研究報告



健常成人に対する内側広筋斜走線維の トレーニング肢位の検討*

増田一太1)2)

【要 旨】

本研究の目的は、膝蓋骨脱臼後の症例に対する効果的な内側広筋斜走線維(Vastus medialis oblique muscle:以下、VMO)のトレーニング肢位を明らかにすることである。同症例に対するトレーニング肢位は、再脱臼のリスクから膝関節に対し低負荷、かつVMOの機能・筋力低下が基盤にあるため、VMOを選択的にトレーニングできる肢位が合理的である。そこで健常成人男性10名を対象に股関節内転位、中間位、外転位で等尺性膝伸展運動を行い、表面筋電図と等速性筋力測定器から得られた値から検討した。結果は膝伸展トルクにおいて、内転位が中間位の値と比べ有意に低値を示し、表面筋電図は外側広筋の筋活動が外転位に比べ内転位の値が有意に低値を示した。これらから、股関節内転位の膝関節伸展運動は、膝蓋骨再脱臼の危険性が低く、かつVMOを効果的にトレーニングできる肢位である可能性が示唆された。

キーワード:膝蓋骨脱臼,内側広筋斜走線維,トレーニング肢位

背黒

膝蓋骨脱臼は全膝関節損傷の約3%を占め¹⁾,活動性の高い若年者に多く大部分は、スポーツ活動や身体活動により生じさせる可能性¹⁻⁴⁾がある.膝蓋骨脱臼後の長期間に亘る膝蓋骨不安定性は疼痛や再脱臼、さらには膝蓋大腿関節の関節症性変化を生じさせる危険性が存在する⁵⁾⁶⁾.膝蓋脱臼の発生要因として滑車低形成、膝蓋骨高位⁷⁾や外側膝蓋支帯の硬さ⁸⁾が基盤として挙げられる.また初回脱臼時には、内側膝蓋大腿靱帯損傷や内側広筋斜走線維(Vastus medialis oblique muscle:以下、VMO)の裂傷などの膝内側支持機構の損傷⁹⁾を伴うことや、手術療法による過剰な外側膝蓋支帯のリリースに伴う内側膝蓋骨不安定性が問題¹⁰⁾¹¹⁾

* Effective training position of the vastus medialis oblique muscle in healthy adults

- 1) いえだ整形外科リハビリクリニック リハビリテーション科 (〒 478-0066 愛知県知多市新知西町 10-11) Kazuto Masuda, RPT: Ieda Orthopedic Rehabilitation Clinic
- 2) 立命館大学 BKC 社系研究機構客員研究員
- # E-mail: masu_voyage2009@yahoo.co.jp

となることが指摘されている。これらより膝蓋骨脱臼を伴うケースは膝蓋大腿関節の静的・動的安定化機構が脆弱であり、理学療法を行う上で大きな問題となってくる。膝蓋大腿関節の不安定性はVMOの弱化との因果関係が強い¹²⁻¹⁴⁾。VMOの弱化がある場合、膝伸展 0-15°の可動域にて膝蓋骨外側移動量を増加¹⁵⁾ させ、大腿四頭筋、特にVMOの機能改善は膝蓋大腿関節の不良トラッキングに対し拮抗作用を有し^{16) 17)}、VMOの活性化¹⁸⁾ や強化^{7) 19) 20)} は特に重要である。

しかし、膝蓋大腿関節の不安定性に対するトレーニングを行う場合、内側広筋(Vastus medialis muscle:以下、VM)やVMOの機能不全や筋萎縮が存在する。このようなVMOが弱化している状況下での膝伸展運動時には、筋断面積の大きい他の広筋群や大腿直筋(Rectus femoris muscle:以下、RF)が代償的に作用することが予想される。そのため、これらの筋活動を抑制、かつVMOのみの高い筋活動を選択的に望めるトレーニング肢位が理想的であると考える。大腿四頭筋各頭の選択的な筋収縮についてBarneyら²¹⁾ は下腿外旋位での膝伸展運動により外側広筋(Vastus lateralis muscle:以下、VL)と内側広筋の活動比率が変

化する事を筋電図学的に示し,他の骨格筋同様,同一筋内での筋活動が変化することを報告している.大腿四頭筋各頭の活動様式の変化について Hoddges ら $^{22)}$ は股関節内転動作により大内転筋の 収縮によって VMO の筋活動が高まると報告している.一方 Earl ら $^{23)}$ は,股関節内転運動を組み合わせた膝伸展運動で VMO の選択的な活動は認められず,VL の活動の減少を認めたと報告している.このように,必ずしも VM や VMO が選択的な筋活動量の増加を示しておらず一定の見解が得られていないものの,股関節肢位により大腿四頭筋各頭の活動量が変化することは間違いないようである.

内側膝蓋骨不安定性を認める症例に対するトレーニングにおいて、大きな筋活動量を得るために筋への刺激量ばかりを追求した運動は、内側膝蓋大腿関節へのストレスを増強させ症状の悪化を招く恐れがある。そのため、膝蓋大腿関節への負荷量や大腿四頭筋作用ベクトルを考慮する必要があるが、多くの報告はVMやVMOの筋放電量やVLに対する活動比率の比較に主眼が置かれるものの、関節トルクを考慮した検討は行われていない。そこで今回、健常成人を対象に膝関節伸展トルクが最も低負荷かつ最もVMOを選択的に筋肥大させることのできるトレーニング肢位を検討する。

方法

1. 対象

対象は膝・股関節に整形外科疾患のない健常男性 10名(平均年齢 23 ± 4.5歳, 平均身長 172 ± 3.1 cm, 平均体重 66 ± 2.1 kg)を対象とした. 被験者には,事前に本研究の目的,内容,考えられるリスクについての説明を行い実験参加の了解を得た.

なお本研究は、ヘルシンキ宣言に基づき実験を 実施した.

2. 膝関節伸展時の実験を実施した測定条件

計測に際し股関節内外転 0°(以下,中間位,図 1),股関節外転 45°(以下,外転位,図2),股関 節最大内転位(以下,内転位,図3)からそれぞ れ膝関節 90°屈曲位からの等尺性伸展運動を実施 した.全ての被験者において測定対象を右側とし

実験前に膝関節屈曲 90°位で最大等尺性膝伸展 運動を各肢位 3 秒間ずつを 3 回ランダムに実施 後,休憩 1 分をはさみ計測を行った.なお, Open Kinetic Chain において膝関節 50-90°間の膝関節伸展運動は膝蓋骨の安定性が高い 6) ため、膝蓋骨不安定性を有するケースを想定し膝関節 90°屈曲位を開始肢位とした。運動の順番は順序効果を除く





図 1. 股関節中間位の肢位

測定肢位は、左右の上前腸骨棘が膝関節伸展軸と平行となり、股関節内外転、内外旋中間位、膝関節 90°屈曲位となるように環境設定した。また骨盤傾斜は前後傾中間位とし、これらの姿勢を実験中も維持し膝伸展運動を行った。





図 2. 股関節外転位の肢位

測定肢位は、体幹を非検査側(左側)下肢へ最大回旋した場合、検査側下肢は固定されている状況下であるため相対的に右側股関節が外転位、内外旋中間位、膝関節90°屈曲位となるように環境設定した。また骨盤傾斜は前後傾中間位とし、これらの姿勢を実験中も維持し膝伸展運動を行った。





図3. 股関節内転位の肢位

測定肢位は,体幹を検査側(右側)下肢へ最大回旋した場合,検査側下肢は固定されている状況下であるため相対的に右側股関節が内転位,内外旋中間位,膝関節90°屈曲位となるように環境設定した.また骨盤傾斜は前後傾中間位とし,これらの姿勢を実験中も維持し膝伸展運動を行った.

ため, ランダムに設定した.

3. 膝関節伸展トルク計測

膝関節伸展トルクの計測はBiodex System4 (Biodex 社製)を用い、膝関節90°屈曲位での膝伸展運動を最大等尺性収縮により行った。計測時に体の反動や測定肢位が変化しないように体幹や腰部をベルト固定した。計測時間は最大等尺性収縮を少なくとも1秒以上全力で力発揮を行うよう指示した²⁴⁾.

4. 筋電図計測

表面筋電図の測定と解析には日本光電工業社製多チャンネルテレメータ―システムWEB-7000を用いサンプリング周波数は1,000Hzとした.送信機であるテレメータピッカ(ZB-700)を、皮膚前処理剤にて十分な皮膚処理をした後にRF,VMO,VLに対し貼付した.RFはSurface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles(以下、SENIAM)を参考²⁵⁾に、膝蓋骨上部から上前腸骨棘を結ぶ線の50%部位に貼付した.VMOは上前腸骨棘を結ぶ線の50%部位に貼付した.VMOは上前腸骨棘と内側側副靭帯前縁の関節裂隙(膝蓋骨上内側縁の内側)を結ぶ線分の遠位8/10部位、加えて大腿骨軸に対し15°位に貼付線分の遠位2/3(SENIAM)に貼付した.テレメー

タピッカからの生体信号をベルト式送信機である バイオリピータ (ZB-700H) により中継し、受信 機 (ZR-700H) へ送信した. 受信機は USB で専用 のパーソナルコンピューター (CC-700H) に接続 し、受信したデータの波形を表示して保存した.

5. データ解析

解析は実験で得られた膝関節伸展トルク値と表面筋電図の2つに対し行った.膝関節伸展トルク値は等速性筋力測定器から最大トルク値を記録した.計測した筋電図データはPowerLab16/30(AD Instruments, Japan)に入力し,データ処理にはLabChart7(AD Instruments, Japan)を使用した.なお等速性筋力測定器と筋電図計は同期しており,最大トルクが得られた時点から1秒間のRoot mean square(以下,RMS)を算出²⁷⁾した.すべての測定項目は平均値 ± 標準偏差値で表した.統計処理は、SPSS 社製統計解析ソフトウェア SPSS 12.0Jを用い,一元配置分散分析の後にTukey 法により行った.いずれも有意水準5%未満を以て統計的に有意とした.

結果

1. 膝関節伸展トルク

膝関節伸展トルク(図 4)は、中間位 $192 \pm 35.2 \text{ Nm}$ 、外転位 $155 \pm 12 \text{ Nm}$ 、内転位 $126.3 \pm 14.5 \text{ Nm}$ であった、中間位に比べ内転位は有意に低値を認めるのみであった(p < 0.05).

2. 表面筋電図

表面筋電図は、RF(図 5)は中間位 0.71 ± 0.22 mV、外転位 0.72 ± 0.23 mV、内転位 0.35 ± 0.09 mV であり、中間位と内転位の間に有意差を認めた(p < 0.05). VMO(図 6)は中間位 0.98 ± 0.32 mV、外転位 0.99 ± 0.28 mV、内転位 0.90 ± 0.37

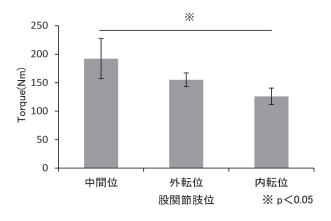


図 4. 各股関節肢位における膝関節伸展トルク

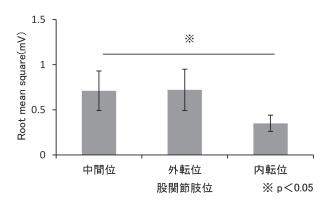


図 5. 大腿直筋の表面筋電図

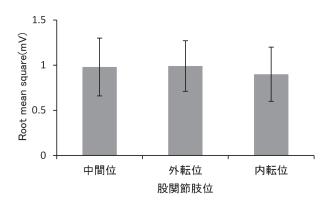


図 6. 内側広筋斜走線維の表面筋電図

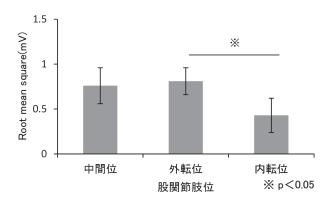


図 7. 外側広筋の表面筋電図

mV であり有意差を認めなかった. VL(図 7)は中間位 0.76 ± 0.2 mV,外転位 0.81 ± 0.15 mV,内転位 0.43 ± 0.19 mV であり外転位と内転位の間 (p<0.05) に有意差を認めた.

考察

膝蓋骨脱臼例は受傷時に静的・動的内側支持機構の脆弱性と膝蓋骨を外側へ牽引する素因を有しているため、トレーニングのための強い膝伸展力

は内側膝蓋大腿靱帯などに過大なストレスを与える可能性がある. そのため, トレーニングの際に生じる膝関節伸展トルクは小さい方が, 膝関節内側支持機構へのストレスが軽減し治癒機転を阻害しない. 今回の結果(図4)は, 中間位における膝伸展トルク値が他の肢位と比較し最も高い値を示し, 特に内転位に比べ有意に高値であった. 中間位における膝伸展運動は大腿四頭筋に対し最も負荷を与えやすい肢位であることが分かった. 反対に最も膝伸展トルクが低値であったのは内転位であった.

膝伸展トルクは主に大腿四頭筋により供給されるが、単関節筋を含む大腿四頭筋の筋出力は長さ・張力曲線には従わないことが報告されている。その傾向は他の筋においても同様な現象である様である。29)30).筋出力は日常的に多用する関節肢位において最も発揮しやすいことが多く、特異性の原則31)や中枢神経系の興奮性による調節32)が優位に支配している可能性が高いものと考えらえる。今回の結果もこのような背景から、股関節内転位で行う膝伸展運動が非日常的な肢位であるため、特異性の原則や中枢神経系調節機構の調節機構が未成熟となり、最も膝伸展トルクが低値を示したのではないかと考えられた。

これらの関節トルクの結果から、内転位での膝伸展運動は、中間位に比べ有意に膝蓋大腿関節に対し低負荷でトレーニングが行える肢位である可能性が示唆された.

表面筋電図の結果は、外転位に比べ内転位にて VLの筋活動(図7)が有意に低値を示し、Earlら 11) と同様な結果が得られた. 今回の検討では内側 膝蓋大腿関節へ生じるストレスを計測していない ため考察の域は出ないが、膝蓋骨外側ベクトルが 低値である方が膝蓋骨外側牽引力を低下させるた め、膝蓋骨脱臼に対し低リスクで膝伸展が行える 可能性が高いと考えられる. VMO の筋活動(図 6) は、いかなる股関節肢位においても一定範囲内 であった. 当初, Hoddges らに代表 ^{22) 33)} されるよ うな股関節外転に伴う大内転筋の他動的な緊張が VMO の起始部固定作用により筋活動が増大する可 能性も考えたが異なる結果となった. 股関節内転 位で行う膝伸展運動の効果について Choi ら 34) は VMO と VL の筋活動の開始時間の差を縮めたと報 告している. VMO の反応時間の改善は同症候群の 改善に必要な要素である^{6) 35) 36)} ため, 同肢位は VMO の量的な筋肥大のみならず神経筋調節機能な どの質的な効果も得られる肢位である可能性が高 いことが考えられた.

これらの筋電図学的結果から、股関節内転位で行う膝伸展運動は、VLの筋活動量が有意に低値を示し、かつVMOに対する筋活動量を増強しやすい肢位であり、膝蓋骨不安定症を呈する症例のトレーニング肢位として適切な肢位である可能性が示唆された。

結論

膝蓋骨内側不安定性を有する場合のトレーニング肢位は、膝関節に対し低負荷、かつVMOに選択的な運動刺激を与える事のできる、股関節内転位からの膝関節伸展運動である可能性が示唆された.

【文献】

- Stefancin JJ, Parker RD: First-time traumatic patellar dislocation: a systematic review. Clin Orthop Relat Res. 2007; 455: 93-101.
- Atkin DM, Fithian DC, et al: Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury. Am J Sports Med. 2000; 28: 472-479.
- Fithian DC, Paxton EW, et al: Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation. Am J Sports Med. 2004; 32: 1114-1121.
- Sillanpaa P, Mattila VM, et al: Incidence and risk factors of acute traumatic primary patellar dislocation. Med Sci Sports Exerc. 2008; 40: 606– 611.
- 5) Chun HT, Chin JH, et al: Primary traumatic patellar dislocation. J Orthop Surg Res. 2012; 6: 7-21.
- 6) Riedel A, Hartig W, et al: Principles of rat subcortical forebrain organization: a study using histological techniques and multiple fluorescence labeling. J Chem Neuroanat. 2002; 23: 75-104.
- Balcarek P, Oberthür S, et al: Vastus medialis obliquus muscle morphology in primary and recurrent lateral patellar instability. Biomed Res Int. 2014; Article ID 326586.
- 8) Fithian DC, Pacton EW, et al: Indication in the treatment of patellar instability. J Knee Surg. 2004; 17: 47-56.
- 9) Seeley M, Bowman KF, et al: Magnetic resonance imaging of acute patellar dislocation in children: patterns of injury and risk factors for recurrence. J Pediatr Orthop. 2012; 32(2): 145-155.
- 10) Sawyer GA, Cram T, et al: Lateral Patellotibial

- Ligament Reconstruction for Medial Patellar Instability. Arthrosc Tech. 2014; 3(5): 547-550.
- 11) Fu FH, Maday MG: Arthroscopic lateral release and the lateral patellar compression syndrome. Orthop Clin North Am. 1992; 23: 601-612.
- 12) Seeley M, Bowman KF, et al: Magnetic resonance imaging of acute patellar dislocation in children: patterns of injury and risk factors for recurrence. J Pediatr Orthop. 2012; 32(2): 145-155.
- 13) John I, Eduardo S: Patella position in the normal knee joint. Radiology. 1971; 101(1): 101-104.
- 14) Schoettle PB, Zanetti M, et al: The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. Knee. 2006; 13(1): 26-31.
- 15) Sakai N, Luo ZP, et al: The influence of weakness in the vastus medialis oblique muscle on the patellofemoral joint: an in vitro biomechanical study. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2000; 15(5): 335-339.
- 16) Pal S, Besier TF, et al: Patellar tilt correlateswith vastus lateralis: vastus medialis activation ratio in maltracking patellofemoral pain patients. J Orthop Res. 2012; 30(6): 927-933.
- 17) Lin YF, Lin JJ, et al: Role of the vastus medialis obliquus in repositioning the patella: a dynamic computed tomography study. Am J Sports Med. 2008; 36(4): 741-746.
- 18) Stefano R, Ramon C: First patellar dislocation: from conservative treatment to return to sport. Joints. 2014; 2(3): 141-145.
- 19) Hing CB, Smith TO, et al: Surgical versus non-surgical interventions for treating patellar dislocation. Cochrane Database of SystRev. 2011; 11: Article ID CD008106.
- 20) Vavken P, Wimmer MD, et al: Treating patella instability in skeletally immature patients. Arthroscopy. 2013; 29(8): 1410-1422.
- 21) LeVeau BF, Rogers C: Selective training of the vastus medialis muscle using EMG biofeedback. Phys ther. 1980; 60: 1410-1415.
- 22) Hoddges PW, Richardson CA: The influence of isometric hip adduction on quadriceps femoris activity. Scand J Rehabil Med. 1993; 25(2): 57-62.
- 23) Earl JE, Schmitz RJ, et al: Activation of the VMO and VL during dynamic minisquat exercises with and without isometric hip adduction. J Electromyogr Kinesiol. 2001; 11(6): 381-386.

- 24) Herzog W, Abrahamse SK, et al.: Theoretical determination of force-length relations of intact human skeletal muscles using the cross-bridge model. Pflugers Archiv. 1990; 416(1-2): 113-119.
- 25) SENIAM, http://www.seniam.org/. Accessed 10 February, 2013.
- 26) 新田収, 柳澤健・他: 大腿直筋および内側広 筋の等尺性収縮による表面筋電図上の分析. 東京保健科学学会誌. 2000; 2(4): 282-286.
- 27) Hyong IH, Kang JH: Activities of the vastus lateralis and vastus medialis oblique muscles during squats on different surfaces. J Phys Ther Sci. 2013; 25(8): 915-917.
- 28) Saito A, Akima H: Knee joint angle affects EMG-force relationship in the vastus intermedius muscle. J Electromyogr Kinesiol. 2013; 23(6): 1406-1412.
- 29) Onishi H, Yagi R, et al: EMG-angle relationship of the hamstring muscles during maximum knee flexion. Exp Brain Res. 1985; 59(3): 441-450.
- 30) Nardone A, Romanò C, et al: Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. J Physiol. 1989; 409: 451-471.

- 31) ジェイホフマン, 福林徹 (監訳)・他:スポーツ生理学からみたスポーツトレーニング (初版). 大修館書店, 東京, 2011, pp 79-83.
- 32) 古屋かおる: 筋収縮力の調節機構. 体育の科学. 1998; 38(6): 419-425.
- 33) Hertel J, Earl JE, et al: Combining isometric contractions exercises with hip adduction or abduction does not increase quadriceps EMG activity.Br J Sports Mes. 2004; 38: 210-213.
- 34) Choi BR, Kim MH, et al: Comparison of vastus medialis and vastus lateralis EMG onset time during quadriceps strengthening exercise in neutral and adducted hip positions. J Korean Acad Univ Trained Phys Ther. 2009; 16(3): 42-49.
- 35) Callaghan MJ, Oldham JA: Quadriceps atrophy: to what extent does it exist in patellofemoral pain syndrome? Br J Sports Med. 2009; 38(3): 295-299
- 36) Powers CM, Landel RC, et al: Timing and intensity of vastus muscle activity during functional activities in subjects with and without patellofemoral pain. Phys Ther. 1996: 76(9): 946-967.