられる。

5. 結語

局所的な高強度運動が運動抑制に関わる認知機能及び情報処理過程へ与える影響を末梢の変化と共に多角的に検討し、以下の結果を得た。

1. 本研究における運動は、断続的な局所運動であり、被験者によって運動時間・運動会数は異なるが 40%MVC が維持できなくなるまで継続する運動であった。よって被験者全てに相対的に同様の負荷が与えられた。
2. 運動負荷後に、握力の低下・乳酸値の増加・MF の低周波化等の変化が見られたことから、局所的な高強度運動により末梢の筋は疲労状態であったと考えられる。
3. 運動負荷後の P300振幅は有意に低下し、P300潜時は有意に延長した。
4. 運動負荷後の NoGoP300潜時および NoGoN2潜時・振幅に有意な差は得られなかった。運動負荷後の NoGoP300振幅は有意に低下した。

以上のことから局所的な高強度運動は末梢の筋だけでなく中枢神経系の認知機能および情報処理過程に影響を及ぼした。局所的な高強度運動（疲労）によって中枢神経系の活動は抑制状態に傾き、運動の遂行に関する機能を低下させたと考えられる。

引用文献

- 1) Bigland-Ritchie B, Furbush F and Woods J J (1986) Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors. *J Appl Physiol* 61: 421-429
- 2) Bokura H, Yamaguchi S and Kobayashi S (2001) Electrophysiological correlates for response inhibition in a Go/NoGo task. *Clin Neurophysiol* 112: 2224-2232
- 3) Eimer M (1993) Effects of attention and stimulus probability on ERPs in a Go/Nogo task. *Biol Psychol* 35: 123-138
- 4) Falkenstein M, Hoormann J and Hohnsbein J (1999) ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition. *Acta Psychol* 101: 267-291
- 5) Fery Y-A, Ferry A, Vem Hofe A and Rieu M (1997) Effect of Physical Exhaustion on Cognitive Functioning. *Percept Mot Skills* 84: 291-298
- 6) Fujimoto T and Nishizono H (1993) Involvement of membrane excitation failure in fatigue induced by intermittent submaximal voluntary contraction of the first dorsal interosseous muscle. *J Sports Med Phys Fitness* 33: 107-117
- 7) Gutin B and DiGennaro J (1968) Effect of a treadmill run to exhaustion on performance of long addition. *Res Q* 39: 958-964
- 8) Jodo E and Kayama Y (1992) Relation of a negative ERP component to response inhibition in a Go/No-go task. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 82: 477-482
- 9) Karlin L, Martz M J and Mordkoff A M (1970) Motor performance and sensory-evoked potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 28: 307-313
- 10) Kaseda Y, Jiang C, Kurokawa K, Mimori Y and Nakamura S (1998) Objective evaluation of fatigue by event-related potentials. *J Neurol Sci* 158: 96-100
- 11) 川初清典, 矢部京之助, 山本高司 (1974) 疲労による誘発筋電図 (M 波) の変化. *体育学研究* 19: 33-39
- 12) Krus D M, Wapner S and Werner H (1958) Studies in vacuousness: The effect of muscular involvement on visual threshold. *Am J Psychol* 71: 395-398
- 13) McGlynn G H, Laughlin N T and Bender V L (1977) Effect of strenuous to exhaustive exercise on a discrimination task. *Percept Mot Skills* 44: 1139-1147
- 14) McGlynn G H, Laughlin N T and Rowe V (1979) The effects of increasing levels of exercise on mental performance. *Ergonomics* 22: 407-414
- 15) Nakamura Y, Nishimoto K, Akamatsu M, Takahashi M and Maruyama A (1999) The Effect of Jogging on P300 Event Related Potentials. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 39: 71-74
- 16) 中野修治, 橋本 勲 (1998) 視覚疲労が各種 P300 に与える影響 - Visual display terminal (VDT) データ入力作業での検討-. *臨床脳波* 40: 645-648
- 17) 日本産業衛生学会・産業疲労研究会編集委員会編 (1995) 産業疲労ハンドブック. 第 2 章 産業疲労調査の企画と進め方. 119-264, 労働基準調査会, 東京
- 18) Nishihira Y, Ohno T, Hatta A, Fumoto M, Kaneda T, Tokitou S, Imanaka K and Funase K (1999) P300 Before and After Transient Hard Exercise. *Adv Exerc Sports Physiol* 5: 49-54
- 19) 音成龍司, Geoff Barrett, 柴崎 浩 (1986) 大脳誘発電位後期陽性成分 (P300) の正常初見および加齢の影響. *脳波と筋電図* 14: 177-183
- 20) 小野寺孝一, 宮下充正 (1976) 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性. *体育学研究* 21: 191-203
- 21) Pfefferbaum A, Ford J M, Waller B J and Kopell B S (1985) ERPs to response production and inhibition. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 60: 423-434
- 22) Plizka S R, Liotti M and Woldorff M G (2000) Inhibitory control in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: event-related potentials identify the processing component and timing of an impaired right-frontal response-inhibition mechanism. *Biol Psychiatry* 48: 238-246
- 23) Polich J and Lardon MT (1997) P300 and long-term physical exercise. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 103: 493-498
- 24) Roberts L E, Rau H, Lutzenberger W and Birbaumer N (1994) Mapping P300 waves onto inhibition: Go/No-Go discrimination. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 92: 44-55

局所的な高強度運動が運動抑制過程に及ぼす影響

- 25) Simson R, Vaughan H G Jr and Ritter W (1977)
The Scalp topography of potentials in auditory
and visual discrimination task. *Electroencephalogr
Clin Neurophysiol* 42: 528-535
- 26) 丹羽真一, 鶴 紀子 (1997) 事象関連電位 事象
関連電位と神経情報科学の発展. 課題遂行と事象
関連電位 - 反応時間を含めて -. 65-75, 振興医
学出版, 東京
- 27) Tomporowski P D and Ellis N R (1986) Effects
of exercise on cognitive processes: A Review.
Psychol Bull 99: 338-346
- 28) 矢部京之助 (1990) 筋疲労の神経機構. 体育の科
学 40 : 365-371
- 29) Yagi Y, Coburn K L, Estes K M and Arruda J E
(1999) Effects of aerobic exercise and gender on
visual auditory P300, reaction time, and accuracy.
Eur J Appl Physiol 80: 402-408
(2014年 4 月10日受付, 2014年10月 2 日訂正,
2015年 7 月10日受理)