

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究(B)
研究期間：2007～2009
課題番号：19700532
研究課題名(和文)
疲労困憊に至る運動における大脳皮質運動野の機能的相補性発現に関する研究
研究課題名(英文)
The complementary relationship between bilateral primary motor cortex during exhaustive exercise
研究代表者
澁谷 顕一(KENICHI SHIBUYA)
長崎総合科学大学・共通教育センター・准教授
研究者番号：10392698

研究成果の概要(和文)：疲労困憊に至る運動中に大脳皮質一次運動野は左右の半球間でお互いの活性を補うように活動している可能性が、腕掌握運動、ピンチング運動で認められた。

研究成果の概要(英文)：It was found that the primary motor cortex contralateral and ipsilateral to exercising hand compensate for the activation of the opposite side primary motor cortex during exhaustive exercise.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	300,000	0	300,000
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	870,000	4,070,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：スポーツ生理学

1. 研究開始当初の背景

運動に起因する疲労に関する研究は1900年代初頭から始まり、現在に至るまで盛んに行われてきた。それは運動という動作を考える際に、多くの場合、その終点となるものが疲労だからである。これまでの研究で運動中に起こる疲労は、末梢における神経学的・生化学的变化からのみでなく、中枢における抑制・不活性によっても引き起こされることが

明らかになってきた。スポーツを考えた場合、持久的競技におけるパフォーマンスは疲労との戦いでもある。その意味で、新しく、より合目的なトレーニング方法の開発には疲労を正しく理解することが不可欠である。

疲労困憊後、ヒトの大脳皮質運動野は活動を抑制された状態に陥ることが、多くの手法でもって証明されてきた。しかし、疲労は運動中に急に発生するものではなく、徐々に起

こる現象である。そのため、疲労という現象を正しく理解するためには、疲労は時系列的に捉えられる必要がある。しかし、中枢においてそれらを記述した研究は、技術的な問題などから申請者らが発表してきた研究 (Shibuya et al. 2004a, 2004b; Shibuya and Tachi, 2006) 以外には散見する程度である。また、運動に伴う疲労時に前頭前野だけでなく、M1の活性が低下することがこれまでに報告されている (Shibuya and Tachi, 2006)。しかしながら、この疲労に伴う漸減的M1活性にも関わらず、筋はしばらくの間、求められる運動強度を保ち活動を続ける。これにはM1の機能的相補性が大きく関与し、相補性の存在は疲労耐性を左右する可能性がある。また、様々な末梢からのフィードバック経路によりこの相補性に変化が見られる可能性もあった。そのため、競技力向上を考える上ではM1における相補性についても十分な検討が必要であった。

2. 研究の目的

M1の活性のみならず、脳組織の活性は、経頭蓋磁気刺激装置や fMRI などを用いて研究されてきた。しかし、これらの機器を用いて、運動中の疲労困憊に至るまでの脳活性の変化を捉え続けることは技術的に困難である。一方で、申請者らはこれまで近赤外線分光法装置 (NIRS) を用いて、運動中の脳活性を評価してきた。この方法は、頭蓋における血流の影響を受けることや、絶対的な変化を捉えることが技術的に困難であるなど、絶対的な指標とはなりえないものの、先駆的な研究分野において、常に脳科学を先導してきた計測機器である。NIRS で計測された結果は将来的に fMRI などの大掛かりな装置で確証を得る必要はあるものの、動的な運動条件下で時系列的に計測が可能であり、実際の運動に近い形での計測が可能であるという利点を持つ。

申請者らは研究期間中に、この NIRS を用いて、M1 領域における機能的相補性について検討を進めていく予定である。運動時の機能的相補性に関しては同様に NIRS を用いた研究で、利き手と反対側の手を動かした際に利き手側の M1 が相補的に働くことなどが報告されている。疲労困憊時においても同様に機能的相補性が存在する可能性がある。機能的相補性の存在とその発現条件を検証することに本研究の目的を置く。

3. 研究の方法

1)

被験者

被験者は 8 名の右利きの健康成人男性であった (20.9 ± 0.83 yrs, 167.8 ± 8.88 cm, 62.5 ± 5.6 kg)。インフォームドコンセントを十分に行い、実験への参加の承諾を得た。

近赤外線分光法装置

近赤外線分光法については Elwell et al., (1994) により記述されている。本研究では4波長の近赤外線(775, 810, 850, and 905nm) を用いた近赤外線分光法装置 (NIRS)(NIRO-300L, Hamamatsu Photonics, Japan)を用いた。それにより、一次運動野の酸素化を測定した。プローブは左右の一次運動野上に設置した。プローブの送受光間距離は 3.5cm とした。

NIRS データは 2Hz で記録した。安静時の酸素化指標として運動開始 5 分前の 120 データ(60 秒間)の平均値を用いた。運動中の NIRS データは 2 秒間の平均値を用いた。

プロトコール

実験前に、被験者には十分に運動に慣れてもらうよう、運動を繰り返してもらった。運動は 50-60%MVC での右手ピンチング運動を用いた。各被験者は疲労困憊までピンチング運動を継

続した。

2)

被験者

被験者として7名の右利きの健常成人(21.7 ± 8.4 yr, 169.3 ± 8.3 cm, 61.6 ± 8.4 kg)が本研究に参加した。インフォームドコンセントを十分に行い、実験への参加の承諾を得た。

近赤外線分光法装置

近赤外線分光法についてはElwell et al., (1994)により記述されている。本研究では4波長の近赤外線(775, 810, 850, and 905nm)を用いた近赤外線分光法装置(NIRS)(NIRO-300L, Hamamatsu Photonics, Japan)を用いた。それにより、一次運動野の酸素化を測定した。プローブは左右の一次運動野上に設置した。プローブの送受光間距離は3.5cmとした。

NIRSデータは2Hzで記録した。安静時の酸素化指標として運動開始5分前の120データ(60秒間)の平均値を用いた。運動中のNIRSデータは2秒間の平均値を用いた。

プロトコール

実験前に、被験者には十分に運動に慣れてもらうよう、運動を繰り返してもらった。運動は50-60%MVCでの左手のピンチング運動を用いた。各被験者は疲労困憊までピンチング運動を継続した。

3)

被験者

被験者として14名の右利きの健常成人(25.2 ± 1.4 yr)が本研究に参加した。14名のうち7名は国際もしくは国内レベルのアスリートであり(trained group)、残り7名は運動経験の少ない一般成人であった(untrained group)。前者は最大酸素摂取量が 60ml/kg/min を超え、

最大腕掌握筋力は 55kg 以上であった。後者は最大酸素摂取量が 45ml/kg/min 以下であり、最大腕掌握筋力も 50kg 以下であった。インフォームドコンセントを十分に行い、実験への参加の承諾を得た。

近赤外線分光法装置

近赤外線分光法についてはElwell et al., (1994)により記述されている。本研究では4波長の近赤外線(775, 810, 850, and 905nm)を用いた近赤外線分光法装置(NIRS)(NIRO-300L, Hamamatsu Photonics, Japan)を用いた。それにより、一次運動野の酸素化を測定した。プローブは左右の一次運動野上に設置した。プローブの送受光間距離は4.0cmとした。

NIRSデータは2Hzで記録した。安静時の酸素化指標として運動開始5分前の120データ(60秒間)の平均値を用いた。運動中のNIRSデータは5秒間の平均値を用いた。

プロトコール

実験前に、被験者には十分に運動に慣れてもらうよう、運動を繰り返してもらった。運動は50-60%MVCでの右手の腕掌握運動を用いた。各被験者は疲労困憊までピンチング運動を継続した。

3. 研究成果

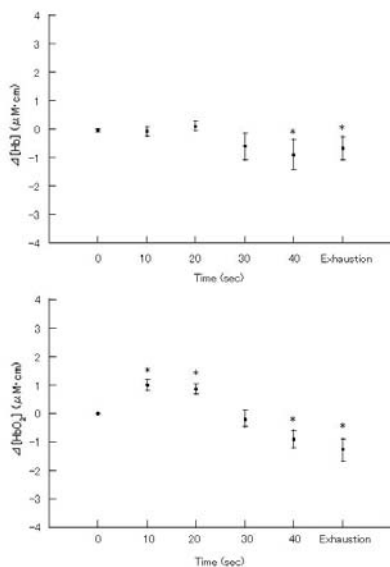
1)

最大随意収縮(MVC)は 8.45 ± 1.61 kgであった。50%MVCの平均値は 4.23 ± 0.18 kgであった。疲労困憊までに時間は運動開始後 66.8 ± 13.60 秒であった。

対側一次運動野酸素化動態

活動肢に対して対側の一次運動野における酸素化ヘモグロビン濃度は運動中に有意に変化した($F = 13.616$, $P < 0.0001$)。酸素化へ

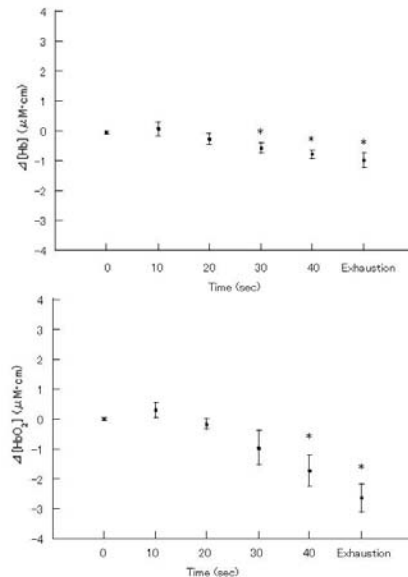
モグロビン濃度は運動開始後 10 秒と ($T = -6.202, P = 0.0004$) 20 秒 ($T = -5.807, P = 0.0007$) で、運動開始前と比べ有意に上昇した。全ての被験者において運動開始後 10 秒及び 20 秒の時点での酸素化ヘモグロビン濃度は上昇した。しかしながら、酸素化ヘモグロビン濃度は運動開始後 40 秒 ($T = 2.983, P = 0.00204$) 及び疲労困憊時 ($T = 3.301, P = 0.0131$) に、運動開始前と比べ有意に減少した。運動開始前の値に対し、被験者 8 名中 6 名で運動開始後 40 秒で低下を見せ、全ての被験者で、疲労困憊時には低下していた。対側の還元型ヘモグロビン濃度は運動中有意な変化が認められなかった ($F = 1.496, P = 0.2118$)。



同側一次運動野酸素化動態

活動肢に対して同側の一次運動野における酸素化ヘモグロビン濃度は、運動中に有意に変化した ($F = 9.091, P < 0.0001$)。酸素化ヘモグロビン濃度は、運動開始前に比べ、運動開始後 50 秒で有意に低下し ($T = 3.686, P = 0.0078$)、疲労困憊時にも有意に低下した ($T =$

$5.830, P = 0.0006$)。被験者 8 名のうち 5 名が運動開始 10 秒後に酸素化ヘモグロビン濃度が上昇し、運動開始後 40 秒では 7 名が低下し、疲労困憊時には全員が低下した。



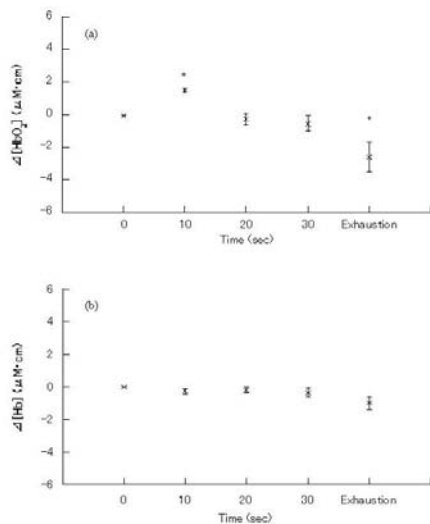
活動肢に対し同側の還元型ヘモグロビン濃度は運動中有意に変化した ($F = 7.437, P < 0.0001$)。同側還元型ヘモグロビン濃度は、運動開始前に比べ運動開始後 30 秒 ($T = 3.528, P = 0.0096$)、40 秒 ($T = 5.394, P = 0.0010$) で有意に低下し、疲労困憊時にも有意に低下した ($T = 4.050, P = 0.0049$)。全ての被験者において、還元型ヘモグロビン濃度は運動開始後 30 秒と 40 秒で低下した。さらに、8 名中 7 名の被験者において、還元型ヘモグロビンの低下が認められた。

2)

最大随意収縮 (MVC) の平均値は 7.5 ± 0.9 kg であった。50% MVC の平均値は 3.8 ± 0.5 kg であった。疲労困憊までの時間は 66.3 ± 20.4 sec (37.5 – 99.6 sec) であった。

対側（右側）一次運動野酸素化動態

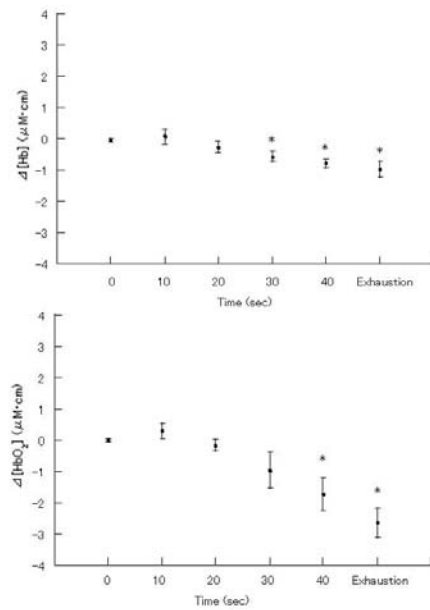
活動肢に対して対側の一次運動野の酸素化ヘモグロビン濃度は運動中に有意に変化した ($F = 9.302, P < 0.0001$)。



酸素化ヘモグロビン濃度は運動開始前に比べ運動開始後 10 秒で有意に上昇した ($T = -11.510, P = 0.0001$)。被験者のうち 7 名において、対側酸素化ヘモグロビン濃度は運動開始後 10 秒後に上昇を示した。運動開始後 20 秒では 7 名中 6 名の被験者において上昇した。しかしながら、疲労困憊時には酸素化ヘモグロビン濃度は運動開始前に比べ有意に低下した ($T = 2.903, P = 0.0337$)。対側還元型ヘモグロビン濃度は運動中に変化を示さなかった ($F = 2.623, P = 0.0544$)。

同側（左側）一次運動野酸素化動態

活動肢に対して同側の一次運動野の酸素化ヘモグロビン濃度は運動中に有意に変化した ($F = 4.462, P = 0.006$)。同側酸素化ヘモグロビン濃度は運動開始前に比べ疲労困憊時に有意に減少した ($T = 3.201, P = 0.0186$)。同側還



元型ヘモグロビン濃度は運動中に有意に変化しなかった ($F = 1.207, P = 0.3284$)。

3)

疲労困憊までの運動時間は非鍛練者群で 60.5 秒 ($SD = 18.2$) であった。非鍛練者群の酸素化ヘモグロビン濃度は運動中に有意に変化した ($F = 8.603, df = 10, p < .0001$)。さらに、安静時に比べ運動開始後 10 秒で有意に上昇した ($p < .05$)。非鍛練者群の全ての被験者において疲労困憊時の酸素化ヘモグロビン濃度は安静時に比べ上昇した。非鍛練者群の還元型ヘモグロビン濃度も運動中に有意に変化した ($F = 8.464, df = 10, p < .0001$)。さらに、運動開始後 20 秒、30 秒で安静時に比べ有意に低い値を示した ($p < .05$)。

鍛練者群の運動時間の平均は 73.1 秒 (20.1) であった。疲労困憊までの時間は非鍛練者群に比べ鍛練者群が有意に大きな値を示した ($p < .05$)。酸素化ヘモグロビン濃度は運動中に有意に変化した ($F = 6.362, df = 10, p < .0001$)。酸素化ヘモグロビン濃度は安静時に比べ運

動開始後 10 秒、30 秒、40 秒に有意に上昇し、そして、疲労困憊時に有意に低下した ($p < .05$)。還元型ヘモグロビン濃度も運動中に有意に変化した ($F = 6.513, df = 10, p < .0001$)。さらに、安静時に比べ運動開始後 30 秒で有意に低下した ($p < .05$)。

これらの結果から、研究 1) では、運動中に左右半球間の結合が起こり、運動終了時には対側の一次運動野から同側一次運動野への抑制作用が起きている可能性が示唆された。また、研究 2) では、非利き手における運動においても、活動肢に対して対側から同側への抑制作用が認められた。研究 3) ではこれらの一次運動野における酸素化動態は鍛練者と非鍛練者では異なり、同一の生理学的現象下でも、生理的反応が異なる可能性が示唆され、同一の要因で疲労という現象が起きているとは限らないことが示唆された。

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)

Kenichi Shibuya, Naomi Kuboyama. Decreased activation in the primary motor cortex area during exhaustive handgrip exercise in trained subjects Perceptual and Motor Skills、査読有、(In press) (Corresponding author)

Kenichi Shibuya, Naomi Kuboyama, Bilateral motor control during motor tasks involving the nondominant hand. Journal of Physiological Anthropology、査読有、28:165-171, 2009 (Corresponding author)

Kenichi Shibuya, Naomi Kuboyama, Human motor cortex oxygenation during exhaustive pinching motor task. Brain Research、査読有、

1156: 120-124, 2007 (Corresponding author)

[学会発表] (計 2 件)

澁谷 顕一, 「運動を持続させる一次運動野の働き—トップアスリートと非鍛練者の違い」日本体力医学会 2009 年 9 月

Kenichi Shibuya, Masako Iwadate, Tomoko Sadamoto, Reduced contribution of the ipsilateral primary motor cortex to force modulation with habituation for exercise in humans: An NIRS study. Society for Neuroscience 277.5, 2008

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澁谷 顕一 (KENICHI SHIBUYA)

長崎総合科学大学・共通教育センター・准教授

研究者番号：10392698

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：