

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01696

研究課題名(和文) 運動負荷強度が脳性麻痺者の脳及び筋疲労に及ぼす影響について

研究課題名(英文) The effect of exercise load intensity on brain and muscle fatigue in cerebral palsy patients

研究代表者

石塚 和重 (ISHIZUKA, KAZUSHIGE)

筑波技術大学・その他部局等・名誉教授

研究者番号：40350912

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：運動負荷強度が脳性麻痺者の脳及び筋疲労にどのような影響を及ぼしているのか健常者と比較検討した。方法は重錘を用いた等張性運動負荷と等尺性運動負荷試験及び自転車を用いた無酸素性運動負荷と心肺運動負荷試験を実施した。近赤外線分光法(NIRS)を用いて疲労評価を試みた。結果として健常者と脳性麻痺者とも等張性運動負荷のみがNIRSでの筋疲労に影響を与えていたと考えられた。脳については大きな影響を与えなかった。NIRSでの筋活動と脳活動の測定値には相関が認められなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳性麻痺は脳の障害を起因とする運動障害である。脳性麻痺者は年齢の増加と共に体力の低下が著しく疲労しやすいと言われている。しかし、脳性麻痺のトレーニング方法については未だ明らかになっていない。運動が脳性麻痺の運動負荷強度が脳性麻痺者の脳及び筋疲労にどのような影響を及ぼしているのか検討することは脳性麻痺者の適正なトレーニング方法を提案するために重要な基礎的研究であると同時に学術的、社会的意義のある研究であると考えている。

研究成果の概要(英文)：The effect of exercise load intensity on the brain and muscle fatigue of cerebral palsy patients was compared with normal subjects. As the method, isotonic and isometric exercise tests using weights and anoxic and cardiopulmonary exercise tests using bicycles were performed. Fatigue evaluation was tried using Near Infrared Spectroscopy (NIRS). As a result, it was considered that in both normal and cerebral palsy patients, only isotonic exercise load affected muscle fatigue in NIRS. It had no significant effect on the brain. No correlation was found between measurements of muscle activity and brain activity on NIRS.

研究分野：脳性運動障害

キーワード：脳性麻痺者 健常者 運動 運動負荷テスト Nirs System 脳疲労 筋疲労

1. 研究開始当初の背景

運動と脳機能の関係が解明されてきた背景には脳機能イメージングの発展がある。1990年代初頭に脳機能MRI (fMRI) が利用できるようになってから、脳機能研究が広く行われるようになった。しかし、fMRI は安静を保たなければならず、運動と脳機能の関係を調べるのは困難であった。そのような中、近赤外分光法 (Near-Infrared Spectroscopy: NIRS) が登場した。NIRS は、非侵襲的かつリアルタイムに観察でき、実際の活動場面に近い状況で測定が可能のため、リハビリテーション分野をはじめ、スポーツ分野・ロボットスーツなど幅広い領域で研究が行われるようになってきている。一方、脳の可塑性を利用した「ニューロリハビリテーション」も研究が進んできている。これまでの研究では、歩行をすると脳の一次運動野の酸素化ヘモグロビン濃度が増加し、速度調整や障害物回避などでは、運動前野や前頭前野が活性化することがわかっている。

近年、NIRS は脳だけでなく、末梢循環や局所筋における酸素動態を観察する筋疲労の評価としても用いられ注目されてきている。これまでの研究では、等張性運動では、負荷強度をあげると、血中酸素化ヘモグロビン濃度が筋疲労に伴って増加することや NIRS は筋電計で捉えられない運動後の状態を測定できると報告している。また、トレーニング後の疲労回復を血中酸素化ヘモグロビン濃度長で評価できると報告されている。

本研究は運動負荷時の脳性麻痺者の脳および筋疲労について運動負荷後の脳と筋の疲労に着目して脳と筋の NIRS での同時測定を試みた。

2. 研究の目的

本研究は運動が脳性麻痺者の脳及び筋疲労にどのような影響を及ぼしているのか、筋活動に対して重錘を用いた等張性運動負荷と等尺性運動負荷試験及び無酸素性運動負荷試験と持久性能力としての心肺運動負荷 (自転車運動負荷) 試験を実施し、運動が脳性麻痺者の脳及び筋疲労について運動後の酸素濃度回復速度の比較を目的として、NIRS を用いて健常者と脳性麻痺者について検討する。

3. 研究の方法

本研究では Spectratech 社製光イメージング脳機能装置 Spectratech OEG-16 を使用した。サンプリング速度は 0.0819Hz である。単位は mM.mm である。測定内容 (図 1) は 1. 等張性運動負荷試験: 2 分間安静着座した状態で休息した後、1 分間重錘を膝関節伸展・屈曲での等張性運動する。運動終了後 2 分間の休息状態での疲労回復状況を測定する負荷試験 2. 等尺性運動負荷試験: 2 分間安静着座した状態で重錘を利用した膝関節の伸展時での等尺性運動をする。運動終了後 2 分間の休息状態での疲労回復状況を測定する負荷試験 3. 無酸素性運動負荷試験: 自転車エルゴメーターを使用して 30 秒間出来るだけ早く漕ぎ続けるという無酸素性運動終了後の疲労回復状況を測定する負荷試験 4. 心肺運動負荷試験: 自転車エルゴメーターによる 50~60rpm (回転) の速度を維持した状態で、徐々に負荷をかけて漕いでいき、ペダルのスピードが維持できなくなった時点または本人が限界を感じた時点で負荷試験は終了するという運動終了後の疲労回復状況を測定する負荷試験を実施した。NIRS を用いた疲労評価として運動後の酸素化ヘモグロビン濃度長と脱酸素化ヘモグロビン濃度長を差し引いた数値を疲労評価の指標とした。(図 2) 図の縦軸はヘモグロビン濃度長 (単位 mM.mm) 横軸は時間 (sec) を示している。

被検者は健常者 10 名 (平均年齢 38.7 歳) 脳性麻痺者 11 名 (平均年齢 20.4 歳) について検討した測定部位は脳の NIRS については前頭部で測定し、筋については右大腿直筋部とした。NIRS の分析は運動前 1 分間、運動中、運動後 1 分間について算出し解析した。平均値の差は対応ある t 検定をした。

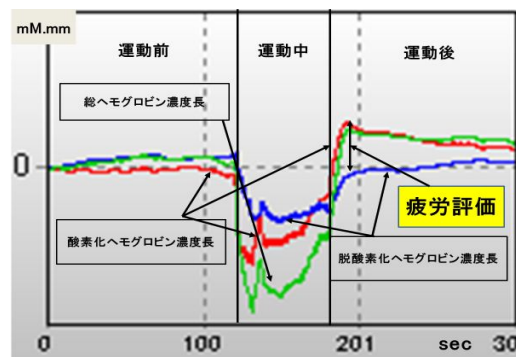


図 1 Biodex 上での等張性運動負荷時での測定場面 図 2 負荷運動時の NIRS の変化の説明図 (*疲労評価値 = 酸素ヘモグロビン濃度長 - 脱酸素化ヘモグロビン濃度長で算出する)

4. 研究成果

NIRS の結果については平均値と標準偏差で示す。単位は mM.mm である。本文では酸素化ヘモグロビン濃度長、脱酸素化ヘモグロビン濃度長、総ヘモグロビン濃度長について述べていく。

等張性運動負荷強度による NIRS の変化

A 筋

健常者は無負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.1139 \pm .6476$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.6247 \pm .7165$ 、総ヘモグロビン濃度長 $-.7689 \pm .1240$ であった。負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.05669 \pm .3234$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $.610 \pm .3145$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.1278 \pm .2397$ で無負荷運動時より負荷運動時では酸素化ヘモグロビン濃度長が有意確率 $.02$ で有意な増加傾向が認められた。

脳性麻痺者では無負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.2072 \pm .3347$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.590 \pm .2576$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.2661 \pm .5140$ であった。負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.2793 \pm .4804$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $.2848 \pm .8849$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.0444 \pm .5999$ で無負荷運動時と負荷運動時での有意な差は認められなかった。(図3)

図3では運動中は健常者、脳性麻痺者に両者において酸素ヘモグロビン濃度長、脱酸素化ヘモグロビン濃度長は減少しているが、運動終了後において健常者は酸素化ヘモグロビン濃度長が脱酸素化ヘモグロビン濃度長に比べ優位に増加している。一方、脳性麻痺者では脱酸素化ヘモグロビン濃度長の方が酸素化ヘモグロビン濃度長に比べ優位に増加している。

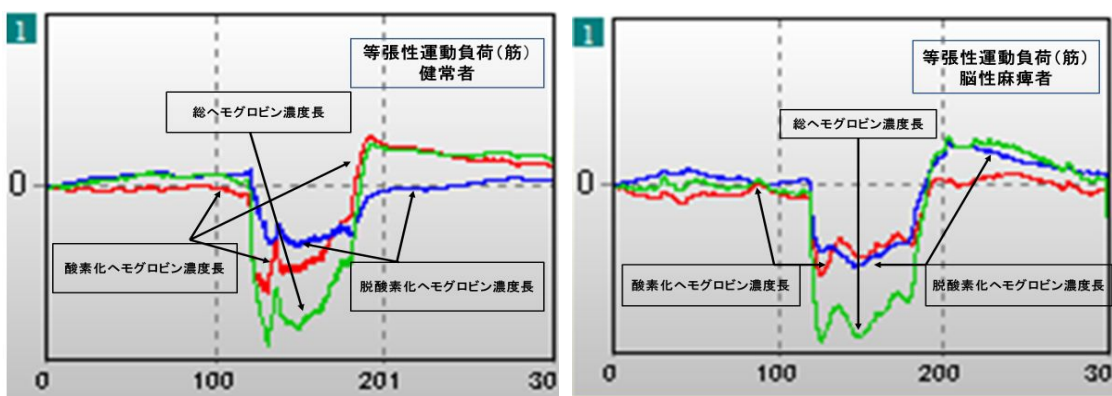


図3 等張性運動負荷時の NIRS 代表例 (筋)(健常者：左図、脳性麻痺者：右図)

B 脳

健常者の無負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.3162 \pm .6334$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $.0093 \pm .1169$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.3246 \pm .6552$ であった。負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.3379 \pm .4593$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $.0709 \pm .2374$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.4088 \pm .6552$ で無負荷運動時より負荷運動時でそれぞれ増加傾向がみられているが有意な差はなかった。

脳性麻痺者では無負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.1868 \pm .4886$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $.0599 \pm .1812$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.1269 \pm .5358$ 。負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.1874 \pm .4052$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $.0734 \pm .2826$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.2068 \pm .6128$ で無負荷運動時より負荷運動時で増加傾向にあるが有意な差はなかった。(図4)



図4 等張性運動負荷時の NIRS 代表例 (脳)(健常者：左図、脳性麻痺者：右図)

等尺性運動負荷強度による NIRS の変化

A, 筋

健常者の無負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.607 \pm .4434$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.1813 \pm .2768$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.1207 \pm .6827$ であった。負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.803 \pm .2538$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $.2398 \pm .5736$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.3202 \pm .6202$ で無負荷運動時と負荷運動時では増加傾向がみられ有意な差はなかった。

脳性麻痺者では無負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.514 \pm .2393$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.0765 \pm .3488$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.1279 \pm .4686$ であった。負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.0765 \pm .3488$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $.0477 \pm .1512$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.0977 \pm .2407$ で無負荷運動時と負荷運動時での有意な差は認められなかった。(図5)

図5では健常者で運動中に酸素化ヘモグロビン濃度長と脱酸素化ヘモグロビン濃度長は減少しているが、脳性麻痺者では逆に酸素化ヘモグロビン濃度長と脱酸素化ヘモグロビン濃度長が増加している。

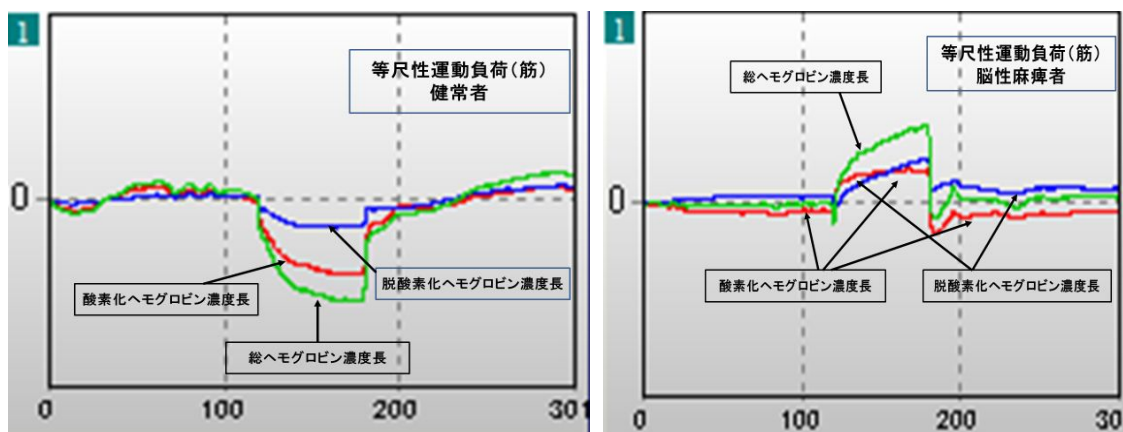


図5 等尺性運動負荷時の NIRS 代表例(筋)(健常者：左図、脳性麻痺者：右図)

B. 脳

健常者の無負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.00351 \pm .0971$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.0160 \pm .1144$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.0191 \pm .3273$ であった。負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.1126 \pm .1714$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.0807 \pm .1894$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.0319 \pm .2862$ で無負荷運動時より負荷運動時で増加傾向がみられているが有意な差はなかった。

脳性麻痺者では無負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.1521 \pm .3579$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.0664 \pm .1121$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.0858 \pm .1246$ であった。負荷運動時の酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.0053 \pm .1121$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.0665 \pm .1340$ 、総ヘモグロビン濃度長 $-.0718 \pm .3404$ で無負荷運動時と負荷運動時での差は認められなかった。(図6)

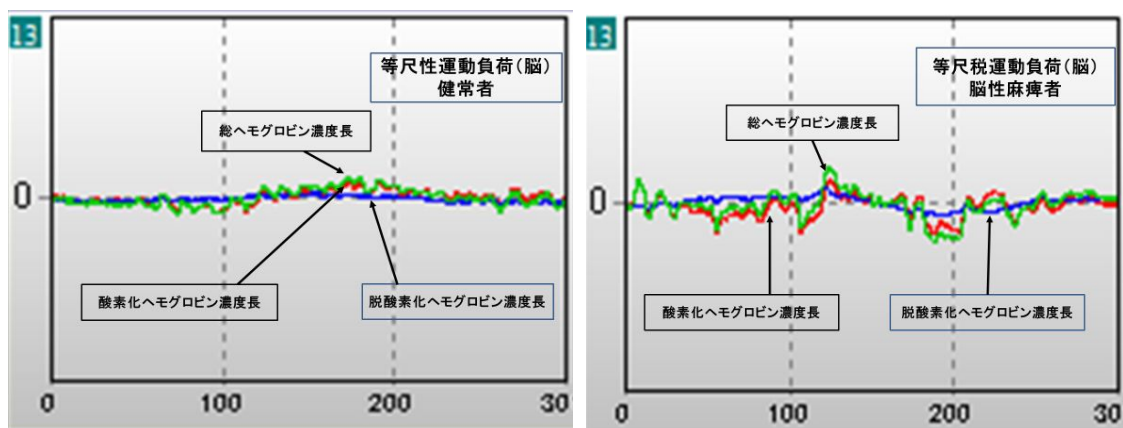


図6 等尺性運動負荷時の NIRS 代表例(脳) (健常者：左図、脳性麻痺者：右図)

無酸素性運動の NIRS の変化

無酸素性運動については運動前、運動中、運動後について検討してみると、健常者は運動前2分間の酸素化ヘモグロビン濃度長 $.4686 \pm .3868$ 、脱酸素化ヘモグロビン濃度長 $-.0056 \pm .1069$ 、総ヘモグロビン濃度長 $.4121 \pm .8695$ であった。運動中30秒間の酸素化ヘモグロビン濃度長 2.172

±1,516、脱酸素化ヘモグロビン濃度長-.1842±.5424、総ヘモグロビン濃度長 1.988±2.053。運動後 2 分間の酸素化ヘモグロビン濃度長-.7330±.5301、脱酸素化ヘモグロビン濃度長-.0455±.2426、総ヘモグロビン濃度長-.7785±.6201 で、酸素ヘモグロビン濃度長は運動前と運動中、運動中と運動後、運動前と運動後で有意な差が認められた。

脳性麻痺者では運動前 2 分間の酸素化ヘモグロビン濃度長.0241±.3676、脱酸素化ヘモグロビン濃度長-.0663±1.6826、総ヘモグロビン濃度長-.6422±.4372。運動中 30 秒間の酸素化ヘモグロビン濃度長.8035±.4187、脱酸素化ヘモグロビン濃度長-.1821±.1712、全ヘモグロビン濃度長.5368±.5302。運動後 2 分間の酸素化ヘモグロビン濃度長-.4067±.7523、脱酸素化ヘモグロビン濃度長-.1821±.1712、総ヘモグロビン濃度長-.5889±.7482 で脳性麻痺においても各項目間に有意な差が認められた。(図 7)

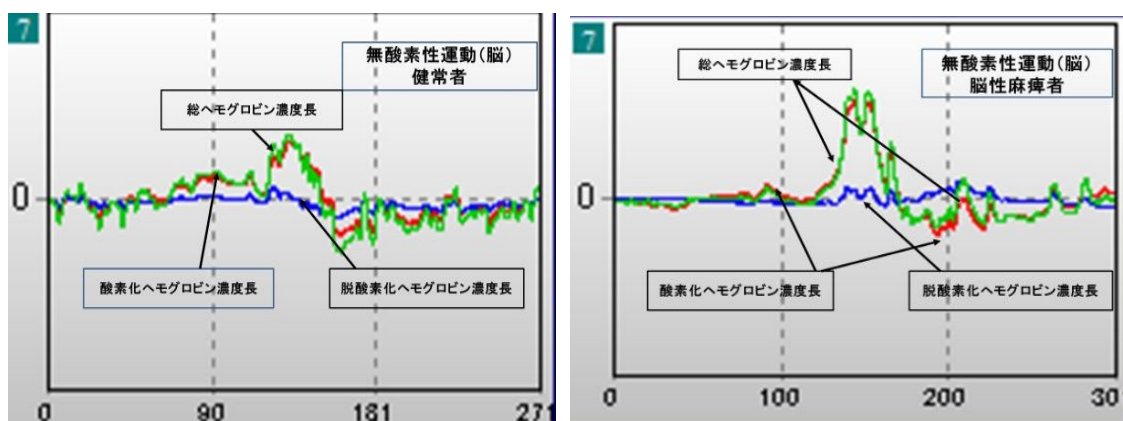


図 7 無酸素性運動負荷時の NIRS 代表例 (脳)(健常者：左図、脳性麻痺者：右図)

有酸素性運動について

運動中の酸素ヘモグロビン濃度長は脳の酸素化ヘモグロビン濃度長は増加傾向を示し、脱酸素ヘモグロビン濃度長は減少傾向を示していた。運動終了後の脳の酸素化ヘモグロビン濃度長は減少効果を示し、脱酸素化ヘモグロビン濃度長は増加傾向を示していた。

疲労評価について

酸素化ヘモグロビン濃度長と脱酸素化ヘモグロビン濃度長を差し引いた数値で検討をした、等張性運動負荷試験の筋において健常者は無負荷運動時.4545±0.6228、負荷運動時-.0457±0.290 有 IRS での疲労評価を酸素化ヘモグロビン濃度長は t 値 2,800、有意確率(両側)0.021 で有意な差が認められている。脳性麻痺者では負荷運動時.1879±0.5335、負荷運動時-.5482±1.2920、t 値 1.783、有意確率(両側).105 であった。脳では健常者は無負荷運動時.3108±0.5798、負荷運動時.3049±.2830 で有意な差は認められなかった。

等尺性運動負荷試験の健常者において健常者は無負荷運動時.2420±0.2836、負荷運動時-.0670±.2890、脳性麻痺者では負荷運動時-.0670±0.2990、負荷運動時-.0617±.1700。脳では健常者は無負荷運動時.510±0.3283、負荷運動時.1504±.2549、脳性麻痺者では無負荷運動時2403±.1037、負荷運動時.1178±.3480 でそれぞれ有意な差は認められなかった。

以上の結果から、酸素化ヘモグロビン濃度長から脱酸素化ヘモグロビン濃度長を差し引いた数値を疲労評価として検討し、健常者の等張性運動負荷のみが有意な差を示していた。

脳と筋との関係

脳と筋の NIRS の結果から、酸素化ヘモグロビン濃度長、脱酸素化ヘモグロビン濃度長、総ヘモグロビン濃度長を脳の同時測定から検討した結果、脳と筋にはとくに相関関係が認められなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----