

機関番号：32509

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500558

研究課題名(和文) 両側体肢同時動作時に見られる機能低下現象に及ぼすトレーニング効果の生理学的機構

研究課題名(英文) Physiological mechanism of the training effect on bilateral deficit in simultaneous movement of the bilateral limbs

研究代表者

谷口 有子 (TANIGUCHI YUKO)

国際武道大学・体育学部・教授

研究者番号：80217140

研究成果の概要(和文)：スポーツの動作には、水泳の背泳のように四肢を左右交互に動かすものと、平泳ぎのように両側同時に動かすものがある。また、スポーツにおいては、すばやい筋力発揮を要求される場面が多く見られる。そこで、両側同時または一側単独のすばやい筋力発揮トレーニングを行なわせ、脳波と筋電図を用いてトレーニングによる変化のメカニズムを検討した。行なったトレーニングが両側性か一側性かによって反応動作時の筋力発揮レベルに違いが生じる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Sports motions include alternating movement of the four limbs, such as backstroke swimming, and simultaneous movement, such as breast stroke swimming. Rapid exertion of muscle force is frequently required in sports. We performed electroencephalography and electromyography in subjects before and after the training of rapid exertion of simultaneous bilateral or unilateral muscle force to investigate the mechanism of training-induced changes. It was suggested that the muscle force-exerting level in reactive movement differs depending on whether training is bilateral or unilateral.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：トレーニング、両側性機能低下、反応時間、筋力、CNV

1. 研究開始当初の背景

上肢あるいは下肢において両側同時に動作を行った場合、一側単独の場合と比較して機能低下(bilateral deficit)が観察されることが数多く報告されている(Henry & Smith, 1961; Howard & Enoka, 1991; Koh et al., 1993; Oda & Moritani, 1995; Ohtsuki, 1981a, 1981b, 1983; Rube & Secher, 1990; Schantz et al.,

1989; Secher et al., 1978, 1988; Vandervoort et al., 1984; Di Stefano et al., 1980; Jeeves, 1969; Jeeves & Dixon, 1970; Kerr et al., 1963)。現在、bilateral deficitに関与していると考えられている主なメカニズムは、a) 注意の分散、b) 相反性抑制、c) 大脳半球間抑制の3つである(Howard & Enoka, 1991; Koh et al., 1993; Oda & Moritani, 1995; Ohtsuki,

1994)。この bilateral deficit に対してレジスタンス・トレーニングが及ぼす効果については、両側性トレーニングを行うと両側同時条件での力発揮が増加し、一側性トレーニングを行うと一側単独条件での力が増加するというトレーニング効果の特異性が存在する(谷口、1993、1994、Taniguchi、1997)が、反応スピードトレーニングでは、反応時間自体は短縮するものの、その効果にはレジスタンス・トレーニングに見られるような lateral specificity がみられないことが明らかになっている(Taniguchi、1999a)。これまでのところ、トレーニングが bilateral deficit に及ぼす影響についての縦断的研究は、申請者の研究(谷口、1993、1994; Taniguchi、1997、1998、1999a、1999b) 以外にはほとんど見られず、そのメカニズムについては現在までほとんど研究されていない。また、筋力発揮時にみられる両側性機能低下と反応時間に見られるそれとは異なるメカニズムによって制御されている可能性が示唆されているが(谷口、2001)、それぞれのメカニズムはこれまで個別に検討されてきており、同一の動作様式を用いて両者を調べた研究はまったく見当たらない。

2. 研究の目的

両者の違いが「筋力発揮」と「反応時間」という課題の差によるものなのか、用いられた動作の違いによるものなのかを明らかにするために、同一動作(等尺性示指外転動作)を用いて、筋力発揮時および反応時間課題遂行時の脳波を解析することによって、それぞれの両側性機能低下のメカニズムを比較検討する。

その上で、「トレーニングによる bilateral deficit の特異的修飾」に大脳皮質レベルのメカニズムである a)、c) がどのように関与しているかを、反応刺激に対する注意や予期と関連している脳波の成分を分析して検討する。

3. 研究の方法

(1) **被検者**: 体育大学学生 14 名を両側トレーニング群 6 名、一側トレーニング群 4 名、対照群 4 名に分けた。被検者には、実験の趣旨について説明し、実験参加の同意を得た。なお、本研究は国際武道大学倫理規則に基づき、研究倫理委員会で承認された研究である(審査番号 08007 および 08009)。

(2) **測定項目**(図 1): ①**反応時間**: 発光ダイオードの点灯による視覚刺激に対して、できるだけすばやく等尺性示指外転筋力を発揮する単純反応時間課題を用いて、両側同時、一側左、一側右の 3 条件での反応時間を計測した。ストレインアンプとロードセルを用いて

等尺性筋力の立ち上がりを記録した。各条件について、20 試行を 2 セット行った。

②**脳波**: 脳波用電極と脳波計(日本光電株式会社製、Neurofax EEG-1100)を用い、国際式 10-20 電極配置法により、反応課題遂行中の脳波を記録した。

③**筋電図**: 脳波計を用い、反応課題遂行中に左右の手の第一背側骨間筋から表面電極により筋電図を記録した。



図 1 実験風景

(3) **測定時期**: トレーニング開始前、3 週後に測定を行った。

(4) **トレーニング内容**: 測定と同じ装置を用いて、発光ダイオードの点灯による視覚刺激に対して、できるだけすばやく示指外転の等尺性筋力を発揮する単純反応時間課題を、5 回×3 セット、週 3 日、3 週間行った。これを両側トレーニング群は両手同時に、一側トレーニング群は片手ずつ行った。トレーニング中の等尺性筋力も記録し、反応刺激呈示から等尺性筋力の立ち上がりまでの潜時を計測した。対照群はトレーニングを行わなかった。

(5) **分析項目**: ①**反応時間**: 筋電図および筋力の測定から得たデータから、素早さの指標として EMG-RT (反応刺激呈示～筋放電立ち上がり)、Movement Time (反応刺激呈示～筋力立ち上がり)、Motor Time (筋放電立ち上がり～筋力立ち上がり) を計測した。両側同時、一側左、一側右の条件別に、まず誤反応、尚早反応、遅延反応を除き、残った試行の平均値±2 標準偏差を超える値をさらに除いた試行の平均値を算出した。

②**脳波**: 記録した脳波を、各電極別、各条件別に加算平均し、CNV の振幅を計測した。また、反応動作時点から逆行性に脳波を加算平均し、movement-related cortical potential と類似した意味を持つ response-locked activity(Taniguchi, et al., 2001)の振幅も計測した。

③**筋力**: 各試行の等尺性筋力の最大値を計測し、反応時間と同様の手続きで条件別の筋力の平均値を求めた。

4. 研究成果

(1) トレーニング前後の比較: トレーニングによって、一側群では一側・両側条件に関わらず、全ての反応時間の項目に短縮方向への変化がみられた。分散分析の結果、両側 EMG-RT のトレーニング後に短縮傾向がみられ ($F(1, 3) = 7.35, p < 0.10$)、両側 Movement Time ($F(1, 3) = 19.99, p < 0.05$)、一側 Movement Time ($F(1, 3) = 61.75, p < 0.01$) が短縮した。CNV の振幅は一側 C3 を除いて増加した。筋力は両側・一側条件ともに増加方向へ変化した。これは、トレーニングによって反応時間の短縮が認められている反応時間における一側性・両側性のトレーニング効果に関する先行研究 (Taniguchi, 1999a) とほぼ同様の結果であり、両側条件、一側条件に関わらず、反応時間の短縮方向への変化がみられたという点においても同様であった。CNV の振幅は一側 C3 を除いて増加方向へ変化しており、トレーニングによって反応時間の短縮がみられ、大脳の準備状況を示す CNV の振幅は増加するという本研究における仮説を支持する傾向を示した。すなわち、一側トレーニングを行うことにより、大脳皮質一次運動野における錐体細胞の興奮性が高まったことにより、CNV の振幅が増大し、反応時間が短縮したものと推察された。

両側群では両側条件の EMG-RT が短縮方向に変化し、CNV の振幅は増加傾向であった ($F(1, 5) = 4.97, p < 0.10$)。一側条件の Movement Time に延長傾向がみられた ($F(1, 5) = 4.12, p < 0.10$)。一側 CNV におけるトレーニング前後と左右の要因の交互作用が有意 ($F(1, 5) = 9.19, p < 0.05$) であり、水準ごとに単純主効果を分析した結果、トレーニング後の C3 の振幅は C4 の振幅に比べ大きかった ($F(1, 5) = 12.09, p < 0.05$)。また、筋力は両側・一側条件ともに減少方向へ変化した。両側トレーニング群の被験者は3週間のトレーニング後の測定の際、一側条件の反応動作がやりにくくなったと述べており、両側条件における EMG-RT の短縮方向への変化、CNV の振幅増加傾向、一側条件の Movement Time の延長傾向が、被験者の主観と一致していた。筋力トレーニングにおいては、両側性トレーニングを行うと、両側性機能低下の割合が減少することが先行研究で示されており (Taniguchi, 1997)、対側の運動野をお互いが抑制しているという大脳半球間の働きに抑制がかかったのではないかと推察されている。本研究における両側トレーニング群の、中枢からの指令と関係が強いとされる EMG-RT に短縮方向への変化や反応刺激に対する大脳皮質の準備状況を見る CNV に振幅の増加傾向がみられ、一側条件の反応課題に対しやりづらさや反応時間に延長方向への変化がみられたことは、対側の運動野をお互い

が抑制しているという大脳半球間の働きに抑制がかかった可能性が考えられる。本研究における反応課題は等尺性筋力発揮の示指外転動作を用い、先行研究の拇指によるボタン押し動作と比べ、筋力発揮を伴う反応動作である。本研究における両側群の結果が、先行研究 (Taniguchi, 1999a) では確認されていない反応時間におけるトレーニング効果に特異性が存在することを示唆するものであった理由は、力発揮を伴う反応時間課題を用いたことによる可能性が考えられた。

コントロール群には、各反応時間項目に有意な変化はみられなかったが、コントロール後に両側条件の CNV の振幅が減少した ($F(1, 3) = 54.42, p < 0.01$)。トレーニングを行わなかったコントロール群は反応時間が変化せず、トレーニング群は短縮した。また、トレーニングによって増加すると予察した CNV の振幅は、コントロール群は減少し、トレーニング群は増加した。本実験に入る前に、全ての被験者が装置や課題に十分に慣れてきたことから、トレーニング群に見られた変化は単に測定に対する慣れなどで起こったものではなく、トレーニングによって起こったものであることを示している。

(2) 群間の比較: 3群のトレーニング前後の変化について分散分析を行った結果、両側 EMG-RT について「トレーニング前後」の主効果が有意であり、トレーニング前と比べて、トレーニング後に短縮した ($F(1, 11) = 8.43, p < 0.05$)。

両側 Movement Time において群の要因とトレーニング前後の要因の交互作用が有意であった ($F(2, 11) = 4.29, p < 0.05$)。単純主効果を分析した結果、一側トレーニング群に有意な短縮がみられた ($F(1, 11) = 14.23, p < 0.01$)。一側 Movement Time において群の要因とトレーニング前後の要因の交互作用が有意であった ($F(2, 11) = 13.68, p < 0.01$)。単純主効果を分析した結果、一側トレーニング群に有意な短縮がみられ ($F(1, 11) = 21.49, p < 0.01$)、両側トレーニング群に有意な延長がみられた ($F(1, 11) = 5.68, p < 0.05$)。

両側 CNV において群の要因とトレーニング前後の要因の交互作用が有意であった ($F(2, 11) = 7.24, p < 0.01$)。単純主効果を分析した結果、両側トレーニング群に有意な振幅の増加がみられた ($F(1, 11) = 6.12, p < 0.05$)。コントロール群は有意な振幅の減少がみられた ($F(1, 11) = 7.73, p < 0.05$)。

両側筋力において群の主効果が有意であった ($F(2, 11) = 7.34, p < 0.01$)。一側筋力においても群の主効果が有意であった。両側条件 ($MSe = 25.48, p < 0.05$)・一側条件 ($MSe = 28.06, p < 0.05$) とともに、両側トレーニング群は一側トレーニング群、コントロー

ル群に比べ、筋力が大きかった。

(3)各変数間の関係:全被験者14名のEMG-RTの変化とCNVの振幅の変化の関係には両側・一側条件ともに有意な相関関係は見られなかった。EMG-RTは反応刺激呈示から筋放電開始時までの反応時間である。言い換えれば、中枢から筋へ指令が届くまでの時間と捉えることができる。また、CNVは脳の準備状況を捉える指標である。本研究における反応時間項目の中でCNVの変化による影響と関係があるのではないかという点から、トレーニングによる反応時間の変化をEMG-RTとCNVの関係からも検討したが、有意な相関関係はみられなかった。

全被験者14名の右手の両側Motor timeの変化と筋力の変化の間に有意な負の相関関係がみられた($F(1, 13) = 6.96, p < 0.05$)。右手の側Motor Timeと筋力の間にも有意な負の相関関係が見られた($F(1, 13) = 5.1, p < 0.05$)。つまり筋力が大きくなると、Motor timeが短くなり、筋力が小さくなると、Motor timeが延長するという関係がみられた。発揮筋力の大小でMotor unitの動員数や発火頻度が異なり、それが力曲線の立ち上がりに影響を及ぼしたと推察された。このような関係がみられることは、実験前から予想されており、被験者には素早く反応動作を行うよう指示をして複数回の練習を行わせ、筋力レベルが一定となるようコントロールを試みた。その後、3週間の一側・両側トレーニング群またはコントロール群に振り分けた。それにもかかわらず、一側トレーニング群はトレーニング後に筋力が増加方向、両側トレーニング群は減少方向への変化がみられたことは、反応時間におけるトレーニングが一側性か両側性かによって反応動作時の筋力発揮に影響を及ぼした可能性が示唆された。

今後は、各群の被検者数を増やし、群間の筋力レベルの初期値をできる限り均一にするなど、さらに詳細に各トレーニングのメカニズムについて検討していく必要がある。

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3件)

- ① Taniguchi, Y. and Shibai, K.: Lateral specificity of bilateral training in the motor cortical activity and reaction time during the simultaneous reaction time and strength task. In Abstract Book of 14th Annual Congress of the European College of Sport Science (Eds. Loland, S., Bø, K., Hallén, J., Ommundsen, Y., Roberts, G., Tsolakidis,

E.), 査読有、European College of Sport Science, 2009, 403

- ② 柴井健太: 大脳皮質の活動レベルからみた一側性・両側性反応動作のトレーニング効果、国際武道大学2008年度修士論文、査読有、2009、pp.1-39
- ③ Shibai, K. and Taniguchi, Y.: The effect of training in bilateral and unilateral reaction time tasks on the motor cortical activity during bilateral and unilateral reaction time tasks. In Abstract Book of 13th Annual Congress of the European College of Sport Science (Eds. Cabri, J., Alves, F., Araujo, D., Barreiros, J., Diniz, J., and Veloso, A.), 査読有、European College of Sport Science, 2008, 374

[学会発表] (計3件)

- ① Taniguchi, Y. and Shibai, K.: Lateral specificity of bilateral training in the motor cortical activity and reaction time during the simultaneous reaction time and strength task. 14th Annual Congress of the European College of Sport Science. 2009.6.24-27. Oslo, Norway
- ② 柴井健太、谷口有子: 大脳皮質の活動レベルからみた一側性・両側性反応動作のトレーニング効果、第21回日本トレーニング科学会大会、2008年12月20-21日、埼玉
- ③ Shibai, K. and Taniguchi, Y.: The effect of training in bilateral and unilateral reaction time tasks on the motor cortical activity during bilateral and unilateral reaction time tasks. 13th Annual Congress of the European College of Sport Science, 2008.7.9-12, Estoril, Portugal

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 有子 (TANIGUCHI YUKO)
国際武道大学・体育学部・教授
研究者番号: 80217140

(2) 研究協力者

柴井 健太 (SHIBAI KENTA)
国際武道大学大学院、武道・スポーツ研究科、(修士課程) 大学院生