

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24500728

研究課題名(和文) 運動が脳性麻痺者の脳機能及び筋代謝に及ぼす影響について

研究課題名(英文) The effect of exercise on brain function and muscle metabolism of cerebral palsy

研究代表者

石塚 和重 (ISHIZUKA, KAZUSHIGE)

筑波技術大学・保健科学部・教授

研究者番号：40350912

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：運動が脳性麻痺者の脳及び筋代謝にどのような影響を及ぼしているのか、近赤外線分光法(NIRS)で脳と筋の同時測定を試み、健常者と脳性麻痺者の比較検討をした。NIRSの中の酸素化ヘモグロビン濃度長は、健常者では運動時には脳は増加し、筋では減少した。また、運動時では脳は増加し、筋では減少するという一定の波形を示した。一方、脳性麻痺者では運動時では脳は減少傾向を示し、筋でも減少傾向を示した。また、健常者のようにNIRSの一定の波形の傾向を示さなかった。最近の研究ではNIRSは姿勢や体動に影響され、姿勢と運動異常を示す脳性麻痺者では更なる検討が必要である。

研究成果の概要(英文)：We tried simultaneous measurement of brain and muscle by Near Infrared Spectroscopy (NIRS) to examine how exercise influences brain and muscle metabolism of cerebral palsy, and compared healthy subjects with cerebral palsy. The oxygenated hemoglobin concentration length in NIRS increased in the brain during exercise and decreased in the muscle in healthy subjects. In addition, it showed a constant waveform that the brain increases during exercise and decreases in muscle. On the other hand, in cerebral palsy, brain showed a decreasing tendency during exercise, and showed a decreasing tendency also in muscle. Moreover, it did not show the trend of constant waveform of NIRS unlike healthy subjects. In recent research, NIRS is affected by posture and body movement, and cerebral palsy who show posture and movement abnormalities needs further examination

研究分野：脳性麻痺

キーワード：脳性麻痺者 健常者 運動 脳機能 筋代謝

## 1. 研究開始当初の背景

脳性麻痺者の科学的トレーニングに関する研究は 2000 年から開始し、まずは脳性麻痺の筋力トレーニングとしての基礎研究としての筋断面積、筋力、動作速度について検討してきた。2005 年に脳性麻痺者陸上短距離の無酸素性能力としてのミドルパワー測定として 30 秒間の自転車エルゴメーター漕ぎ中に発揮されたパワーの最大値と平均値を測定した。運動終了後、5 分、10 分、30 分後の乳酸値を測定し評価した。その結果、100 m、200m の記録を向上させるにはミドルパワーの改善が重要であるという結論がでた。2011 年までに脳性麻痺のタイプ別筋力トレーニングについて痙直型脳性麻痺者とアテトーゼ型脳性麻痺者の筋力と筋断面積、動作速度について検討し、痙直型脳性麻痺者とアテトーゼ型脳性麻痺者とも筋力、筋断面積、動作速度にそれぞれ相互関係があることが立証された。この研究によって、筋力強化が脳性麻痺者の運動パフォーマンスを向上させる一つの要因ではないかと考えた。一方では脳性麻痺者は脳を起因とした姿勢と運動障害であり、脳性麻痺者の脳と運動に関する研究を如何に解明することが今後のリハビリテーションや脳性麻痺のトレーニングの在り方を考えていく上で重要であると考えた。

今回の研究は脳性麻痺者の科学的トレーニングの基礎研究として、脳と運動との関係を解明することが重要である。運動が脳の前頭前野と骨格筋を多チャンネル近赤外分光法 (Near Infrared Spectroscopy: 以下 NIRS) により同時測定し、得られた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そして全ヘモグロビン濃度長変化から運動が脳機能と筋代謝に及ぼす影響について健常者と脳性麻痺者を比較検討することで脳性麻痺者を解明することを今回の目的とした。

脳性麻痺者に対する運動が脳と筋を同時に測定するという新たな試みは決して簡単なことではなかった。

平成 24 年度は健常者と脳性麻痺者を比較するためのパイロットスタディーとして実施してみた。方法としてはトレッドミル歩行と等速性筋力測定装置バイオデックスを用いた膝屈曲・伸展の筋運動時での脳と筋の同時検査をした。等速性筋力測定装置を利用した筋運動では健常者と脳性麻痺者において、前頭前野と下肢骨格筋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の変化が脳性麻痺者の方の酸素化ヘモグロビン濃度長が増加する可能性があるかと予想したが、実際は筋力測定時に下肢筋の脱酸素化ヘモグロビン濃度長が酸素化ヘモグロビン濃度長より優位に増加するという結果であった。この結果を考慮し、運動負荷方法について再検討した。大腿四頭筋負荷テストと心肺運動負荷テストについて検討し、それぞれ

の運動負荷における脳及び筋中ヘモグロビン濃度長の変化について検証を試みた。その結果、脳性麻痺者は筋力負荷テストでは筋代謝においては健常者と脳性麻痺者に同様な結果を示したが、脳の代謝について脳性麻痺者の方が運動中、運動後の脳内での酸素ヘモグロビンの代謝が不十分で脳内処理が十分できていない可能性があるのではないかと考えた。この時点では、運動負荷方法がまだ確立されていない点に不安があり、心拍運動負荷テストにおいても検査中に測定機器に不具合が生じ中止になったため十分なデータが得られなかった。

平成 25 年度は平成 24 年度の運動負荷試験内容を見直し、上肢錘持ち上げテストとして上腕二頭筋の筋代謝の変化(上腕二頭筋負荷テスト)及び下肢錘持ち上げテストとしての大腿四頭筋の筋代謝の変化(大腿四頭筋負荷テスト)、自転車エルゴメーターによる心肺運動負荷テストによる脳機能と筋代謝に及ぼす影響について追加検討し、健常者と脳性麻痺者との検討を試みた。対象は健常者 5 名、脳性麻痺者 5 名(痙直型 1 名、アテトーゼ型 4 名)で、運動負荷方法として上腕二頭筋負荷テスト及び大腿四頭筋負荷テスト、自転車エルゴメーターを用いた心拍運動負荷テストを実施した。測定装置は Spectratech 社製 OEG-16 を 2 台使用し、観測部位として前頭前野 16 チャンネル、骨格筋(上肢:上腕二頭筋、下肢:大腿四頭筋、大腿二頭筋、)最大 2 チャンネル合計最大 18 チャンネルとした。

実験方法として、上腕二頭筋負荷テスト、及び大腿四頭筋負荷テストは錘持ち上げ運動における、比較的高負荷の運動強度(健常者上肢 5 kg、下肢 8 kg、脳性麻痺者は本人持ち上げ能力に応じた重さ最大上肢 5 kg、下肢 8 kg)として検討を試みた。被験者は椅子に座った状態で 60 秒間安静を保ち、始めの合図で 3 秒に 1 回 120 秒間に 40 回持ち上げ、その後 120 秒間休息とした。その間の状況を脳の前頭前野と骨格筋を NIRS により同時測定し、得られた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そして全ヘモグロビン濃度長変化から検討をした。また、自転車エルゴメーターを用いた運動負荷試験による運動が脳機能と筋代謝にどのような影響がみられるのか検討した。

結果は上肢による上腕二頭筋負荷テストでは上腕二頭筋について健常者は運動直後から酸素化ヘモグロビン濃度長が減少し、脱酸素化ヘモグロビン濃度長が増加している。運動終了後、酸素化ヘモグロビン濃度長が急激に増加し、脱酸素化ヘモグロビン濃度長が減少している。一方、脳性麻痺者では運動直後から酸素化ヘモグロビン濃度長が減少し、運動終了後酸素化ヘモグロビン濃度長が増加している。大腿四頭筋負荷テストにおいて健常者は運動開始から酸素化ヘモグロビンに若干の減少がみられるが上腕二頭筋に比

べて減少率が低い傾向がみられている。一方、脳性麻痺者でも運動開始後酸素化ヘモグロビンの減少は認められるが、前頭前野での変化については運動中の酸素化ヘモグロビン濃度長が減少する被験者と逆に増加する被験者がみられた。

自転車エルゴメーターによる心肺運動負荷試験において、健常者は運動直後には前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度長が一旦減少するが、運動に伴って酸素化ヘモグロビン濃度長が増加している。脳性麻痺者では運動によって酸素化ヘモグロビン濃度長の変化はみられていないなどの減少がみられていた。これらの積み上げた実験ではあるが、最近の知見において、NIRSは頭部の方向や姿勢、身体の動きによって非常に大きく影響されることが指摘され、脳性麻痺者の姿勢異常と運動異常はデータの信頼性と再現性について問題があるのではないかと考え、平成28年度に再検討する必要があると考え、現在に至っている。

平成28年7月には酸素代謝が生じる脳の毛細血管での血流動態と他の太い血管での血流動態を弁別することで脳機能活動に関わる血流変動を抽出する新技術「血流動態分離法」が考案され、安定した測定が可能となった。脳性麻痺の研究はまだ十分なデータとは言えないが「脳性麻痺者の運動が脳及び筋代謝に及ぼす影響について」のテーマに関する現時点で発表できる内容を紹介する。

## 2. 研究の目的

我々は脳性麻痺者の科学的トレーニングの基礎研究として筋力、筋断面積、動作速度について報告してきた。今回は近赤外分光法(NIRS)を用いて、運動が脳性麻痺者の脳及び筋代謝にどのような影響を及ぼしているのか、等速性及び等尺性負荷強度が脳及び筋代謝に及ぼす影響について、脳と筋の同時測定を試み、健常者と脳性麻痺者の比較検討をした。

## 3. 研究の方法

対象は健常成人10名(男性6名女性4名、平均年齢23.5歳)とし、中枢疾患・精神疾患既往のあるものは除外した。脳性麻痺者5名(男性4名女性1名、平均年齢36.0歳)を対象とした。測定方法はNIRSを前頭部と筋での同時測定を試みた。NIRSはスペクトラテック製OEG-16で測定した。

スペクトラテック製OEG-16は生体内の神経活動に伴い変化する酸素化ヘモグロビン濃度長( $\text{Co}\cdot\text{L}$ )、脱酸素化ヘモグロビン濃度長( $\text{Cd}\cdot\text{L}$ )、総ヘモグロビン濃度長( $\text{Ct}\cdot\text{L}$ )を捉えることにより脳活動を測定できる。(図1参照)測定部位については、脳は前頭部1チャンネル、筋は内側広筋とした。測定方法は、Biodex4(多機能筋機能測定装置:酒井医療株式会社製)に着座し、1セットを運動前休息60秒間、運動課題60秒間、

運動後の休息120秒間とした。

負荷方法は、等速性運動 $180^\circ/\text{sec}$ 、 $60^\circ/\text{sec}$ 、等尺性運動の計3条件で実施した。(図2参照)

本研究は本学医の倫理委員会の承認を得て実施した。



図1 光イメージング測定装置(Spectratech OEG-16)の説明図



図2 多機能筋機能測定装置(Biodex4)を用いた等速性負荷時での測定風景

## 4. 研究成果

等速性及び等尺性負荷強度が脳及び筋代謝に及ぼす影響について検討してみた。運動によって脳及び筋の酸素化ヘモグロビン濃度長(以下、 $\text{Co}\cdot\text{L}$ )は運動開始直後から健常者や脳性麻痺者ともに影響を受けているがその特徴は異なっている。健常者の脳の $\text{Co}\cdot\text{L}$ は運動直後増加するのに対して、脳性麻痺では $\text{Co}\cdot\text{L}$ が減少していることが確認できた。(図3参照)

健常者では安静時と比較すると、課題運動時には脳の $\text{Co}\cdot\text{L}$ は増加した。安静時と比較すると、課題運動時には筋の $\text{Co}\cdot\text{L}$ は減少している。また、運動負荷強度の高い等速性運動 $60^\circ/\text{sec}$ の方が $180^\circ/\text{sec}$ より増加傾向が少ないことが示された。一方、筋では運動強度が高い等速性運動 $60^\circ/\text{sec}$ で減少傾向が見られた。健常者では波形は一定のパターンを示していた。(図3、4、5参照)

一方、脳性麻痺者では安静時と比較すると、課題運動時には脳の $\text{Co}\cdot\text{L}$ は減少傾向を示していた。次に、安静時と比較すると、課題運動時には筋の $\text{Co}\cdot\text{L}$ は減少傾向を示した。最後に、脳性麻痺者では一定の波形の傾向を示さなかった。(図3、4、5参照)

以上のことより、

1. 健常者では脳の前頭部と筋の同時測定において、課題運動時には脳の酸素化ヘモグロビン濃度長は増加し、筋については減少を示した。このことは筋運動が脳の前頭部の血流に影響を及ぼした可能性を示唆している。

2. 脳性麻痺者では筋については健常者と同様な結果が示されたことにより筋機能は正常ではないかと考えた。脳については健常者と異なる結果が認められ、脳の調節系の障害、あるいは代謝障害の疑いを示唆している可能性があるのではないかと考える。

今後、健常者も脳性麻痺者も人数を増やして更なる検討が必要であると考えます。また、脳性麻痺の重症度によって、運動が脳及び筋に与える影響が異なってくると予想される。

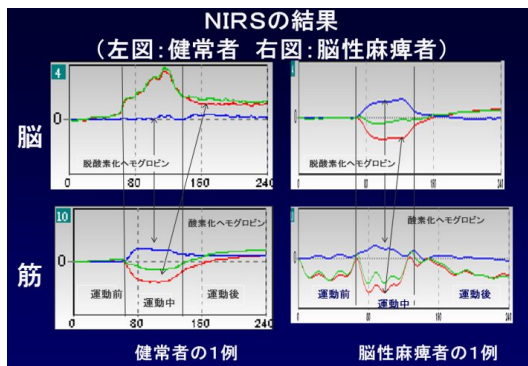


図3 下肢等速 180°/sec の運動前、運動中、運動後の健常者と脳性麻痺者の脳及び筋の NIRS の変化

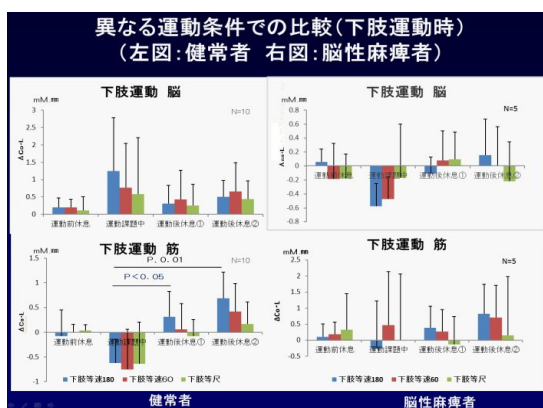


図4 異なる運動負荷条件での健常者と脳性麻痺者の脳及び筋での NIRS の変化

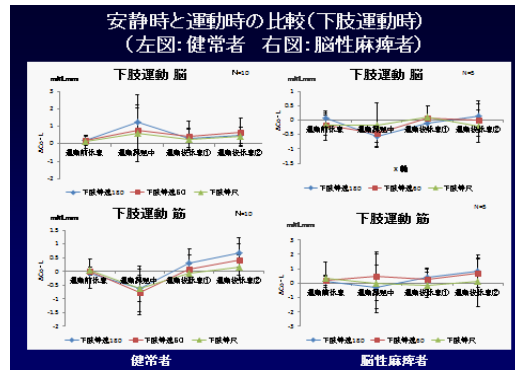


図5 異なる運動負荷条件での健常者と脳性麻痺者の脳及び筋での NIRS の変化 (折れ線グラフでの表記)

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

石塚和重、望月香穂理：運動が脳性麻痺者の脳及び筋代謝に及ぼす影響に関する基礎的研究 - 健常者と脳性麻痺者を比較して -、第 25 回日本障害者スポーツ学会 (新潟ふれ愛プラザ、新潟県新潟市) 2016.3.26

石塚和重、望月香穂理：運動様式と負荷の違いが脳 (前頭部)・筋のヘモグロビン濃度長変化に及ぼす影響についての紹介、第 25 回日本上田法学会 (広島県立障害者リハビリテーションセンター、広島県東広島市) 2015.11.30

石塚和重、望月香穂理：運動が脳性麻痺者の脳機能と筋代謝に及ぼす影響に関する基礎的研究、第 71 回日本体力医学会 (岩手県民情報交流センター、岩手県盛岡市) 2015.09.24

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

石塚 和重 (ISHIZUKA Kazushige)  
筑波技術大学・保健科学部・教授  
研究者番号：40350912

(2) 研究協力者

望月 香穂里 (MOCHIZUKI Kahori)  
筑波技術大学・大学院生