

フォワードランジ運動とスクワット運動における 大腿四頭筋活動の比較

三秋 泰一 立野 勝彦

要 旨

本研究の目的は、フォワードランジ運動（FL）、従来からのスクワット運動（SQ）および股関節内転を伴ったスクワット運動（SAD）の大腿四頭筋の活動を比較することであった。対象は、健常男性15名とし、被検者には3種類の運動（FL、SQ、SQA）を25回/分のリズムで行なわせた。筋活動量を比較するために積分筋電（IEMG）値を計算し、運動中のIEMGを最大等尺性収縮中のIEMGで除し正規化を行なった。また、外側広筋に対する内側広筋の比率（VM比）を求め運動間の比較を行なった。内側広筋の%IEMGは、屈曲初期においてFL（9.9%）と比較して有意にSAD（32.5%）が高かった。伸展終期においても同様の結果であった。内側広筋の最大%IEMGはFL、SQ、SQAでそれぞれ61.9%、40.6%、52.6%であった。外側広筋の最大筋活動量はFL、SQ、SQAでそれぞれ68.3%、49.6%、49.8%であった。大腿直筋の最大筋活動量はFL、SQ、SQAでそれぞれ43.5%、25.4%、29.1%であり、VM、VLよりも低い活動量であった。VM比では伸展初期を除いては1より小さかった。運動間でVM比の統計学的有意差は認められなかったが、SADのVM比は屈曲初期、屈曲中期それぞれ1.15、1.22で最も高い値を示した。従って、CKC運動での大腿四頭筋の筋力増強運動としてはFLが推奨される。結論として、大腿四頭筋のCKC運動において同筋全体の強化を目的とする場合と内側広筋のみの選択的収縮を目的とする場合では方法を変える必要がある。

Key words

electromyography, closed kinetic chain, forward lunge, squat

はじめに

大腿四頭筋は膝伸展の主動作筋であり、内側広筋、外側広筋、大腿直筋、中間広筋の4つの筋で構成されている。このうち、内側広筋は、膝関節の保護や支持性に重要な役割を担うほか、膝蓋骨の外側偏位を抑止する特異的な機能がある¹⁾。内側広筋は大腿四頭筋の中で早期に萎縮する筋でありかつ外側広筋と比較して筋力増強運動に対する反応が遅いという報告もあり^{2,3)}、大腿四頭筋筋力の維持や強化を目的とした運動療法では内側広筋への効果が期待される場合が少なくない。内側広筋優位の運動とは内側広筋の活動量が高値を示すか否かは問題ではなく、内側広筋と外側広筋の比が高値を示す運動を意味する⁴⁾とされている。

一方、下肢の筋力強化として、重垂バンドやサイベックスなどを利用した開運動連鎖（Open Kinetic

Chain：OKC）での運動とスクワット運動などの閉運動連鎖（Closed Kinetic Chain：CKC）での運動が一般的に行われている。特に、CKCでの運動は前十字靭帯再建術後の運動療法などでは近年重要視されている⁵⁾。このCKCにおける運動として、ランジ運動はフェンシングの突き動作にみられる片側下肢を前方に踏み込む動作で、下肢の支持性と運動性を高めるトレーニングとして用いられる⁶⁾。また、スクワット運動はCKCでの筋力強化法として広く臨床において用いられている。しかし、ランジ運動は、スクワット運動と比較して片側下肢にかかる荷重量が多い。そのため、ランジ運動は、筋力増強効果を目的とした運動としてより適しているのではないかと考えられる。

そこで、本研究の目的は、CKCにおける下肢のトレーニング法であるランジ運動とスクワット運動の

大腿四頭筋の活動量を比較することと、運動の違いによる内側広筋と外側広筋の活動比率を検討することである。

対象および方法

1) 対 象

対象は、測定手段、運動方法を口頭にて十分に説明し、実験に同意を得た下肢に整形外科疾患の既往のない健常男性15名とした。平均年齢は 20.8 ± 1.3 歳、平均身長は 170.4 ± 4.9 cm、平均体重は 60.8 ± 5.7 kgであった。

2) 方 法

(1) 運動方法

被検者には、右脚を一步前に出した状態で右膝を屈伸させるフォワードランジ (FL) と足幅を肩幅とした通常のスクワット (SQ) および膝に直径24cmの球状のスポンジを挟み、股関節を可能な限り内転位に保持させながらのスクワット (SQA) の3種類の運動を行わせた。ランジ運動を行う際、体幹は極力垂直に保持するように、また、前方へ踏み出した下肢に可能な限り荷重するように指示した。FL、SQ、SQAともに膝関節 80° 程度屈曲するように練習させた後、測定した。各運動は、デジタルメトロノームに合わせて25回/分のリズムで行わせた。

(2) 表面筋電図測定方法

表面筋電図 (以下、EMG) は、膝関節伸筋群の最大等尺性収縮中とFL、SQ、SQA中に測定した。筋電図の記録にはAP1000 (株式会社デジテックス研究所製) を用い、筋電信号およびトリガー信号をA/D変換装置にて16bitでA/D変換し、パーソナルコンピュータ内に記録した。サンプリング周波数は1000Hzとし、バンドパスフィルターは20~500Hzとした。EMGは右下肢の大腿直筋 (RF)、内側広筋 (VM)、外側広筋 (VL) から双極誘導にて導出した。電極は、銀—塩化銀のディスポーザブル電極 (Blue sensor) を用い電極間距離は約2cmとした。電極貼付部位はVM、VLについてはCowanら⁷⁾と同様の部位とし、RFについてはBasmajian⁸⁾の推奨する部位に貼付した。また、電極貼り付けに先立ち皮膚前処理剤にて皮膚抵抗を5k Ω 以下とした。

(3) 動作解析方法

動作解析は、運動時の膝関節角度を確認し、FLの運動相を屈曲相と伸展相とに分けるために行った。直径1cmの反射マーカを左右の肩峰、大転子、膝蓋骨の中央の高さで前後計の後ろ1/3の位置、外果、第5中足骨頭に貼り付け、運動をカメラ (PHOTRON社製FASTCAM-Net) 3台を用い125フレーム/秒で撮影した。撮影された運動は、三次元解析ソフト (DKH社製Frames DIAS II) を用い、

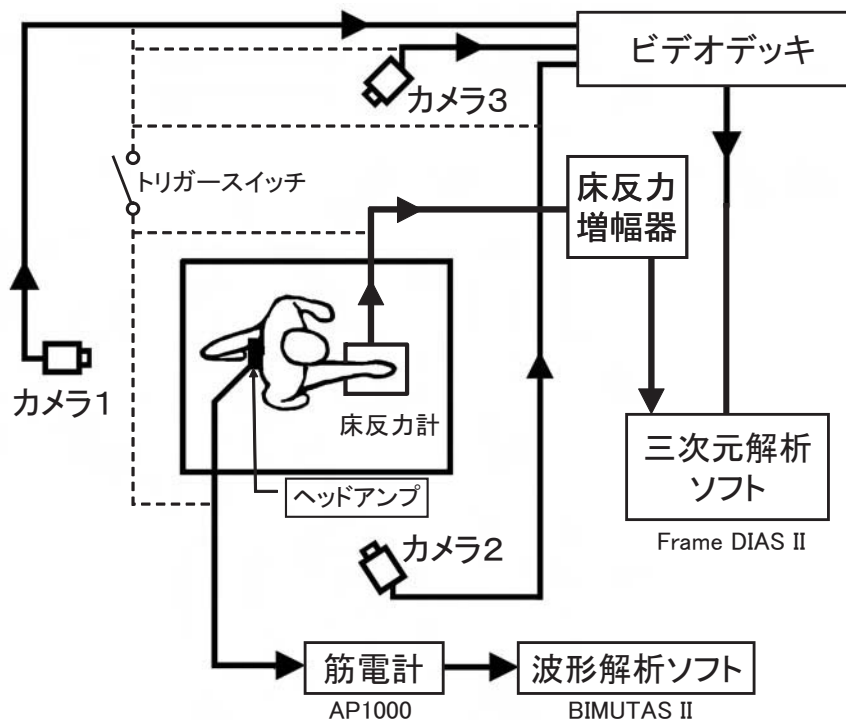
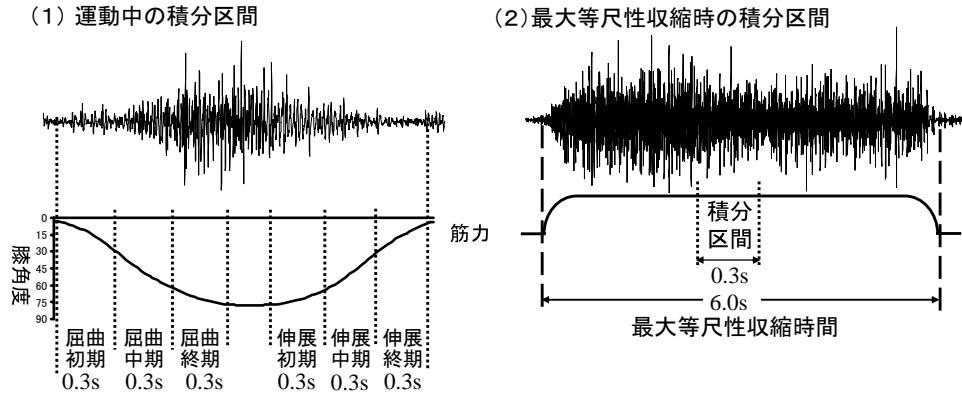


図1. 測定システム図



(3) 筋電図の正規化

$$\%IEMG = \frac{IEMG_{ex}}{IEMG_{max}} \times 100$$

図 2. 筋電図データ処理方法

%IEMG : 正規化筋電積分値

IEMG_{ex} : 運動中のそれぞれの区間 (0.3秒間) での筋電積分値

IEMG_{max} : 最大等尺性収縮中の中央0.3秒間の筋電積分値

解析を行なった(図 1)。カメラ撮影はトリガー信号により開始した。

(4) 最大筋力測定

Lumex 社製 Cybex770-Norm を用いて膝関節伸筋群の等尺性収縮による最大筋力を測定した。膝関節伸筋群の測定は、膝関節60°屈曲位で固定して行った。測定は、最大等尺性収縮を6秒間行い、20秒間の休憩をはさんで3回行ない、3回中の最大値を最大筋力とした。

データ処理方法

筋電図波形の処理はBIMUTAS II (キッセイコムテック株式会社) を用い、それぞれの運動を屈曲相と伸展相に分け、さらに、それぞれの相を0.3秒間ずつの3区間に分けた (屈曲初期、屈曲中期、屈曲終期、伸展初期、伸展中期、伸展終期)。そして、分けた0.3秒間の筋電図を積分した。最大随意等尺性収縮 (MVC) 中の筋電図は筋電図波形の安定する中央0.3秒間を積分した。運動中の積分筋電値 (IEMG_{ex}) は、MVC中の積分筋電値 (IEMG_{max}) で除すことによって正規化した (図 2)。その後、正規化したVM (%IEMG_{VM}) を正規化したVL (%IEMG_{VL}) で除し、VMのVLに対する比率 (VM比) を算出した。

統計学的検定方法

FL、SQ、SQAともに3回の運動中のVM、VL、

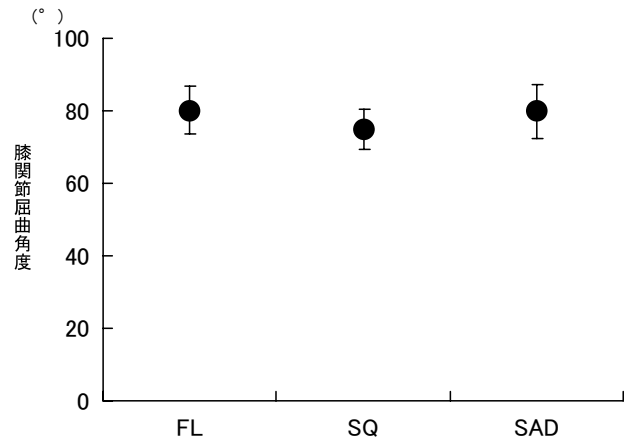


図 3. 運動種類別膝関節最大屈曲角度

FL: フォワードランジ

SQ: スクワット

SQA: 股関節内転を伴ったスクワット

RFの% IEMGの平均値を代表値とした。動作間での比較は一元分散分析を行い、多重比較には Bonferroniの方法を用いて行なった。統計解析ソフトにはSPSS ver. 11Jを使用した。

結 果

1) 関節角度について

大転子のマーカーと膝のマーカーを結んだ線と膝のマーカーと外果のマーカーを結んだ線とのなす角を膝関節角度とした。運動間での膝関節屈曲角度の比較では、有意差は認められなかった (図 3)。

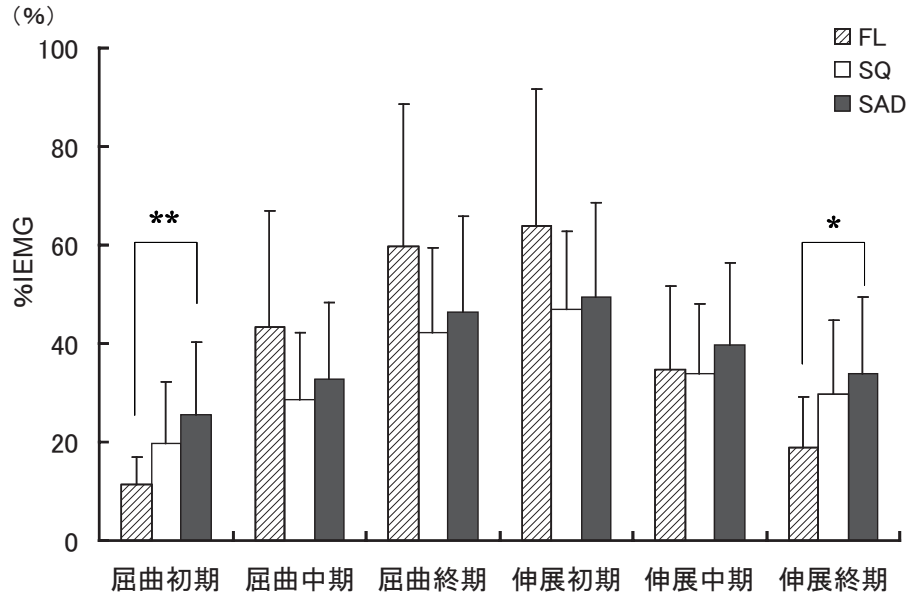


図4. %IEMG (VM) の運動間での比較
FL: フォワードランジ
SQ: スクワット
SQA: 股関節内転を伴ったスクワット
*: $p < 0.05$

2) VMの筋活動について

屈曲初期においてFLが9.9%であるのに対し、

表1. %IEMGの運動区間間での比較

| | VM | | |
|------|----------------|----------------|--------------|
| | FL | SQ | SAD |
| 屈曲初期 | 9.9 ± 7.4 | 21.0 ± 17.0 | 32.5 ± 33.8 |
| 屈曲中期 | 39.4 ± 24.1** | 28.4 ± 14.2 | 40.3 ± 29.3 |
| 屈曲終期 | 58.9 ± 37.9** | 37.6 ± 20.3* | 52.6 ± 43.2 |
| 伸展初期 | 61.9 ± 37.7**† | 40.6 ± 13.6**† | 50.4 ± 35.6* |
| 伸展中期 | 24.0 ± 10.6 | 25.1 ± 12.1 | 30.1 ± 18.9 |
| 伸展終期 | 12.6 ± 8.8 | 21.6 ± 15.0 | 27.1 ± 18.2 |

| | VL | | |
|------|----------------|---------------|---------------|
| | FL | SQ | SAD |
| 屈曲初期 | 11.6 ± 5.7 | 20.2 ± 12.1 | 25.7 ± 14.4 |
| 屈曲中期 | 44.9 ± 23.7** | 29.2 ± 13.1 | 32.9 ± 15.0 |
| 屈曲終期 | 61.4 ± 28.8** | 42.1 ± 16.5** | 47.0 ± 18.8** |
| 伸展初期 | 68.3 ± 32.4**† | 49.6 ± 18.4* | 49.8 ± 18.8 |
| 伸展中期 | 37.0 ± 18.3 | 36.0 ± 16.5 | 41.1 ± 16.9 |
| 伸展終期 | 21.6 ± 14.3 | 31.9 ± 17.1 | 34.9 ± 15.5 |

| | RF | | |
|------|----------------|--------------|--------------|
| | FL | SQ | SAD |
| 屈曲初期 | 6.4 ± 5.1 | 12.2 ± 10.1 | 13.8 ± 9.8 |
| 屈曲中期 | 29.2 ± 20.5** | 16.9 ± 10.5 | 20.8 ± 13.6 |
| 屈曲終期 | 43.5 ± 23.6** | 25.4 ± 16.4* | 29.1 ± 21.1* |
| 伸展初期 | 41.0 ± 25.7**† | 21.3 ± 12.1 | 25.7 ± 13.2 |
| 伸展中期 | 14.5 ± 11.3 | 17.9 ± 11.9 | 17.9 ± 10.3 |
| 伸展終期 | 9.6 ± 8.8 | 16.4 ± 11.3 | 17.0 ± 11.6 |

*, **: 屈曲初期あるいは伸展終期と比較 ($p < 0.05$, $p < 0.01$)

†: 屈曲中期あるいは伸展中期と比較 ($p < 0.01$)

SQAが32.5%と有意に高い筋活動を示し、伸展終期においてもFLは12.6%、SQAは27.1%と同様の結果を示した (図4)。

運動区間間での比較 (表1) では屈曲相において、FLでは屈曲初期に対し屈曲中期と屈曲終期がそれぞれ有意に高く、SQでは屈曲初期に対し屈曲終期が有意に高かった。伸展相においてはFLでは、伸展終期に対し伸展初期が有意に高く、伸展中期に対して伸展初期が有意に高かった。SQでも同様に伸展終期、伸展中期に対して伸展初期が有意に高かった。SQAにおいては伸展初期と伸展終期との間のみ有意差が認められた。

3) VLの筋活動について

屈曲初期において、FLが11.3%であるのに対しSQAが25.5%と有意に高い筋活動を示した (図5)。屈曲中期、屈曲終期にはFLでそれぞれ43.4%、59.7%となりSQおよびSQAより筋活動が高くなったが統計学的には有意差は認められなかった。また、伸展初期ではSQAは49.3%、FLは63.8%で有意差は認められなかったがFLの筋活動が高い傾向を示した。筋活動量はFLの伸展初期が最も高かった。

運動区間間での比較 (表1) では、FLにおいては屈曲初期に対し屈曲中期と屈曲終期がそれぞれ有意に高く、SQとSQAでは屈曲初期に対し屈曲終期が有意に高かった。伸展相においては、FLでは伸展終期に対し伸展初期が有意に高く、伸展中期に対し

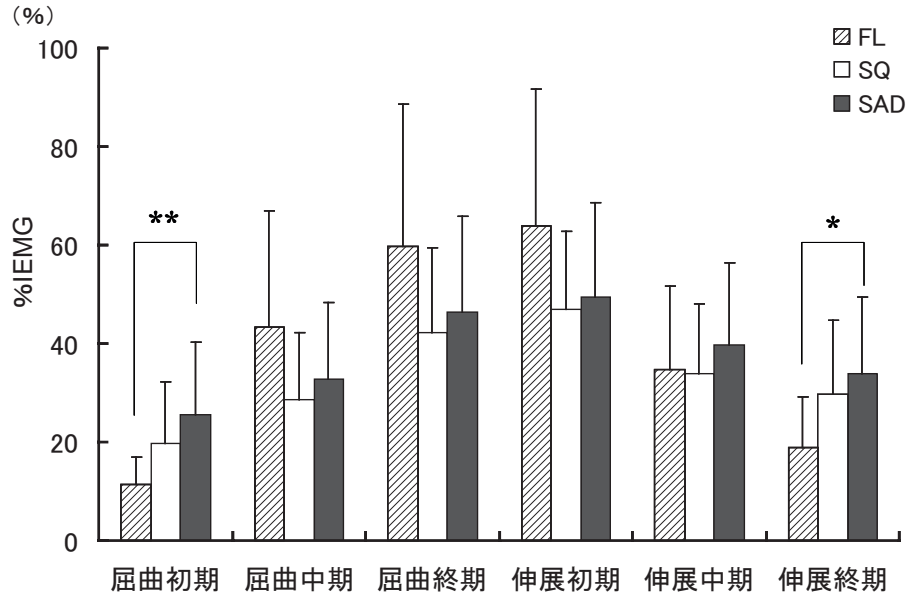


図 5. %IEMG (VL) の運動間での比較

FL: フォワードランジ

SQ: スクワット

SQA: 股関節内転を伴ったスクワット

*: $p < 0.05$

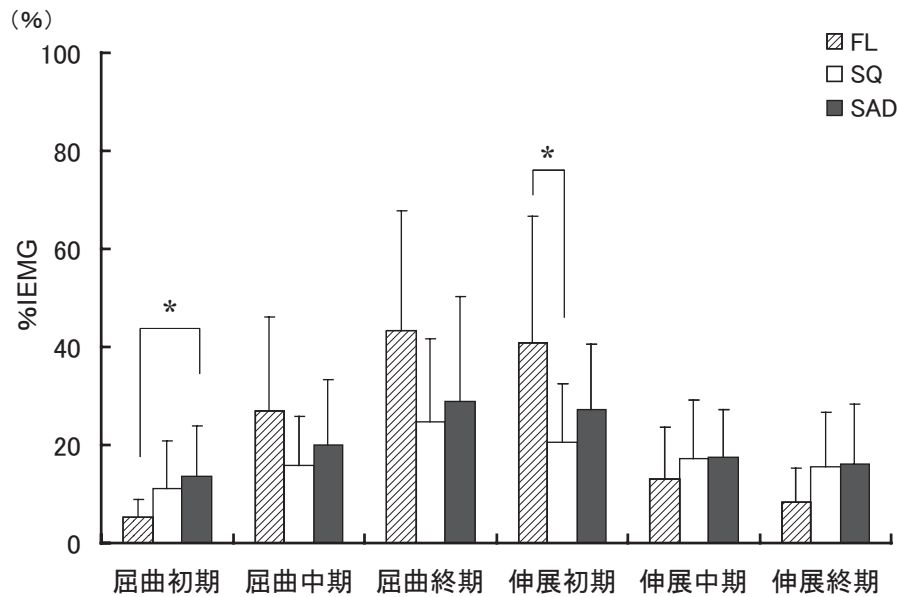


図 6. %IEMG (RF) の運動間での比較

FL: フォワードランジ

SQ: スクワット

SQA: 股関節内転を伴ったスクワット

でも伸展初期が有意に高かった。SQは伸展終期に対し伸展初期が有意に高かった。SQAは伸展相における有意差は認められなかった。

4) RFの筋活動について

屈曲初期におけるFLとSQAの間および伸展初期におけるFLとSQの間に有意差を認めた (図 6)。

運動区間間での比較 (表 1) では、FLにおいては

屈曲初期に対し屈曲中期と屈曲終期がそれぞれ有意に大きく、SQとSQAでは屈曲初期に対し屈曲終期が有意に大きかった。伸展相においては、FLでは伸展終期に対し伸展初期が有意に大きく、伸展中期に対して伸展初期が有意に大きかった。SQおよびSQAは伸展相においては有意差は認められなかった。

表 2. 運動種類別VM比

| | 屈曲初期 | 屈曲中期 | 屈曲終期 | 伸展初期 | 伸展中期 | 伸展終期 |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| FL | 0.98±0.73 | 1.01±0.66 | 1.05±0.67 | 1.00±0.49 | 0.80±0.46 | 0.68±0.39 |
| SQ | 1.12±0.77 | 1.00±0.52 | 0.97±0.52 | 0.95±0.46 | 0.75±0.33 | 0.69±0.33 |
| SQA | 1.15±0.80 | 1.22±0.66 | 1.07±0.59 | 1.04±0.53 | 0.78±0.35 | 0.74±0.34 |

FL: フォワードランジ

SQ: スクワット

SQA: 股関節内転を伴ったスクワット

5) VM比の比較 (表 2)

屈曲相、伸展相ともに運動初期、中期、終期にかかわらず、運動間での相違は認められなかった。しかし、屈曲相においては常に 1 に近い値 1 以上であり、屈曲初期から屈曲中期にかけてはSQAでFLより高い傾向を示した。伸展相においては伸展初期を除いては0.68~0.80と 1 より低かった。

考 察

CKC運動はOKC運動に比べて筋力増強効果が高いと報告されている⁹⁻¹¹⁾。SQは、CKC運動のひとつであり、下肢の筋力トレーニングとして広く用いられている。しかし、市橋¹²⁾はCKC運動による大腿四頭筋力の増強効果については否定的な報告も多いと述べている。ランジ運動は、スクワット運動に比べて筋に負荷がかかる運動であるため筋力増強効果はスクワット運動に比べて高いと考えられるが、筋活動量をスクワットとフォワードランジで比較し詳細に報告したものはほとんど見当たらない。そこで、我々はスクワット運動として従来のSQとSQAとFLを行なわせ、その時の筋活動量を比較した。その結果、SQでのVM、VL、RFの筋活動量は池添ら¹³⁾の30回/分での運動速度での結果と類似していた。Earlら¹⁴⁾は膝屈曲0~30°でのSQとSQAとの間のVMの活動量、VLの活動量、VM比を比較しており、SQAでのVM、VLの活動量は、それぞれ34%、32%であった。我々の結果もほぼ同様であった。

筋活動量は3筋ともにFLは屈曲相で屈曲中期に比べて有意に増加しており、SQ、SQAに比べて筋活動量が増える時期が早く、FLでの最大筋活動量はVM、VLについてはそれぞれ62%、68%を示した。FLとSQおよびSQAとの間の活動量に有意差は認められなかったがSQ、SQAの活動量が40~50%であることを考えると自重のみの負荷ではFLの方が筋力増強運動としては適していると考えられる。McArdleら¹⁵⁾は筋力増強率の効果的な筋活動量は最大収縮時のその60~80%であると述べている。

従って、自重のみのSQやSQAではVM、VLに対する筋力増強効果を期待するには不十分であると考えられる。RFの活動量はFLでも43%でありSQ、SQAにいたっては30%以下という低い活動量であるため、RFについてはFL、SQ、SQAのどれも筋力増強効果は低いと考えられる。

VM比について平塚ら¹⁶⁾は、筋収縮の程度が大きくなるほど1に集中するとしており、日常生活の膝蓋骨の安定性を得るという意味で合理的であると述べている。本研究結果においても同様の傾向が認められた。VM比の運動間における違いは認められなかったが、伸展相においては伸展初期を除けば0.80以下であり、VMの選択的収縮を目的とする場合は、本研究で用いたどの運動においても伸展相では避けるべきではないかと思われる。屈曲初期から屈曲中期にかけてVM比はSQでは下降しているのに対してSQAはわずかながら上昇している。また、FLもSQAと同様に上昇傾向にあるが、FLのVM比は1.01とSQAに比べて低い値を示した。これらの所見により、VMの選択的収縮を目的とする場合は、0~60°程度の範囲の屈曲相を強調したSQAでのトレーニングが適するのではないかと思われる。また、VM比が屈曲相でどの運動においても1か1以上であり、伸展相では伸展初期を除き0.8以下であったことから考えると、伸展相では内側広筋の選択的強化としては適さないことが示唆される。

今回の運動条件ではFLのみが60%以上の筋活動量を示したが、運動速度や動作形態によって筋活動に相違があることが報告されており^{17・18)}、今後は、運動速度や動作形態または負荷量を変化させ、フォワードランジとの違いの検討が必要と考えられる。

Acknowledgment

The author's appreciation is addressed to Mrs. Sandra M. Ogiwara, CSP(UK), HT(UK), CPA(C), BScPT(C), for her review and advice on the abstract.

文 献

- 1) Basmajian JV: Re-education of vastus medialis: a misconception. Arch Phys Med Rehabil 51: 245-247, 1970
- 2) Grana WA, Kriegshauser, LA: Scientific basis of extensor mechanism disorders. Clin. Sports Med 4: 247-25, 1985
- 3) Insall J: Current concept view: patella pain. J Bone Surg Am 64: 147-152, 1982
- 4) 矢形幸久: 内側広筋優位の大腿四頭筋強化訓練に対する研究, リハ医学 35: 556-562, 1998
- 5) 河村顕治: 膝関節におけるOpen Kinetic ChainとClosed Kinetic Chain, 臨床リハ 5: 186-189, 1996
- 6) 佐藤陸美: フォワードランジ運動における踏み込み動作の運動特性, 理学療法学Suppl 29: 155, 2002
- 7) Cowan SM, Bennell KL, Hodges PW, et al: Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subject with patellofemoral pain syndrome. Arch Phys Med Rehabil 82: 183-189, 2001
- 8) Basmajian JV: Biofeedback. Principles and Practice for Clinicians. Williams and Wilkins, Baltimore, pp 363-377, 1983
- 9) Bynum EB, Barrack RL, Alexander AH: Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized study. Am J Sports Med 23: 401-406, 1995
- 10) 市橋則明, 羽崎 完, 森永敏博, 他: 股関節内転動作が膝周囲筋活動に与える影響 closed kinetic chainにおける内側広筋斜頭の選択的訓練の検討, 運動・物理療法 8: 70-75, 1997
- 11) Hodges PW, Richardson CA: The influence of isometric hip adduction on quadriceps femoris activity. Scand J Rehab Med 25(2): 57-62, 1993
- 12) 市橋則明: Open Kinetic ChainとClosed Kinetic Chain, PTジャーナル 33: 836-838, 1999
- 13) 池添冬芽, 市橋則明, 万久里知美, 他: スクワット動作における速度の違いが下肢の筋活動に及ぼす影響について, 運動・物理療法 11: 51-57, 2000
- 14) Earl JE, Schmitz RJ, Arnold, BL: Activation of VMO and VL during dynamic mini-squat exercises with and without isometric hip adduction. J Electromyogr Kinesiol 11: 381-386, 2001
- 15) McArdle WD, Katch FI, Katch VL: Exercise Physiology. Energy Nutrition and Human Performance. Lea & Febiger, Philadelphia, p 385, 1986
- 16) 平塚香奈子, 内形千家: 内側広筋と外側広筋の筋活動比に関する筋電図学的検討, 東北理学療法学 10: 53-56, 1998
- 17) 真鍋芳明, 横澤俊治, 尾縣 貢: 動作形態の異なるスクワットが股関節と膝関節まわりの筋の活動および関節トルクに与える影響, 体力科学 53: 321-336, 2004
- 18) 真鍋芳明, 横澤俊治, 島田一志, 他: スクワットにおける運動速度変化および反動動作の有無が股関節と膝関節まわりの筋の活動および関節トルクに与える影響, 体力科学 53: 425-442, 2004

Electromyographic activity of vasti medialis and lateralis and rectus femoris during the performance of forward lunge and two squat tasks

Hiroichi Miaki, Katsuhiko Tachino

Abstract

PURPOSE: There are few reports that have compared the activity of the quadriceps femoris during closed kinetic chain (CKC) exercises such as forward lunge and squat. The purpose of this study was to compare electromyographic activities (EMG) of the vasti medialis and lateralis and rectus femoris while performing forward lunge (FL), squat (SQ) and squat with isometric hip adduction (SQA). **RELEVANCE:** This study would contribute to finding selective strengthening exercises for the vastus medialis. **PARTICIPANTS:** Sixteen healthy men carried out these 3 tasks at a speed of 25 times per min. **METHODS:** Following the conversion of the raw EMG recordings into integrated values (IEMG), IEMGs were normalized by dividing the ones of those recorded during the performance of these tasks by those during isometric maximum volitional contractions, thereby culminating in a normalized integrated EMG (%IEMG). The ratio of %IEMG of the vastus medialis to that of the vastus lateralis (VM ratio) was compared among the 3 tasks. **ANALYSIS:** A one-way analysis of variance was used, followed by Bonferroni post hoc test to analyse the data. **RESULTS:** The %IEMG of the vastus medialis was significantly greater for the SQA (32.5%) than that for the FL (9.9%) during the initial flexion period. During the final extension period the %IEMG of the vastus medialis was the same as for that during the period of initial flexion. The maximum %IEMG of the vastus medialis for FL, SQ and SQA was 61.9%, 40.6% and 52.6, of the vastus lateralis, 68.3%, 49.6% and 49.8% and, of the rectus femoris, 43.5%, 25.4% and 29.1%, respectively. The activity of the rectus femoris was smaller than that of the vasti medialis and lateralis during the performance of the 3 tasks. The VM ratio was smaller than 1, except during the initial extension period of the 3 tasks, and no significant difference was evident among the 3 tasks for the VM ratio. However, the VM ratio for SQA was found to be 1.15 and 1.22 during initial flexion and the intermediate flexion periods, respectively. **CONCLUSION:** FL is recommended as a choice for strengthening of these muscles in a CKC condition. Further, these findings suggest that co-contraction of the hip adductors may be required to generate a greater vastus medialis force. **IMPLICATION:** Quadriceps femoris strengthening in CKC conditions may vary in method according to the targeted muscle(s) in question.