

論 文 要 旨

鹿児島大学

ブリッジ運動中の関節反力と筋張力に対する膝屈曲角度の影響

Effects of Knee Flexion Angles on the Joint Force and Muscle Force during Bridging Exercise: A Musculoskeletal Model Simulation.

氏 名 竹下 康文

【はじめに】

ブリッジ運動は臨床で広く用いられる代表的な運動療法の一つである。股関節周囲、体幹筋の筋力増強や安定性強化のために用いられ、疼痛の軽減や障害の予防などに効果があるとされる。ブリッジ運動ではその効果を高めるために、膝関節の角度設定を変えるなど、より高い筋活動を得る方法が論じられてきた。一方で、関節への負荷について分析した報告はみられない。一般的に筋への負荷が増加することで関節への負荷も増加するとされている。高すぎる関節負荷は痛みや障害の発生などにつながる可能性がある。

本研究では、筋骨格モデルシミュレーションを用いて、膝関節角度がブリッジ運動中の筋と関節への負荷に与える影響を明らかにすることである。

【方法】

対象は健康成人男性15名（年齢: 23.5 ± 2.2 歳, 身長: 1.70 ± 0.10 m, 体重: 61.6 ± 8.1 kg）とした。筋骨格モデルシミュレーションおよび表面筋電計を用いて、ブリッジ運動における筋と関節の負荷を分析した。

ブリッジ運動の運動開始時の膝関節の屈曲角度を 60° 、 90° 、 120° の3つに設定し、8台のカメラOptiTrack Flex13 (NaturalPoint, Corvallis, OR, USA)を用い、モーションキャプチャーを行った。得られたデータを筋骨格モデルシミュレーションソフトであるAnybody 7.1 (AnyBody, AnyBody Technology)に入力し、関節反力と筋張力の解析を行った。関節反力は鉛直、前後、左右方向および合力を腰椎、股関節について解析した。また、大殿筋、多裂筋、脊柱起立筋、大腿二頭筋長頭、大内転筋の筋張力を算出した。なお関節反力と筋張力は体重で正規化を行った(%BW)。同時に表面筋電計で大殿筋、多裂筋、脊柱起立筋、大腿二頭筋長頭の筋活動を計測し最大随意収縮で正規化を行った。

膝関節屈曲角度 60° 、 90° 、 120° の3条件におけるブリッジ運動中の関節反力、筋張力、筋活動を反復測定の一元配置分散分析もしくは、フリードマン検定および多重比較検定にて分析した。有意水準は5%とした。

【結果】

腰椎関節の合成反力は 60° で $199.97 \pm 23.23\%BW$ 、 90° で $174.56 \pm 18.64\%BW$ 、 120° で $150.48 \pm 15.83\%BW$ と膝関節屈曲角度が大きくなるほど有意に低下した ($F = 234.62$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.536$)。腰椎関節の分力も同様の傾向であったが、鉛直方向が大きく、前後、左右方向への力は非常に小さかった。股関節の合成反力は 60° で $274.43 \pm 63.69\%BW$ 、 90° で $303.93 \pm 85.75\%BW$ 、 120° で $341.14 \pm 85.66\%BW$ と膝関節屈曲角度が大きくなるほど増加する傾向を示した。

大殿筋、大内転筋の筋張力は、膝関節屈曲角度が大きくなるほど有意に増加し、多裂筋、脊柱起立筋、大腿二頭筋の筋張力は有意に減少した。大内転筋の筋張力は全体中で特に高かった。筋張力と同様に多裂筋、脊柱起立筋、大腿二頭筋の筋活動は、膝関節屈曲角度が大きいくほどと有意に減少した。一方、大殿筋の筋活動には、膝関節の角度による有意な変化を認めなかった。

【考察】

本研究では、筋骨格モデルシミュレーションを用いて異なる膝関節角度のブリッジ運動における筋負荷と関節負荷を推定した。その結果、ブリッジ運動中膝関節の屈曲角度が大きくなるほど、腰椎関節の反力は減少し、股関節の反力は増加した。

腰椎の反力は腰背部の筋張力による影響が大きい。腰背部の筋張力は、足部から受ける床反力が生み出す外的な腰椎の屈曲モーメントの影響が大きいと考えられる。膝関節屈曲に伴い、床反力と腰椎の椎体間関節との距離が減少することにより、腰椎に作用する外的な屈曲モーメントが減少し、その結果、腰椎間に作用する圧縮力が減少したと考えられた。両膝関節の屈曲角度の増加に伴う多裂筋や脊柱起立筋の筋張力の減少は、筋電図により計測した筋活動の結果とも一致した。

一方で、膝関節屈曲角度の増加に伴い、股関節反力は有意に増加した。股関節反力の増加には、大殿筋と大内転筋の張力の増加が大きく影響したと考えられる。先行研究において、大腿二頭筋は75°をピークに膝関節屈曲角度が増大するにしたがって、筋の長さ-張力の関係から発揮できる出力が減少していくとされている。本研究においても大腿二頭筋の筋張力、筋活動は60°で最大となり、膝関節屈曲角度が増大にともない減少した。そのため膝関節屈曲角度が大きい肢位では、大殿筋と大内転筋が股関節伸展モーメントを担うようになった。股関節に対する大内転筋の伸展方向のモーメントアームは、ハムストリングスよりも小さいため、股関節伸展モーメント発揮の効率性は低く、より大きな筋張力を発生する必要がある。したがって、膝関節屈曲角度の増加に伴う大内転筋の筋張力が増大した結果、股関節の反力が増加したと考えられる。

本研究では、床反力も最適化法により推定した。そのため表面筋電計を用いた解析も並行して行った。脊柱起立筋と多裂筋、大腿二頭筋については、筋骨格モデルシミュレーションで得られた筋張力と筋電計で計測した筋活動が同じ傾向を示した。一方で、大殿筋は両者で異なる結果を示した。また、大内転筋はクロストークの問題があり、分析を行っていない。膝関節の肢位がブリッジ運動中の筋と関節の負荷に与える影響をより詳細に理解するためには、さらなる研究が必要と考える。