

# 運動学習過程における脳血流動態

—立位での学習課題について—

坂元 瑞貴<sup>1)</sup> 今村 律子<sup>2)</sup> 徳島 了<sup>1)</sup> 山本 勝昭<sup>1)</sup>

## Dynamics of cerebral blood flow in the process of motor learning

—Learning task in the upright position—

Mizuki SAKAMOTO<sup>1)</sup> Ritsuko IMAMURA<sup>2)</sup> Satoru TOKUSHIMA<sup>1)</sup> Katsuaki YAMAMOTO<sup>1)</sup>

### I. 緒言

体育やスポーツにおいて、技術の習得は最も基本的な学習であり、競技スポーツを行うためにも、楽しく運動を行うためにも重要な過程であるといえる。このような運動学習は、これまで、内的あるいは潜在的な変化の過程として捉えられ、その学習の測定は、直接的なものではなく、顕在的なパフォーマンスを測定し、その変化から潜在的な変化を推測するという間接的なものとされてきた(猪俣, 1987)<sup>3)</sup>。しかし、近年脳機能イメージングの開発により学習を顕在的に測定することが可能とされてきている。これまでも、運動学習過程を脳機能イメージングで行った研究は数多く見られるが、簡単な手指の動きの課題(Volkmannら, 1998)<sup>4)</sup>やジョイスティックを動かす課題(Deiberら, 1997)<sup>1)</sup>など、小筋群による運動学習過程であった。それらの研究では、運動学習の初期で、視覚や聴覚などの空間感覚情報の処理を通じて運動を行うことに関連している、

運動前野が活動することが報告されている。また、運動学習の後期から学習成立後には、記憶と関係のある大脳辺縁系と結びつきが強い、補足運動野が活動すると報告されている。補足運動野は、学習が進むにつれて次第に課題が自動化され、感覚情報に依存せず、記憶情報によって処理が行われるようになると活動する。これらの先行研究で使用された脳機能イメージングはMagnetoencephalography(MEG)やPositron emission tomography(PET)であるが、これら脳機能イメージングの多くは、頭部を固定しなければならないという大きな制約があり、ダイナミックな動きを伴うものを測定することは難しい。しかし、既述したように、体育・スポーツの場面では、全身運動を行う。そこで本研究では、計測用コードなどの制限はあるが、ある程度の全身運動であれば計測が可能とされるNear infrared spectroscopy(NIRS)を使用し、全身運動に接近した立位状態での運動学習課題を行った。また、その運動学習時の脳血流動態がどのような学習過程をたどるのか比較・

1) 福岡大学スポーツ科学部

Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University

2) 九州工業大学大学院生命体工学研究科

Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

検討を行った。

## II. 方法

### 1. 被験者

A大学の学生12(女子10名, 男子2名)を対象とした。そのうち, 競技スポーツ経験者が10名(サッカー経験者5名, バスケットボール経験者1名, バレーボール経験者4名)で, 未経験者が2名であった。なお, 本研究は, 倫理委員会の審査を経て行い, 被験者には同意書での同意を得て実験を行った。

### 2. 実験装置

実験装置は光トポグラフィ装置日立メディコ製ETG-7100(以下, 光トポグラフィ)を使用した。本実験では前頭連合野と運動関連領域の測定を行ったが, 運動関連領域を分析対象とした。前頭連合野はホルダ数3×5の22chで測定し, 運動野はホルダ数4×4の24chで測定した。

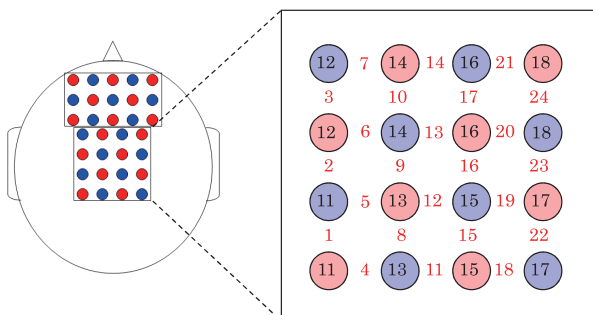


図1. プローブユニット図

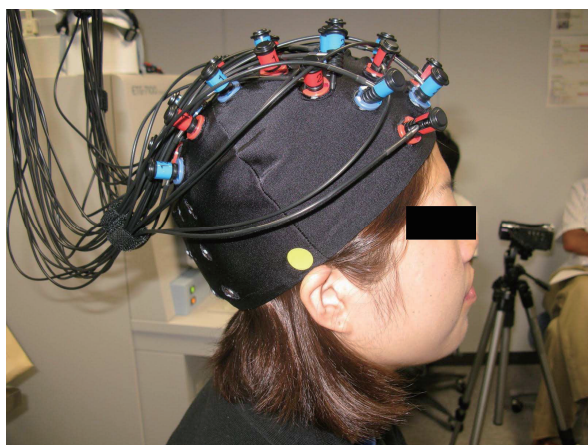


図2. プローブ装着時

### 3. 実験課題

本課題は, スキーのストックを足の甲に乗せ, 片足で身体のバランスを保ちながら, ストックをコントロールし, ストックのバランスを保つという課題を行った。実験で使用したストックには SINANO EAGLEの100cmを用いた。また, 課題は利き足, 非利き足関係なく両方の足で行った。

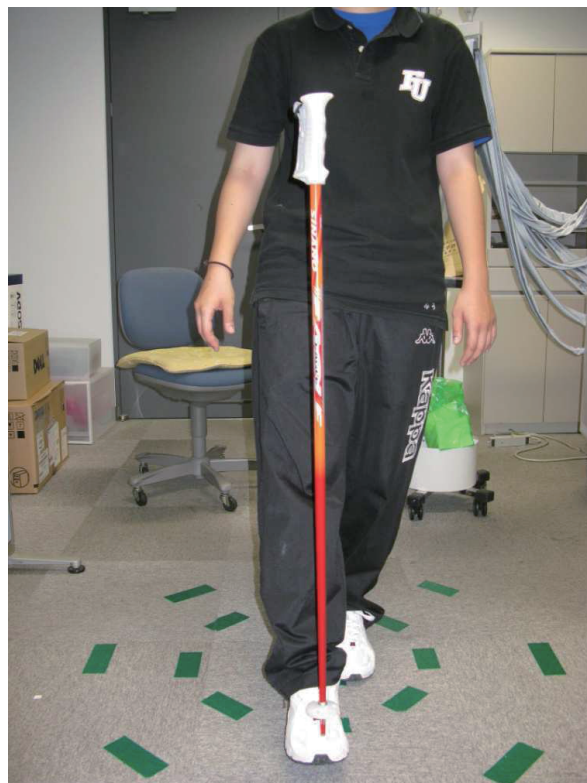


図3. 運動学習課題イメージ

### 4. 実験手順

実験は, 被験者に実験内容の説明を行い, 同意を得た後に実験を開始した。まず, プローブセットを行い, 正常に信号が得られていることを確認し, 実験を開始した。まず座位で安静時2分間の血流量変化を測定した後, 課題のパフォーマンスタイムとしてPreタイム測定左右5回ずつを行った。その後, 7分間練習, 3分間休憩というサイクルを3回行い, 3回目の練習が終わった後, 一度プローブホルダをはずし, 5分間の休憩をとった。これを1セットとし, 3セット行った。3セット目終了後, 3分間の休憩をはさみ, Postタイム測定で左右5回ずつのタイム計測を行った。Postテス

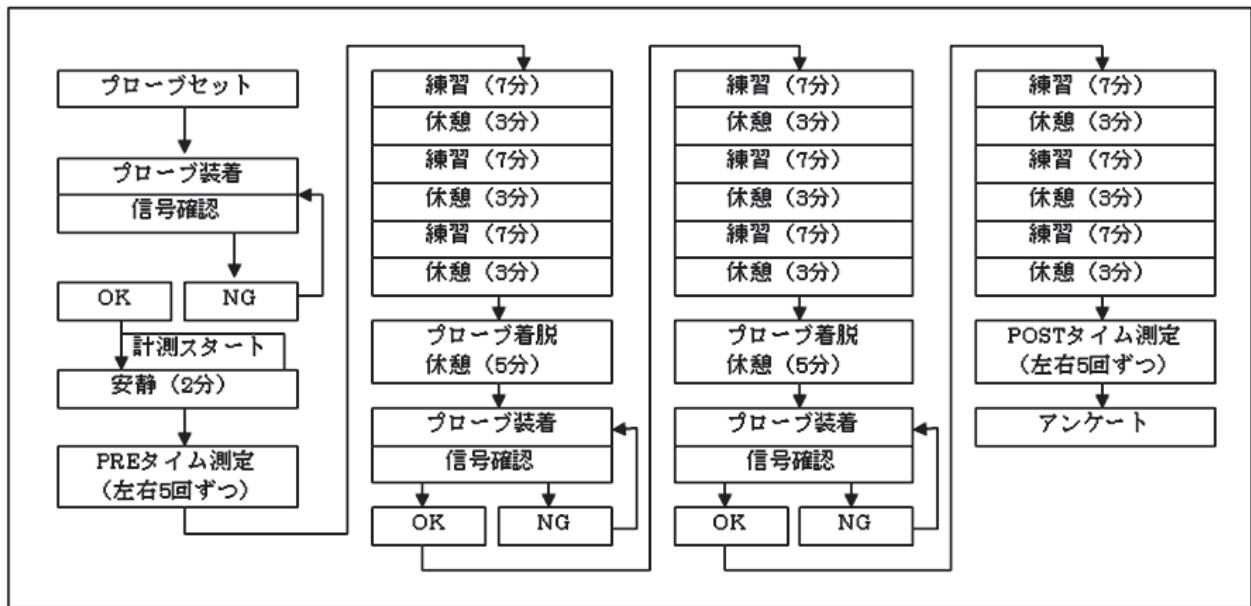


図4. 実験の流れ

トが終了し、プローブホルダをはずした後、最後にアンケートに答えてもらい、実験終了とした。課題遂行時は、頭部を激しく動かすことがないように、被験者の前に一人補助を配置し、倒れたストックは自ら取らないように指示した。また、練習時において、左右の足を交代するタイミングは、被験者のタイミングで行ってもらった。

## 5. 分析方法

### 1) Pre-Post保持時間

Preテスト時のストック保持時間とPostテスト時のストック保持時間での比較を行った。

### 2) 2次元トポグラフィ画像

計測時に光トポグラフィのディスプレイ上に出る2次元トポグラフィ画像(図4)と実際に課題を行っている動作画像とを同期させ、2次元トポグラフィ画像から脳血流動態の変化を比較した。Oxy-Hbが血液の変化の最も良い指標である2)ことから、ディスプレイ上に表示する2次元トポグラフィ画像のHb変化量はOxy-Hbに設定した。

### 3) 光トポグラフィ出力数値データ

光トポグラフィは光路長が不明ということもあり、得られるデータは絶対値としての変化ではなく、あくまでも相対的な変化である。

そのため、各個人のストック保持試行時における脳血流量変化を抽出し学習過程における比較を行った。数値データでも2次元トポグラフィ画像と同様、脳血流量の適切な指標とされている酸素化Hbの変化量を脳血流量の値とし、分析を行った。

## Ⅲ. 結果と考察

### 1. Pre-Post保持時間

保持時間においてPreとPostで、右足軸・左足コントロールで有意な差が見られ ( $t_{11}=2.55$ ,  $p<.05$ ), 左足軸・右足コントロールにおいては、有意な差は見られなかった。しかし、サッ

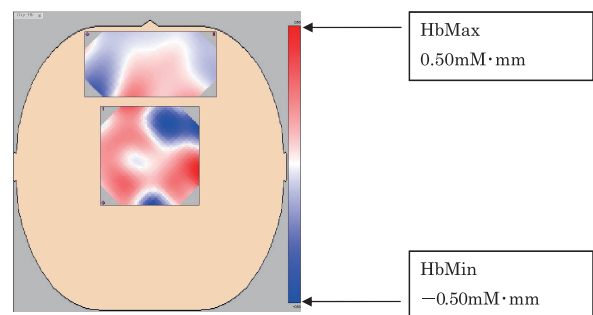


図5. 2次元トポグラフィ画像

カー経験者においてPreテスト5回の平均が10.33秒の被験者が、Postテストでは61.96秒保持するなど、サッカー経験者のみならず競技スポーツ経験者で学習が進んだ傾向が見られた。一方、競技スポーツ未経験者では、利き足、非聞き足に関係なく、記録が伸びず、学習が進んでいる傾向も見られなかった。この結果から、Post保持時間の最長時間と最短時間の差が大きかったため差が出なかったと考える。

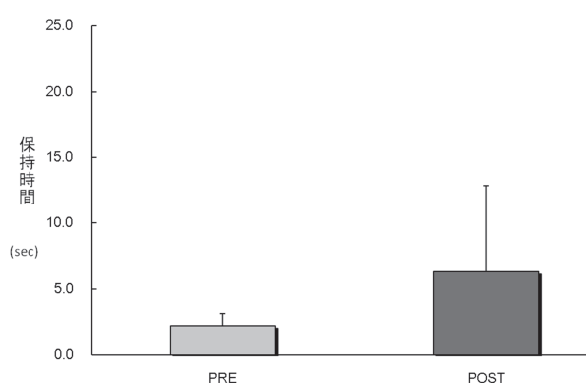


図6. 右足軸-左足コントロール (p<.05)

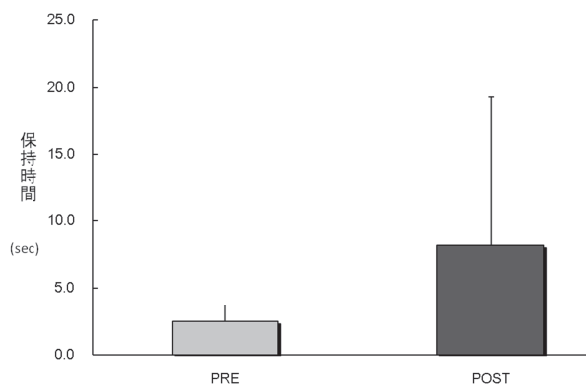


図7. 左足軸-右足コントロール (n.s.)

## 2. 2次元トポグラフィ画像

2次元トポグラフィ画像で脳血流動態を比較すると、プローブ付け替えによる基準値の変化や身体の状態変化をはさむことによって、脳血流動態にも大きく影響されるので、2次元トポグラフィ画像から、今回の課題についての運動学習過程における脳血流動態の変化を検証することはできなかった。

## 3. 光トポグラフィ出力数値データ

7分の練習時間の中で、一次運動野付近においては、変化が現れなかったのに対し、運動前野付近において、血流量に上昇傾向が見られた。これらは、手や指を使った運動学習課題と同じ傾向を示している。また、サッカー経験者において、練習の1セット目から運動前野に上昇傾向を確認することができた。その他の競技経験者、無所属者については、練習の2セット目以降から上昇傾向が見られる者と上昇傾向が見られない者とに分かれた。上昇傾向が見られなかった者については、ストック保持時間の記録向上も見られなかった。

よって、立位状態での運動学習課題を行った場合においても、記録向上のために運動前野の賦活が必要であることが示唆された。しかし、本実験では補足運動野付近のCH数が少なく運動学習初期から後期または学習成立までの過程における脳血流動態の変化を捉えることはできなかった。

## IV. 展望

本研究において、光トポグラフィを使用した、立位状態での運動課題を計測することは可能であった。しかし、全身運動での学習では、学習成立までに時間を要するため、被験者の負担が大きく、プローブ着脱の問題点がある。これに関連して、2次元トポグラフィ画像で脳血流動態を比較する場合、測定スタート時の体勢を考慮し、プローブ付け替えの必要ない課題を行うなど、様々な条件設定を考える必要がある。また、プローブの装着位置を検討し、運動学習の過程を追うことができるように配置する必要がある。本研究では被験者の人数が少なかったため、ケース的に分析を行った。今後さらに、人数を増やし分析を行う必要がある。

全身運動の学習過程を脳機能イメージングで明らかにすることにより、運動・スポーツでの技術獲得に貢献できる可能性も考えられる。

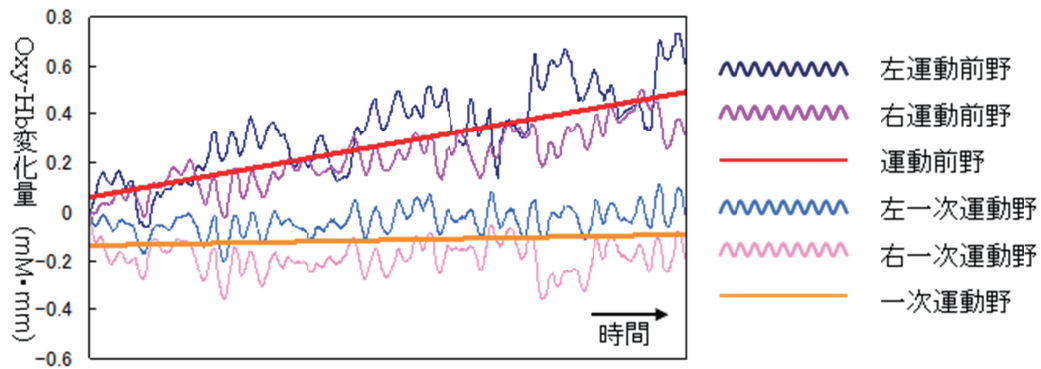


図8. 被験者Aの練習7分間のOxy-Hb変化

## V. 参考文献

- 1) Deiber, M.P., Wise, S.P., Honda, M., Catalan, M.J., Grafman, J., and Hallett, M. (1997) Frontal and Parietal Networks for Conditional Motor Learning : A Positron Emission Tomography Study. *J Neurophysiol* 78, 977-991
- 2) Frustiger, S.A., Strother, S.C., Anderson, J.R., Sidtis, J.J., Arnold, K.B., and Rottenberg, D.A. (2002) Multivariate predictive relationship between kinematic and functional activation patterns in a PET study of visuomotor learning. *Neuroimage* 10 : 515-528
- 3) 猪俣公宏 (2006) 新版運動心理学入門. 松田岩男・杉原隆 編著 大修館書店, p.126-129
- 4) Volkmann, J., Schnizler, A., Witte, O.W., & Freund, H. (1998) Handedness and asymmetry of hand representation in human motor cortex. *J Neurophysiol* 79 -4, 2149-2154.