

力発揮のばらつきに関する要因の検討

身体運動科学研究領域

5020A006-8 石野 翔大

研究指導教員: 彼末 一之 教授

第1章. 緒言

ヒトの動作には必ずばらつきが伴う。内堀ら(2018)は、種々の競技における競技熟練者のサーブ動作の到達点のばらつきは約 3%であったと報告している。また、閉眼時のリーチング動作の到達点のばらつきを検討した研究(梶 2019)では、到達点のばらつきは約 5%であった。それら運動はすべて筋の力発揮が原因となって生み出されるが、筋の力発揮そのもののばらつきがどの程度なのかは明らかになっていない。また、ばらつきを生む生理学要因についてもよくわかっていない。ヒトが随意運動を行う際、高次運動野での運動計画が一定に成されていると仮定すると、運動指令の伝導路である皮質脊髄路における興奮性の揺らぎが力発揮のばらつきに影響を与えている可能性が考えられるが、関係性は今のところ不明である。よって本研究では、1) 力発揮のばらつきを定量し、2) そのばらつきの要因を検討することを目的とした。

第2章. 力発揮のばらつきと皮質脊髄路興奮性の揺らぎの関係性

本実験は、ピンチング動作の瞬間的力発揮を対象に、1) その力発揮のばらつきを定量し、2) 皮質脊髄路興奮性のばらつきと関係があるかを検討することを目的とする。また、3) 視覚フィードバックの有無が力発揮のばらつきに影響するかについても同時に検討した。

【方法】

被験者は、脳に神経学的疾患のない若年男女 15 名であった。力発揮課題として、最大随意筋力(maximum voluntary contraction, MVC)の 20%の力を標的とした、瞬間的なアイソメトリックのピンチングの力発揮を、力発揮量をリアルタイムでフィードバック(FB)する FB あり条件とモニターを見せずに FB なし条件の 2 条件で 5 秒に 1 回のペースで 30 回行った。30 回分のピーク値

の変動係数(coefficient of variation: CV)を算出し、力発揮のばらつきとして評価した。安静時閾値の 120%の刺激強度で安静時の運動誘発電位 MEP を 30 回計測し、振幅値の 30 回分の CV を皮質脊髄路興奮性の揺らぎとして評価した。

【結果と考察】

瞬間的なピンチング動作のばらつきは、FB あり条件で約 16%、FB なし条件で約 19%観察され、FB の有無による力発揮のばらつきの有意差は確認されなかったことから、フィードフォワード制御の瞬間的な力発揮においては、試行間のフィードバックはばらつきに影響しないことが明らかとなった(図 1)。

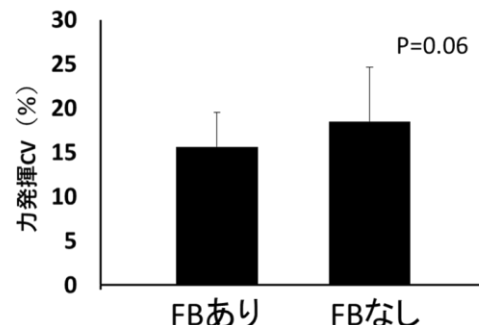


図 1. ピンチング課題 FB あり・なしの比較

ピンチング動作の力発揮における約 16~19%という大きな変動係数が観察された要因の一つとして、ピンチング動作は繊細な力発揮を日常的に求められない動作であるため、動作の習熟度の影響が考えられる。また、先行研究(Button et al. 2003)から、バスケットのフリースロー動作において、肘と手首の関節運動の軌道に一貫性が見られる選手の成功率が高いことが報告されており、関節の動きを伴う運動では位置情報などを制御して動作の再現性を高めている可能性があることから、関節の動きを伴わないアイソメトリックという力発揮様式の特異性が力発揮のばらつきに影響して

いる可能性がある。

また、力発揮のばらつきと皮質脊髄路の揺らぎに有意な相関は見られなかった。このことから、力発揮のばらつきは皮質脊髄路より上位の脳領域で生じている可能性が示唆された(図2)。

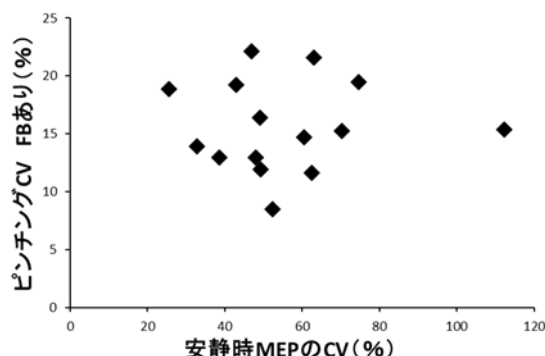


図2. MEPのばらつきと力発揮のばらつき

第3章. 部位と様式の違いに着目した力発揮のばらつきの検討

第2章で観察された約16%のばらつきが①アイソメトリックの②ピンチングにおける特異的なものであるのかを検討するため、示指タッピング動作と肘伸展動作の二つの課題を対象に、1) 関節運動の有無による力発揮のばらつきの影響を検討すること 2) 動作を伴う力発揮条件時にキネマティックデータを記録し、運動学的な視点からばらつきの要因を検討することを目的とした。

【方法】

被験者は、右利きの若年男女15名であった。瞬間的な示指のタッピング動作と肘伸展動作を、アイソメトリックと動作を伴う力発揮の二条件で20%MVCをターゲットに5秒に1回のペースで各課題30回ずつ行い、課題ごとの30試行分のピーク値のCVを力発揮のばらつきとした。動作あり条件時のキネマティックデータを記録し、位置変位と動作時間、速度を算出した。

【結果と考察】

全30試行分の力発揮量のCVを算出した結果、力発揮のばらつきは、タッピング課題のアイソメトリック条件

で約13%、タッピング課題の動作あり条件では約16%、肘伸展課題のアイソメトリック条件で約15%、肘伸展の動作あり条件で約11%であり、アイソメトリックなピンチングによる力発揮とは異なる部位や力発揮様式においても同程度の力発揮のばらつきが確認された(図3)。課題・条件間の差を検討した結果、課題間のアイソメトリック条件では、両課題間に有意な差は見られず、動作あり条件ではタッピング課題のCVが有意に大きかった。タッピング課題においては、動作あり条件のCVがアイソメトリック条件と比較して有意に大きく、肘伸展課題では、アイソメトリック条件のCVが動作あり条件のCVよりも有意に大きかった。少なくとも肘においては、関節の動きを伴う運動を行う際にばらつきが小さくなることが明らかになったが、タッピング課題では逆の関係となった。また、キネマティックデータとして動作開始時の位置、動作速度、動作時間の指標はいずれも力発揮のばらつきとの間に有意な関係が見られなかった。このことから、本実験のシンプルな力発揮において運動学的要因ではばらつきを説明できないことが明らかとなった。

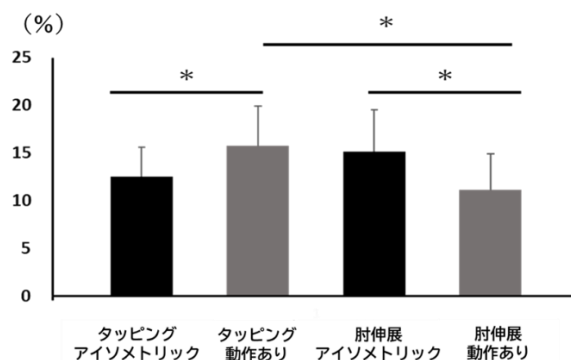


図3. 実験2 力発揮のCVの平均

【結論】

本研究の結果から、瞬間的な力発揮のばらつきに関わる要因として、皮質脊髄路の揺らぎ、視覚フィードバックの有無、キネマティクスでは説明できないこと、力発揮の部位、力発揮様式それぞれの要因だけでは力発揮のばらつきを説明できないことが明らかになった。