

大腿直筋のCKCサイレント現象とシーティングベルトによるハムストリングの活性化

河村顕治 加納良男* 宮地 司**

CKC silent phenomenon on rectus femoris and activation of hamstrings using seating belt

Kenji KAWAMURA, Yoshio KANO*, Tsukasa MIYACHI**

要 旨

閉運動連鎖（closed kinetic chain；以下CKC）運動は大腿四頭筋とハムストリングの共同収縮が起こり膝関節の安定性が得られるとして前十字靭帯再建術後などの膝リハビリテーションに応用されている。ところがCKC運動の代表とされているスクワットではハムストリングの筋活動はほとんど見られない。また、大腿四頭筋についても広筋群が活発に活動する一方で大腿直筋はサイレントである。すなわち、CKC運動では二関節筋に抑制現象が起こることが特徴である。本研究では椅子からの立ち上がり運動において抑制される大腿直筋の代わりに大腿直筋を模して開発されたシーティングベルトを突っ張らせた。その結果、ハムストリングは著明に活性化した。シーティングベルトの作用で骨盤が前傾し、これを打ち消すためにハムストリングが活性化したと考えられる。

キーワード：閉運動連鎖、共同収縮、大腿直筋、ハムストリング、筋電図

Key words：Closed kinetic chain, Co-contraction, Rectus femoris, Hamstrings, Electromyography

はじめに

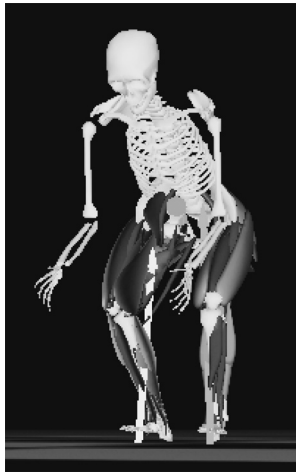
大腿四頭筋は開運動連鎖（open kinetic chain；以下OKC）においては一体として活動するが、閉運動連鎖（closed kinetic chain；以下CKC）の状況下では単関節筋である広筋群と二関節筋である大腿直筋は全く異なった活動様式を示す。すなわち、CKCにおいては広筋群が活発に活動する一方で大腿直筋の活動は著明に抑制される。大腿直筋は膝関節伸展作用を持つ一方で、股関節屈曲作用も持つため、股・膝関節同時伸展というCKCの運動時には神経生理学的に抑制されると考えられている。著者はフィンワイヤー電極を用いて静止して両下肢で体重を支える程度のCKCの状態では二関節筋である大腿直筋が電氣的にはサイレントであることを見出した¹⁾（図1）。

同様に、通常のスクワットではハムストリングの筋活動はほとんど見られない。CKCの最大の特徴は二関節筋の抑制現象である。

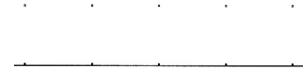
ダイヤ座位保持ベルト（ダイヤ工業、岡山）は大腿直筋を模して開発された座位保持機能と移乗介護動作補助機能を併せ持つ簡便なベルト型装具である（図2）。基本的構造として腰背部に当たったパッドの左右両端からでたベルトが膝前面を通り足部に固定される。ベルトを適切に締めることで座位時には腰椎の生理的前弯を引き出し良肢位で楽に座ることができ、移乗介護時には介護者が両手で被介護者の骨盤を引き起こすことによって生じる被介護者の股関節伸展モーメントを膝伸展モーメントに転換することにより移乗動作を容易にする。シーティングベル

吉備国際大学保健科学部理学療法学科
〒716-8508 岡山県高梁市伊賀町8
*吉備国際大学保健科学部作業療法学科
〒716-8508 岡山県高梁市伊賀町8
**吉備国際大学大学院保健科学研究科
〒716-8508 岡山県高梁市伊賀町8

Department of Physical Therapy, School of Health Science, KIBI International University
8, Iga-machi, Takahashi-City, Okayama, 716-8508, Japan
* Department of Occupational Therapy, School of Health Science, KIBI International University
8, Iga-machi, Takahashi-City, Okayama, 716-8508, Japan
** Graduate School of Health Science, KIBI International University
8, Iga-machi, Takahashi-City, Okayama, 716-8508, Japan



大腿直筋（ワイヤー）



大腿直筋（表面電極）



内側広筋（ワイヤー）



内側広筋（表面電極）



図1 CKC サイレント現象

著者はファインワイヤー電極を用いて静止して両下肢で体重を支える程度のCKCの状態では二関節筋である大腿直筋が電氣的にはサイレントであることを見出した。



図2 ダイヤ座位保持ベルト

大腿直筋を模して開発された座位保持機能と移乗介護動作補助機能を併せ持つ簡便なベルト型装具である。ベルトを適切に締めることで座位時には腰椎の生理的前弯を引き出し良肢位で楽に座ることができ、移乗介護時には介護者が両手で被介護者の骨盤を引き起こすことによって生じる被介護者の股関節伸展モーメントを膝伸展モーメントに転換することにより移乗動作を容易にする。



図3 シーティングベルト

ダイヤ座位保持ベルトの構成を簡略化することによって主に健康人の腰痛対策として使用できるようにしたものである。

トは構成を簡略化することによって主に健康人の腰痛対策として使用できるようにしたものである(図3)。

CKCにおいて本来は抑制される大腿直筋の代わりにシーティングベルトを突っ張ると骨盤の前傾を引き起こすので、骨盤を中間位に保持しようとする

るハムストリングの筋収縮が増加するのではないかと予想される。今回、このような仮説に基づき椅子からの立ち上がりにおける静的なCKCの状態において、シーティングベルトを利用してハムストリングの筋活動を高める工夫について研究を行った。

対象と方法

対象は評価時に腰痛を生じていない健康若年男性



図4 シーティングベルトを利用した立ち上がりの評価
シーティングベルトを装着してハムストリングを収縮させてベルトをできるだけつっぱるように指導した。立ち上がりの途中で膝関節屈曲角度が60度になったところで静止させ、筋電図の計測を行った。

7人(19.7±0.8歳)である。椅子からの立ち上がり動作についてシーティングベルト装着時と非装着時とで表面筋電図によって下肢筋の筋活動を評価した。シーティングベルト装着時にはハムストリングを収縮させてベルトをできるだけつっぱるように指導した(図4)。立ち上がりの途中で膝関節屈曲角度が60度になったところで静止させ、筋電図の計測を行った。筋電図を計測した筋は第3腰椎レベルの右脊柱起立筋(L3)、右下肢の大殿筋(GM)、大腿直筋(RF)、内側広筋(VM)、内側ハムストリング(MH)、外側ハムストリング(LH)、前脛骨筋(TA)および内側腓腹筋(MG)である。各筋の筋腹中央上やや遠位に電極中心間距離2.0cmで表面電極を貼り付け、Nicolet Viking IV筋電計(Nicolet Biomedical Inc., USA)を用いて計測した。サンプリングは20kHzで20Hzから10kHzの周波数帯で行われた。計測は5秒間行い安定した出力の認められた3秒間のデータを積分した。

結 果

シーティングベルトなしの時は内側広筋に強い筋活動を記録した。シーティングベルト装着時には第

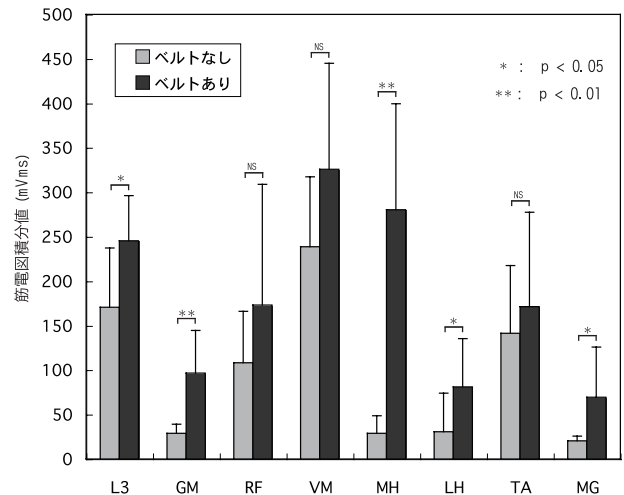


図5 立ち上がり動作の下肢筋筋電図評価

筋電図を計測した筋は第3腰椎レベルの右脊柱起立筋(L3)、右下肢の大殿筋(GM)、大腿直筋(RF)、内側広筋(VM)、内側ハムストリング(MH)、外側ハムストリング(LH)、前脛骨筋(TA)および内側腓腹筋(MG)である。

3腰椎レベルの右脊柱起立筋(L3)、右下肢の大殿筋(GM)、内側ハムストリング(MH)、外側ハムストリング(LH)、内側腓腹筋(MG)の筋収縮が有意に増大したが、特に内側ハムストリングの筋収縮は著明に増大した(図5)。

考 察

CKCのコンセプトはSteindlerによって人間の関節運動が荷重時と非荷重時では全く異なった挙動を示すことを表すために運動学の分野に紹介された²⁾。CKCの状況下では大腿四頭筋とハムストリングの共同収縮が起こり、膝関節が安定し保護されるとされ³⁾、その後主に膝リハビリテーションの分野で活用されてきた⁴⁾。しかしCKCの典型例とされているスクワットでも設定によってはハムストリングの筋活動はさほど大きなものではない⁵⁾。近年、CKCの状況下では二関節筋の活動が抑制されることが指摘されている⁶⁾。

二関節筋の作用に関しては古くはBorelliが1680年に二関節筋が存在することでかえってエネルギー効率が悪化するように思われることに言及している(paradoxical statement)⁷⁾。

Basmajianらによる筋電図学的研究によれば二関

筋は股・膝の同時伸展あるいは同時屈曲などの共働の運動 (concurrent shift) では弱く収縮し、その逆の運動 (countercurrent movement) では最大収縮し拮抗筋は弛緩することが知られている⁸⁾。座位での膝伸展などの OKC Exercise は countercurrent movement と同義であり二関節筋は単関節筋のように出力に応じて収縮する。一方スクワットやレッグプレスなどに代表される CKC Exercise は concurrent shift とほぼ同義であり、この状態では二関節筋の収縮は抑制される。すなわち CKC において大腿四頭筋は単関節筋の広筋群と二関節筋の大腿直筋に明瞭に分かれて活動する。したがってシーティングベルトなしの立ち上がり動作では単関節筋である広筋群は活発に活動するが、二関節筋である大腿直筋やハムストリングは抑制されると解釈される。

座位保持においてシーティングベルトは腰部以下の固定性を高め頸椎・胸椎部の筋収縮を軽減する作用があると考えられる。このほか、座位姿勢の不良な状態に対しては強制的に良肢位に保持できるので、全身にさらに大きな効果が期待できる。椅子からの立ち上がりではシーティングベルトを突っ張ることによりハムストリングの強力な収縮を引き出すことができた。これはシーティングベルトの作用で骨盤が前傾し、これを打ち消すためにハムストリングが活性化したと考えられる。もともとハムストリングは CKC の状況では骨盤を介して大腿直筋などの二関節筋の作用で膝伸展に働くが、シーティングベルトを突っ張るとこの作用が逆に作用してハムストリングが強く収縮すると解釈される。

さらに CKC Exercise では単関節筋と二関節筋が協調して運動を行う。広筋群が膝を伸展し、膝伸展により二関節筋である半腱様筋が突っ張り股関節を伸展する。また、大殿筋が股関節を伸展し、股関節伸展により二関節筋である大腿直筋が突っ張り膝関節を伸展する。CKC ではこのように下肢全体の筋肉が協調して働くため、OKC の運動のみでは CKC の運動能力を高めることはできないと言われている。人間の動きとして基本的な歩行や椅子からの立ち上がり動作などはすべて CKC であり、CKC Exercise が重視される所以である。

シーティングベルトを突っ張った CKC 運動ではハムストリングが活性化されるが、ハムストリングは膝屈曲作用があるのでこれを打ち消すために膝伸筋である大腿四頭筋の筋活動も高まると考えられる。このように、シーティングベルトを突っ張ると、ハムストリングが活性化するだけでなく、下肢全体の筋群がバランスよく活性化される。これは、膝関節のトレーニングとしては最適である。なぜなら、変形した関節の負担となる剪断力が減少し、関節の固定性が高まるからである。シーティングベルトは伸縮性を持たないため等尺性の運動しか行えないが、伸縮性を持たせてスパッツのように着用できる形にすれば、歩行や立ち上がりなどの日常生活の中で運動を行うことも可能であると考えられる。

まとめ

椅子からの立ち上がり運動においては大腿四頭筋が主に活動するが、その中でも広筋群が活発に活動する一方大腿直筋はサイレントである。また、ハムストリングはほとんど活動しない。このような二関節筋の抑制現象が CKC 運動の特徴である。抑制された大腿直筋の代わりに大腿直筋の機能を模して開発されたシーティングベルトを突っ張らせると、ハムストリングは活性化された。

Abstract

The quadriceps femoris comprises the vastus group (mono-articular muscle) and the rectus femoris (bi-articular muscle). All components of the quadriceps femoris are active during open kinetic chain (OKC), whereas activations of the vastus group and the rectus femoris differ under closed kinetic chain (CKC) conditions. The electrical activities of rectus femoris are inhibited during CKC simultaneous extensions of hip and knee joints. A seating belt is a simple portable sitting aid for low back pain patient. The hip extension moment is converted into knee extension moment through the strap which runs along the front of the patella. In a normal subject, the mechanism of a bi-articular muscle such as the rectus femoris muscle transfers the hip extension

moment of the gluteus maximus muscle and hamstring muscle to knee extension moment. The straps of this device act in place of the bi-articular muscles. The objective of this study was to investigate the effect of seating belt on the muscle recruitment patterns during CKC standing up. When the subjects performed standing up without seating belt, quadriceps groups were mainly active. When the subjects performed standing up with seating belt, the activity of the quadriceps femoris was observed in parallel with the activities of the hamstrings and gluteus maximus. This study suggests that effective co-contraction of the quadriceps and the hamstrings can be obtained by standing up with seating belt.

参考文献

- 1) 河村顕治 (2007) 大腿直筋における CKC サイレント現象. 日本臨床バイオメカニクス学会誌 Vol.28 : 375-379
- 2) Steindler (1955) Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions. Charles C Thomas, Springfield, IL
- 3) Baratta R, Solomonow M, Zhou BH et al (1988) Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. Am J Sports Med 16 : 113-122
- 4) Palmitier RA, An KN, Scott SG et al (1991) Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. Sports Medicine 11 : 402-413
- 5) Isear JA, Erickson JC, Worrell TW (1997) EMG analysis of lower extremity muscle recruitment patterns during an unloaded squat. Med Sci Sports Exerc 29 (4) : 532-539
- 6) 河村顕治 (2001) 下肢閉運動連鎖と開運動連鎖における筋出力パターンの筋電図学的解析 日本臨床バイオメカニクス学会誌 Vol.22 : 191-194
- 7) Borelli GA (1680/1681) De motu animalium. (Translated by Maquet P, Heidelberg, Springer-Verlag, 1989.)
- 8) Fujiwara M, Basmajian JV (1975) Electromyographic study of two-joint muscles. Am J Phys Med 54 (5) : 234-42

