

## CKC における二関節筋機能を利用した 下肢筋力増強用着衣の開発

河村顕治 加納良男\* 宮地 司\*\* 梅居洋史\*\* 酒井孝文\*\* 井上茂樹\*\*\*

Development of apparel that augments lower leg muscular strength  
by supporting bi-articular muscle function under closed kinetic chain conditions

Kenji KAWAMURA, Yoshio KANO\*, Tsukasa MIYACHI\*\*,  
Hiroshi UMEI\*\*, Takafumi SAKAI\*\*, Shigeki INOUE\*\*\*

### 要 旨

大腿直筋に相当するシーティングベルトを突っ張ってCKC運動を行うと、ハムストリングが活性化だけでなく、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。しかし、シーティングベルトには伸縮機能がないため突っ張ることはできても下肢を自由に動かすことができない。そこでThera-BandとThera-Tubeを用いて筋電図計測を行い最適な弾性を検討した。その評価結果を受けて腰部に腰部固定帯のベルトを着けてしっかりと固定し、大腿前面に全長に亘って十分な弾力性を持たせたスパッツ状の下肢筋力増強用着衣を開発した。今回試作した伸縮性を持つ下肢筋力増強用着衣は着用するだけで、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が可能である。

キーワード：閉運動連鎖、二関節筋、筋力増強、着衣、筋電図

Key words：Closed kinetic chain, Bi-articular muscle, Muscular strength augmentation, Apparel, Electromyography

### はじめに

閉運動連鎖（closed kinetic chain；以下CKC）の状況下では大腿四頭筋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。二関節筋であ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。我々は静止して両下肢で

体重を支える程度のCKCの状態では大腿直筋が電気的にはサイレントであることを見出した<sup>1)</sup>。大腿直筋に相当するシーティングベルト（図1）を突っ張ったCKC運動を行うと、この張力を打ち消すために大殿筋やハムストリングが強力に収縮した。さらに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。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とが判

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  
\*\*\*吉備国際大学保健福祉研究所  
〒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  
\*\*\* Research Institute of Health and Welfare, KIBI International University  
8, Iga-machi, Takahashi-City, Okayama, 716-8508, Japan



図1 シーティングベルト（ダイヤ工業）

腰背部に当てたパッドから左右に大腿直筋に相当するベルトを伸ばし膝前面をカバーして足部に固定するベルト型装具である。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。ベルトを突っ張ることによって下肢の運動にも使用できる。

明した<sup>2)</sup>。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。しかし、シーティングベルトには伸縮機能がないため突っ張ることはできても下肢を自由に動かすことができない。適度な弾力性を持ったシーティングベルトが開発できれば日常生活における活動中に下肢筋力増強をはかることができ、幅広い利用が可能になる。シーティングベルトは座位などの静的な状態での使用を前提としたものであるが、弾力性を持たせることで立ち上がりや歩行動作にも利用ができるようになる。単に運動時に抵抗を生じるだけでは疲労しすぎて日常的な装着はできないが、座位時などでは腰椎の生理的前弯を保持して楽な良肢位で姿勢を保持でき、起立・歩行時には適度な負荷となり下肢筋力増強ができる着衣が開発できれば有用である。スパッツの形状に仕上げることで日常生活の中での使用が可能になり、近年高齢者問題で期待されている介護予防からスポーツトレーニングまで幅広く利用が可能となる。特に近年増大している変形性膝関節症や変形性股関節症患者では、関節周囲筋をバランス良く鍛えることが重要であり、特別な努

力をしなくてもバランスの良い筋収縮が引き出せる着衣の開発の意義は大きい。今回、このような着想に基づきCKCにおける二関節筋機能を利用した下肢筋力増強用着衣の開発を行った。

#### 対象と方法

対象は健康若年女性12人（ $19.8 \pm 0.7$ 歳）である。被験者の身長は $160.4 \pm 7.0$ cm、体重は $58.0 \pm 9.1$ kgであった。どの程度の弾力をベルトに持たせると最も理想的な負荷と活動性を両立できるかを調べるために特殊ラテックスゴム製のThera-BandとThera-Tubeを用いた。Thera-Bandは筋力トレーニングに広く利用されているゴムバンドであり弾性力がバンドの色で示されている。金>銀>黒>青>緑>赤>黄>黄褐色という順番でそれぞれの特性が明らかになっている。同様にThera-Tubeは銀>黒>青>緑>赤>黄という順番で強度が異なる。各色のThera-BandとThera-Tubeを突っ張らせて筋電図計測を行い最適な強度を突き止めることにした。各色のThera-BandとThera-Tubeを図2のようにセットして、大腿前面で突っ張るように立ち上がり動作、スクワットと歩行を行わせて装着時と非装着時とで表

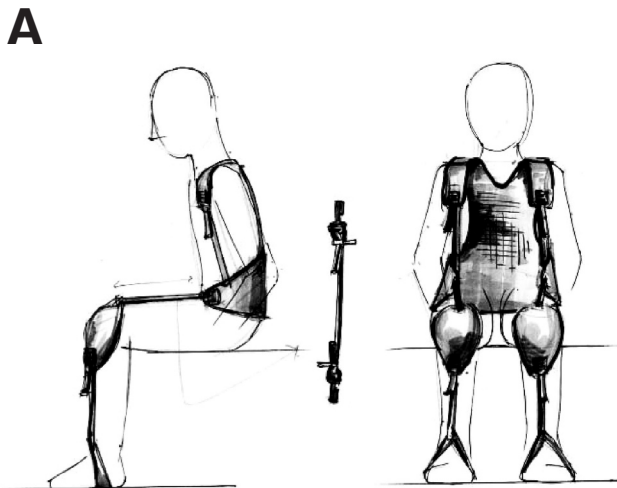


図2 評価用着衣

- A: ベスト下端と膝から足部にかけてのベルトの上端を大腿部前面中央で連結する形で各色の Thera-Band と Thera-Tube を交換してセットする。
- B: Thera-Band は金>銀>黒>青>緑>赤>黄>黄褐色という順番で強度が異なる。
- C: Thera-Tube は銀>黒>青>緑>赤>黄という順番で強度が異なる。

面筋電図によって下肢筋の筋活動を評価した。筋電図を計測した筋は第3腰椎レベルの右腹直筋 (RA)、右外腹斜筋 (EO)、右脊柱起立筋 (ES)、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) である。各筋の筋腹中央上やや遠位に電極中心間距離 2.5cm で表面電極を貼り付け、NORAXON 16ch 無線式筋電計とデジタルビデオを用いて計測した。

Thera-Band と Thera-Tube による評価結果を受けて最終的に大腿前面の大腿直筋に相当する部分に適度な弾力性を持つ着衣を数種類試作した。これを装着した時と装着していない時とで被験者の装着感、歩行時の酸素摂取量を呼吸代謝測定装置 AE-300S (MINATO) を用いて評価した。さらに歩行時の関節角度や関節モーメントおよび筋活動をリアルタイム 3次元動作解析システム MAC3D System (MotionAnalysis)、Hawk カメラ 8 台、Kistler 床反力計 4 枚、NORAXON 16ch 無線式筋電計を用いて解析した。



## 結 果

試作した大腿前面で中央部 3 分の 1 が伸縮性を持つベルトでは最大の弾力性を持つ金色の Thera-Band を使用しても、椅子からの立ち上がり動作では初期の上半身を前傾する時にベルトが緩んでしまい十分な効果が得られないことが判明した。大腿全長に亘って緑色の Thera-Tube を強力に突っ張ると最小の負荷で期待通りの効果が得られた (図 3)。

Thera-Band と Thera-Tube による試験結果を受けて、大腿前面に全長に亘って弾力性を持たせるスパッツ状の着衣をデザインした (図 4)。このデザインに基づいて最終的に試作した着衣では、腰部に腰部固定帯のベルトを着けてしっかりと固定し、大腿前面に全長に渡って十分な弾力性を持たせた (図 5)。

被験者による試作した着衣の装着感としては歩行では足が前方に蹴り出しやすくなり歩きやすいという評価であった。酸素摂取量は時速 4.5km の歩行で平均値を比較したところ、試作した着衣を装着すると通常の着衣を着た歩行時よりも 3% 増大した。筋

Thera-Tube 無し Thera-Tube 有り



図3 立ち上がり動作の体幹下肢筋電図評価

筋電図を計測した筋は第3腰椎レベルの右腹直筋 (RA)、右外腹斜筋 (EO)、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) である。大腿全長に亘って緑色の Thera-Tube を強力に突っ張ると特にハムストリングの筋活動が高まり、立ち上がった後も筋放電が持続していた。

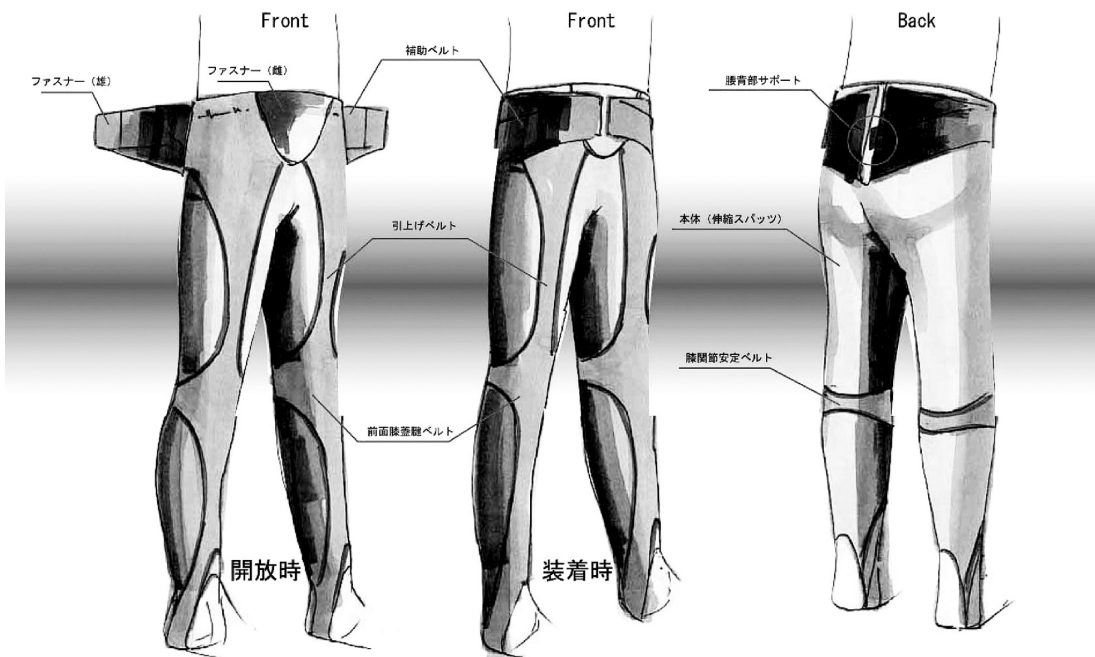


図4 Thera-Band と Thera-Tube を用いた評価に基づいてデザインした下肢筋力増強用着衣



図5 試作した下肢筋力増強用着衣

電図でも、この着衣を装着すると下肢全体の筋活動が高まった。3次元動作解析の結果では安定した傾向を捉えることは困難であったが股関節屈曲角度に変化が見られた。

### 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で紹介された<sup>3)</sup>。一般的に座位で足関節部に重りや抵抗をかけて行う膝伸展運動は OKC であり、スクワットやレッグプレスは CKC であるとされている。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<sup>4)</sup>、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<sup>5)</sup>。大腿四頭筋は OKC においては一体として活動するが、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。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<sup>6)</sup>。CKC の最

大の特徴は二関節筋の抑制現象である<sup>7)</sup>。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。

これまでに行った研究では、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<sup>2)</sup>。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。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。

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、今回試作した伸縮性を持つ下肢筋力増強用着衣は着用するだけで、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が可能である。

今回試作した下肢筋力増強用着衣について、さらに筋電計とリアルタイム 3次元動作解析装置 (MAC3D) を用いた解析を継続して行っていく予定である。着衣による影響は非常に軽微であるため、マーカー貼り付け位置による誤差や skin movement による誤差が相対的に大きくなり、数多く計測を行わないと統計的に信頼性が劣るからである。

### ま と め

これらの研究成果から、下肢筋力増強用着衣の実用化の見通しは十分あると考えられた。大腿前面に強力な伸縮性を持たせると効果は高まるが、きつく装着感は損なわれる。安価で必要十分な伸縮性を持たせた製品に仕上げられれば実用化はできると考

える。

高齢者の健康の衰えは、正常歩行ができなくなる  
こと、すなわち下肢の衰えから始まるといわれてい  
る。本研究のような、下肢筋力増強用着衣を装着し  
日常動作を行えば、自然と下肢筋力のトレーニング  
になる意義は極めて大きい。必ずやってくる高齢化  
社会を「健康な高齢化社会」とするための一助とな  
ると思われる。

#### Abstract

The electrical activity of rectus femoris is inhibited during simultaneous closed kinetic chain (CKC) extension of hip and knee joints. A seating belt is a simple portable sitting aid for patients suffering from lower back pain. The straps of this device compensate for the action of rectus femoris (a bi-articular muscle), thereby easing the strain on the patient. The belt essentially works by supporting the co-contraction of the quadriceps and hamstrings upon standing. During this action, the seating belt activates the hamstrings, thereby disallowing hip joint flexion. Unfortunately, because the seating belt is not elastic, the patient cannot completely extend the hip and knee joints. Our objective was to develop apparel to augment lower leg muscular strength by improving upon the current seating belt design. Using Thera-Band and Thera-Tube, we designed spats that remained flexible over the entire anterior surface of the thigh. When participants donned these exercise spats, we observed that the muscle activity of the lower leg was activated during CKC conditions. We propose that if patients wore these spats, it would strengthen the

muscles of their lower extremities while performing daily activities such as walking or standing. We also expect these exercise spats to help maintain the physical health of the elderly.

#### 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) 河村顕治, 加納良男, 宮地 司 (2008) 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 吉備国際大学保健科学部研究紀要 第 13 号 : 57-61
- 3) Steindler (1955) Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions. Charles C Thomas, Springfield, IL
- 4) 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
- 5) Palmitier RA, An KN, Scott SG et al (1991) Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. Sports Medicine 11 : 402-413
- 6) 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
- 7) 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