

発揮筋力の視覚的フィードバックが最大筋力発揮と 前頭前野へモダイナミクスに及ぼす影響

スポーツ科学研究領域

3804C071-2 福田誠

指導教員： 内田直教授

【緒言】

筋活動は、脳からの運動指令によって成立する。脳から筋への運動指令は、一次運動野(M1)が担い、その活動水準は筋出力と正の相関関係を示す。このことからM1の活動が増加すれば、筋出力が向上すると考えられる。M1は、意欲や動機により影響を受けると考えられている。前頭前野は、行動の企画や実行など、高次な精神機能を司ると同時に、ヒトやサル報酬課題において意欲や動機に関係する脳部位であると考えられている。しかし前頭前野と、筋への運動指令を司るM1、そして筋出力の関係はこれまでの研究では不明である。一方、スポーツ心理学の領域では、動機づけと運動パフォーマンスの研究が行われてきた。目標設定やフィードバックにより、運動パフォーマンスや運動技能が高められることを報告している。しかし、これらの研究は生理学的指標として脳機能が評価されていないため、詳しい成因については不明である。一次運動野と筋出力の関係および、心理学的な動機づけと運動パフォーマンスへの影響に関するそれぞれの知見は集積しつつある。しかし動機づけによる最大筋力発揮への影響は、前頭前野を対象とした脳機能計測を交えて明らかにした研究はない。そこで、パフォーマンスをフィードバックすることにより動機づけを高める方法を用いて、前頭前野の活動と最大筋力発揮の関係を明らかにする。

【目的】

実験1として、動機づけ課題による最大筋力発揮を測定すると同時に、前頭部を広範囲で測定可能な近赤外分光法装置によって、前頭部における局所脳活動部位の特定を行った。実験1は、①動機づけとして、発揮筋力を視覚的にフィードバックすることによる最大発揮筋力の変化を明らかにし、②その際の前頭前野における局所脳活動部位を特定することを目的とした。さらに、全ての測定装置を同期させて、③前頭前野の局所脳血流と発揮筋力の変化のタイミングを明らかにすることを目的に実験2を行った。両実験により、高次精神機能を司ると考えられている前頭前野の活動と、最大筋力発揮における筋活動の関係を明らかにすることを目的とした。

【実験】

対象は、実験1において男性12名であり、実験2では男性右利き15名とした。運動課題は、5秒間の最大努力による肘の屈曲を行った。測定姿勢は座位で、測定対象を右上腕とし肩関節角度水平位90度屈曲および肘関節角度90度屈曲位(完全伸展位=0°)とした。動機づけとして、筋力発揮の達成目標を定め、同時に発揮筋力を視覚的にフィードバックして最大筋力発揮する条件(VFB)と、VFBを与えない最大筋力発揮条件(nVFB)の両方を行った。被験者は開始の合図ですばやく力を発揮し、その力の保持が教示された。測定は、発揮トルク、筋電図、心電図、脳機能計測として近赤外分光法(NIRS)を用いた。NIRSは、神経活動による酸素化ヘモグロ

ビン(oxy-Hb)濃度変化を測定する方法である。実験1では、動機に関連する脳部位を広範囲から特定するため22箇所を測定し、実験2では、特定部位2箇所と筋力発揮変化のタイミングを測定した。

【結果】

実験1

発揮トルクにおいて、ピーク値の比較は、VFBによって2.6%増加し有意差を示した($p < 0.05$)。平均値は5.5%向上し、増加の傾向を示した($p < 0.06$)。課題開始から2-5秒間の力の持続に関わる区間で、VFBによる有意な増加が示された。筋電図における筋の活動と発揮トルクの増加区間に対応はみられなかった。前頭部oxy-Hb濃度は、右大脳半球前頭極付近(ch11, ch15)においてVFBによる有意な増加が示された($p < 0.05$) (図1)。VFBによる発揮トルクの増加区間で、oxy-Hbの有意な増加が示された($p < 0.01$)。心拍数は、安静から課題1分後で両条件において有意な増加が示された($p < 0.05$)。

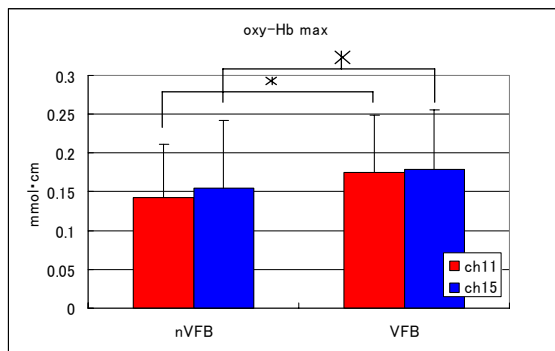


図1 oxy-Hb濃度変化ピーク値比較 * $p < 0.05$

実験2

発揮トルクにおいて、ピーク値および平均値は、条件間で有意な差を認めなかった。課題開始から1-2秒($p < 0.05$)、2-3秒($p < 0.055$)、3-4秒($p < 0.05$)でVFBによる増加を示した(図2)。VFBによる発揮トルクの増加区間に対応した上

腕二頭筋の筋放電量増加が認められた。前頭前野oxy-Hbは、右大脳半球前頭前野においてVFBによる増加の傾向($p < 0.06$)が示されたが、左大脳半球前頭前野は変化を示さなかった。oxy-Hb濃度の増加区間($p < 0.06$)は、発揮トルクの増加区間($p < 0.05$)と対応を示した。心拍数は課題終了後1分で両条件において有意な増加を示した($p < 0.05$)。

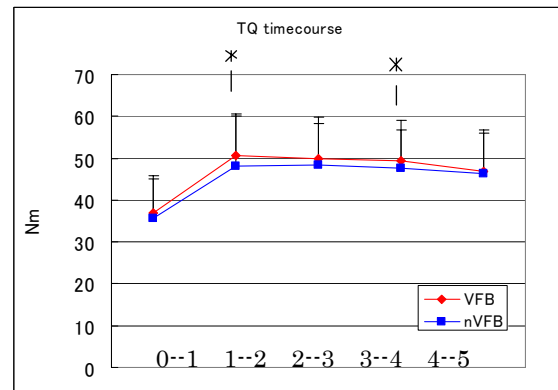


図2 発揮トルクの経時変化 * $p < 0.05$

【考察】

発揮筋力の増加に関連して、肘屈曲の主動筋である上腕二頭筋の筋放電量に増加が示された。筋電図は、最終的な運動指令の表れであることから、中枢神経系から筋への神経活動増加によって発揮筋力が向上したと考えられる。発揮筋力の視覚的フィードバックによって、右前頭前野の活動が増加した。本研究の課題に類似した研究において、視覚情報を筋出力に変換する処理が右前頭前野で行われることが報告されている。本研究のVFBによる視覚情報が、右前頭前野で筋出力に変換されたことを示唆している。前頭前野の活動に関連する研究として、右前頭前野は間違いの訂正で活動することが報告されている。本研究の課題における発揮筋力の調整は、訂正行為とも考えられ、先行研究と関連付けられる。計画の遂行課題において、右前頭前野

は意欲的な行動に関与するとの知見が示されている。本研究の VFB 条件により右前頭前野の活動増加が示されたことを考慮すると、右前頭前野が意欲や動機に関連する部位であることが強く示唆される。右前頭前野の VFB による増加区間は、発揮トルクの増加区間と 1 秒遅れで対応が見られた。刺激に伴うヘモグロビン反応は、一般的な課題で 2~3 秒遅れて反応が示される。本研究の最大筋力発揮課題は、高い神経活動量に伴う酸素消費に対して急速な酸素供給が行われた可能性を示唆する。今後の課題として、本研究の目標達成による筋力発揮課題が、情動的要因を含む意欲を高めたことについての妥当性は、異なる動機づけ手法を用いた検証も必要であると考えられる。また、脳波や fMRI といった時間的および空間的分解能の高い測定法を用いることによって、新たな知見が示される可能性があると考えられる。

【まとめ】

本研究は、動機づけを目的として発揮筋力の視覚的フィードバックを与え(VFB)、その際の肘屈曲最大筋力発揮と大脳へモダイナミクス計測を行った。VFB 条件により、右前頭前野の活動が増加し、意欲が引き出されたものと考えられる。また、主動筋の筋活動と発揮筋力増加に対応がみられたことから、VFB による右前頭前野の活動増加が筋力発揮を高めたものと強く示唆される。本研究の行動的な知見は、アスリートの意欲や動機を高める取り組みが、トレーニングにおいて必要とされる意義を、生理的な指標で示すものである。また脳活動の知見は、スポーツ科学において、脳機能を高める手法は、身体パフォーマンス向上を目的としたトレーニング技法の開発ならびに筋力向上、また競技技術の習熟、そしてリハビリテーションにおける運動プログラム開発等に貢献するものと考えられる。