

閉運動連鎖最大下出力時における下肢筋収縮様式の解析

河村顕治 加納良男* 山下智徳** 梅居洋史**
酒井孝文** 松尾高行** 井上茂樹***

Analysis of muscle recruitment pattern of
the lower extremity under submaximal closed kinetic chain conditions

Kenji KAWAMURA, Yoshio KANO*, Tomonori YAMASHITA**, Hiroshi UMEI**,
Takafumi SAKAI**, Takayuki MATSUO**, Shigeki INOUE***

要 旨

高齢者の運動療法としてCKCを適応する時には最大出力を行わせることは危険である。これまでに最大出力時のCKCにおける単関節筋と二関節筋の足部出力方向と筋収縮様式の関連は詳細に報告されているが、最大下出力時についての報告はほとんどなされていない。そこで本研究では床反力計と表面筋電図を用いて、レッグプレスを行った際の筋収縮様式を最大足部出力だけでなく、最大下足部出力も含めて計測し、CKCにおける下肢筋収縮様式について詳細に検討を行った。その結果、レッグプレスにおいては最大下出力時においても最大出力時と同様に膝伸展の単関節筋である内側広筋と外側広筋の活動が最も大きいということが明らかとなった。一方、全出力過程において二関節筋である大腿直筋やハムストリングの活動は著明な低値を示した。

キーワード：閉運動連鎖、二関節筋、筋電図、最大下出力、筋出力様式

Key words：Closed kinetic chain, Bi-articular muscle, Electromyography, Submaximal pressing, Muscle recruitment pattern

はじめに

近年、主にスポーツ医学の分野において下肢の閉運動連鎖（closed kinetic chain；以下CKC）を利用したトレーニングが積極的に取り入れられつつある。日常活動のほとんどの下肢運動がCKCであり、大腿四頭筋とハムストリングの共同収縮によって膝関節が保護されることから高齢者の筋力トレーニングとしても徐々に注目されつつある。高齢者の運動療法としてCKCを適応する時には最大出力を行わせることは危険である。一般的には30%MVC

程度の負荷が良いとされている。これまでに最大出力時のCKCにおける単関節筋と二関節筋の足部出力方向と筋収縮様式の関連は詳細に報告されているが¹⁾、最大下出力時についての報告はほとんどなされていない。そこで本研究では床反力計と表面筋電図を用いて、レッグプレスを行った際の筋収縮を最大足部出力（maximum pressing force；以下MPF）だけでなく、最大下足部出力も含めて計測し、CKCにおける下肢筋収縮様式について詳細に検討を行った。

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

対象と方法

対象は健康成人男性 12 名（年齢 21.9 ± 1.4 歳、身長 172.2 ± 4.7 cm、体重 62.2 ± 3.9 kg）である。床反力計 AccuGait (AMTI) 1 枚を組み込んだ荷重解析システム ToMoCo-FP（東総システム）をカスタマイズして、右下肢が CKC で床反力計を押す矢状面の運動を側面から撮影したデジタルビデオカメラの映像と、床反力計で計測した足部反力ベクトルの重ね合わせ画像をリアルタイムで記録できるようにして計測を行った（図 1）。計測肢位は先行研究より、体幹垂直位、股関節屈曲 90° 、内外転 0° 、内外旋 0° 、膝関節屈曲 60° 、足関節背屈 10° とした。被験者には自覚強度として 5 秒ごとに 0% から 100% MPF まで 10% ずつ出力を強めるよう指示して 2 回の練習を行った後計測を行った。同時に 16ch 無線式筋電計 (NORAXON) を用いて大殿筋、中殿筋、大腿筋膜張筋、内側広筋、外側広筋、大腿直筋、半腱様筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋内側頭・外側頭、ヒラメ筋の計 12 箇所の筋電位を表面電極で計測した。各足部出力のレベル毎に安定した筋収縮が認められた 1 秒間の筋電図を積分して最大筋収縮時の値を 100% として正規化した。統計処理は各筋肉について % MPF と正規化した筋電図積分値について単回帰分析を行った。

本研究は、吉備国際大学「人を対象とする研究」倫理規定に従った。吉備国際大学倫理審査委員会に申請し、審査を経て承認を得た（吉備国際大学倫理審査委員会 受理番号：08-06）。被験者に対し臨床研究説明書と同意書にて研究の意義、目的、不利益



図 1 CKC 計測システム

および危険性、口頭による同意の撤回が可能であるということなどについて口頭および書類で十分に説明し、自由意志による参加の同意を同意書に署名を得て実験を実施した。

結 果

足部出力の増大に伴って足部反力ベクトルはほぼ股関節に向かって常に一定の方向に増大する傾向を示した（図 2）。全ての筋において正規化した筋電図積分値（%）は %MPF に対して直線的に増加す

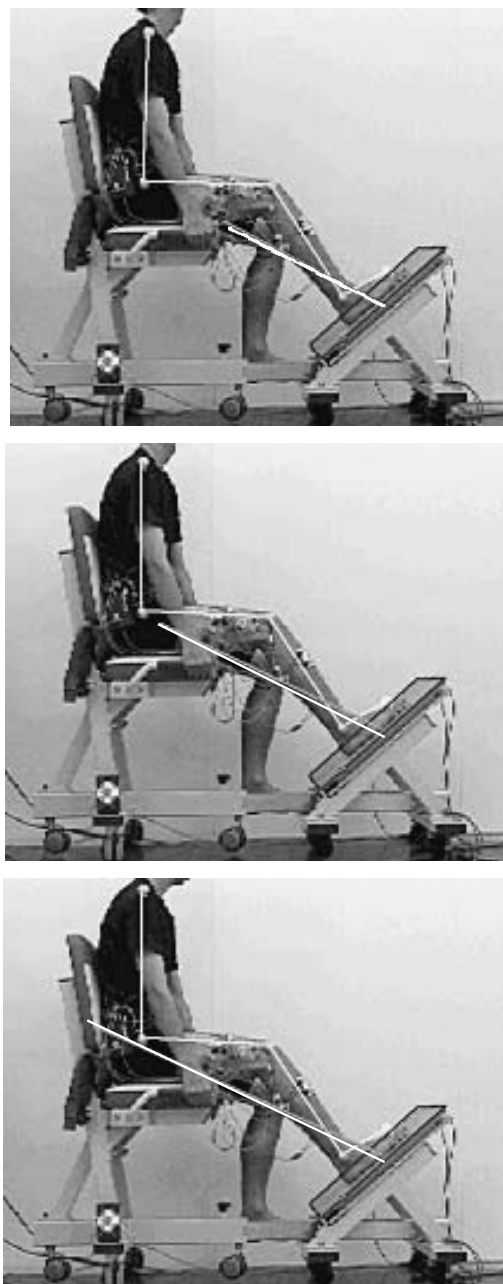


図 2 足部反力ベクトルの重ね合わせ画像

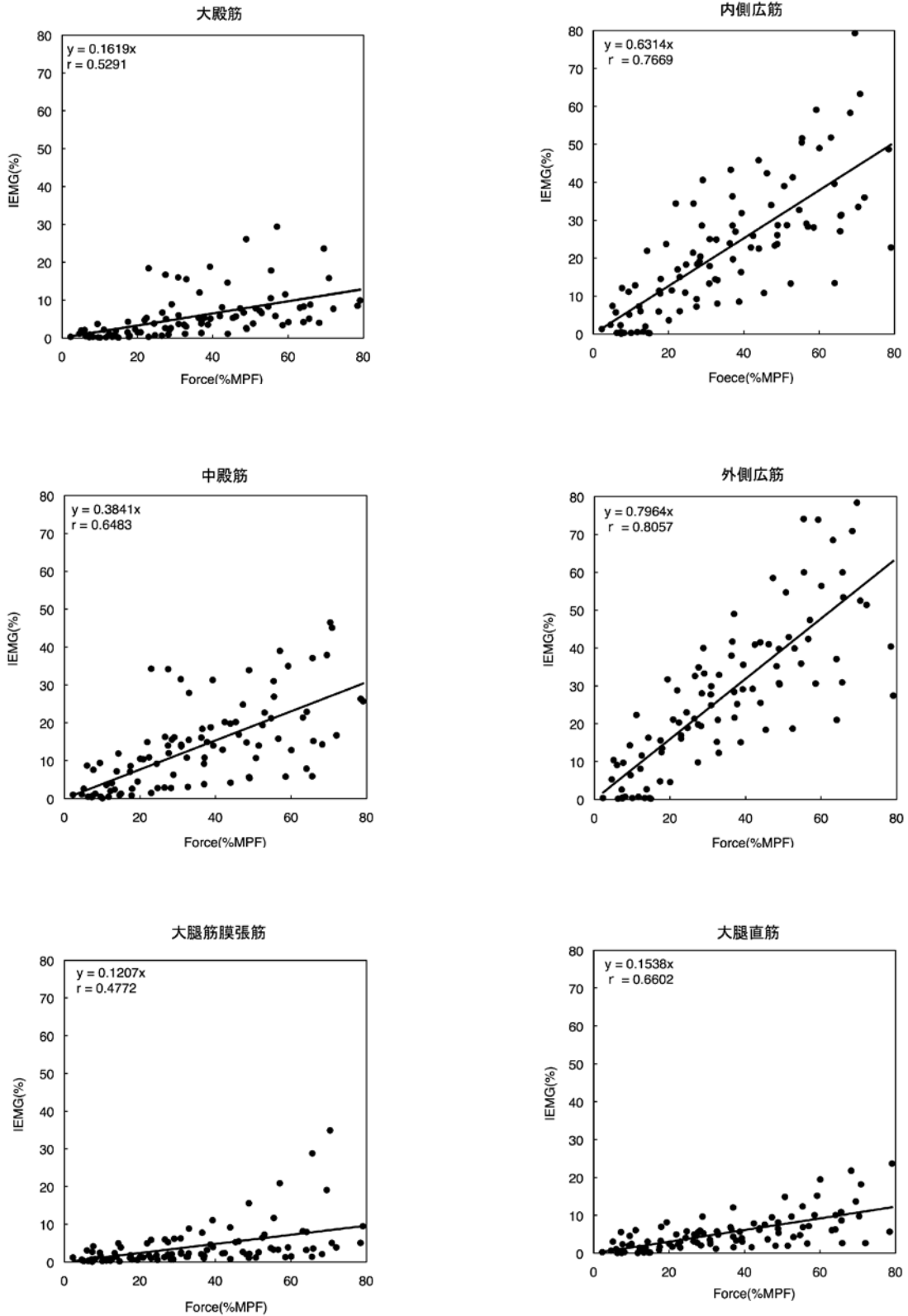


図3-a 足部出力と筋電図積分値の関係

る傾向を示したため、原点を通る回帰直線を求めてその傾きと相関係数を検討した (図3-a, b)。原点を通る回帰直線の傾きは大殿筋：0.1619、中殿筋：

0.3841、大腿筋膜張筋：0.1207、内側広筋：0.6314、外側広筋：0.7964、大腿直筋：0.1538、半腱様筋：0.1251、大腿二頭筋：0.1777、前脛骨筋：0.0537、

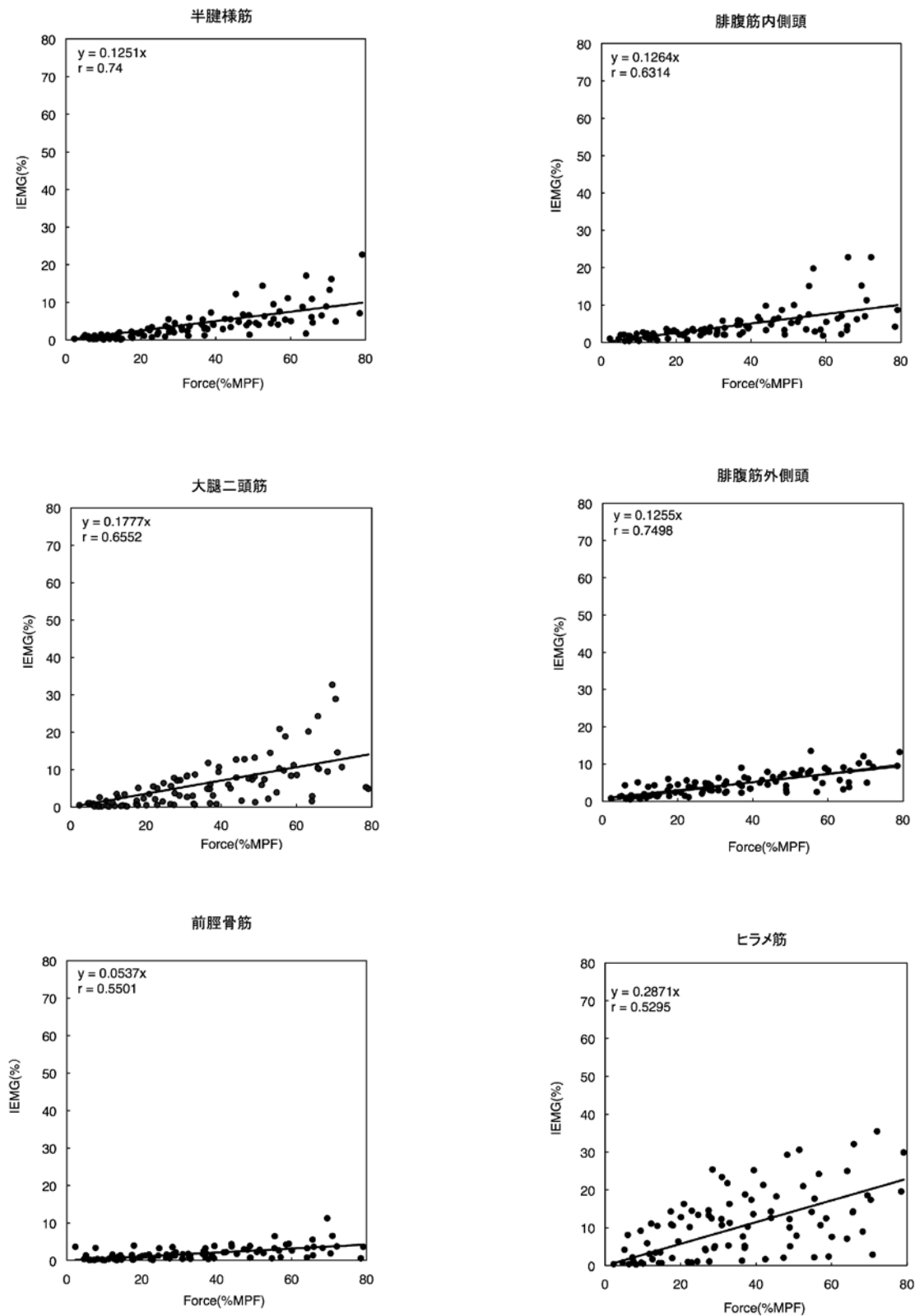


図3-b 足部出力と筋電図積分値の関係

腓腹筋内側頭：0.1264、腓腹筋外側頭：0.1264、ヒラメ筋：0.2871であった。また、相関係数 (r) は大殿筋：0.5291、中殿筋：0.6483、大腿筋膜張筋：

0.4772、内側広筋：0.7669、外側広筋：0.8057、大腿直筋：0.6602、半腱様筋：0.74、大腿二頭筋：0.6552、前脛骨筋：0.5501、腓腹筋内側頭：0.6314、腓腹筋

外側頭：0.7498、ヒラメ筋：0.5295であった。

考 察

CKC の概念は 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²⁾。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⁾。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⁵⁾。CKC の最大の特徴は二関節筋の抑制現象である⁶⁾。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。

%MPF に対する正規化した筋電図積分値 (%) の割合を示す回帰直線の傾きは値が大きいほどその筋肉のレッグプレスにおける寄与率が大きいと考えられる。レッグプレスにおいては最大下出力時においても最大出力時と同様に膝伸展の単関節筋である内側広筋と外側広筋の活動が最も大きいということが明らかとなった。一方、全出力過程において二関節筋である大腿直筋やハムストリングの活動は著明な低値を示した。我々の先行研究の結果では静止して両下肢で体重を支持する程度の荷重レベルでは広筋群は活動するが大腿直筋は電氣的にサイレントであることが判明している⁷⁾。しかし、表面筋電図では強力に収縮する広筋群のクロストークが混入するため電位が計測される。今回の計測は表面電極で計

測したため、実際の大腿直筋やハムストリングの活動はさらに小さなものであると考えられる。足関節底屈については、単関節筋であるヒラメ筋の活動が高い活動を示し、拮抗筋である前脛骨筋と二関節筋である腓腹筋の筋活動は低値を示した。股関節周りでは矢状面で足部反力が股関節に向かうため、大殿筋の筋活動が低値を示したものと考えられる。

ま と め

CKC 運動はスポーツ選手から虚弱高齢者まで幅広い領域において評価、治療として取り入れられている。レッグプレスの正常筋出力様式が最大下出力も含めて明らかになった。

最後に、本研究は日本学術振興会科学研究費補助金挑戦的萌芽研究（課題番号19650149）および吉備国際大学共同研究費の援助を受けたことを付記する。

Abstract

The present study assessed muscle recruitment pattern of the lower extremity under submaximal closed kinetic chain (CKC) conditions. Twelve healthy young male subjects (average age, 21.9 ± 1.4 years) were tested. The EMG activity from 12 muscles of the right lower extremity was monitored using surface electromyography. The most remarkable observation of this study was the EMG activities of the vastus medialis and vastus lateralis. During the CKC leg press, the activities of the vastus medialis and vastus lateralis were parallel with the force and greatest. On the other hand, the activities of the rectus femoris and hamstrings were parallel with the force but restrained. These findings suggest that bi-articular muscles of the lower extremity are restrained under submaximal CKC conditions.

参考文献

- 1) 河村顕治 (2000) 下肢閉運動連鎖における拮抗する単関節筋および二関節筋の協調筋活動パターン. 日本臨床バイオメカニクス学会誌 Vol.21: 271-274

- 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) 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