

第Ⅲ章
研究課題 1 - 2
膝関節内反の有無がレッグプレス中の
下肢筋活動量に及ぼす影響

1. 目的

前章では、正常膝と内反膝の被験者に同じ条件でレッグプレスを行わせ、下肢への筋疲労の違いを検討するために筋硬度に着目して検討した。その結果、内反膝群のナロウスタンスにおいて外側広筋が正常膝群よりも有意に高値を示し、その後スタンスが広がるに従い低値を示した。また、下腿筋群では、内反膝群のナロウスタンスにおいて正常膝群よりも前脛骨筋の硬度が有意に高値を示し、スタンスが広がるに従い低値を示した。このことから、膝関節内反の有無により、同じ動作でも下肢筋への負荷が異なる事が示唆された。しかしながら、研究課題 1-1 はオールアウト後の筋硬度の変化を測定したものであるため、実際の運動中の筋活動は不明である。

そこで本章では、各被験者の生理的強度を統一した条件で、研究課題 1-1 と同様のレッグプレスを行わせた時の、下肢各筋の筋活動量を測定する。以上より、膝関節内反の有無が下肢各筋の筋活動量に及ぼす影響について、明らかにすることを目的とした。

2. 対象と方法

1) 対象

研究課題 1-1 で行った被験者のうち内反膝群 1 名を除き、内反膝群 5 名（年齢 21.0 ± 1.8 歳、身長 172.2 ± 2.6 cm、体重 69.2 ± 3.8 、内顆間距離 6.0 ± 1.0 ）、正常膝群 4 名（年齢 24.0 ± 3.1 歳、身長 176.5 ± 1.1 cm、体重 70.8 ± 7.2 、内顆間距離 0.9 ± 1.0 ）の被験者にて行った。被験脚は各群ともボールを蹴る際の軸脚である左脚とした（表 III - 1）。

2) 測定項目および測定方法

(1) 実験試技

被験者には、研究課題 1-1 で行った疲労の影響を除外するために 1 ヶ月以上の期間をとり、改めて研究課題 1-2 を行った。試技は、研究課題 1-1 同様の 3 種類のスタンス（ナロー、ミディアム、ワイド）でのレッグプレスとした。各被験者には、動作前に自然なレッグプレスの姿勢をとらせ足関節、膝関節、股関節の関節角度を測定した。その平均値から試技の各関節角度を、背屈位足関節関節角度 80° 、屈曲位膝関節角度 60° 、屈曲位股関節角度 40° と規定した。

その時の重量は、研究課題 1-1 で行ったミディアムスタンスでの 1 回目のオールアウト時の負荷と回数から、Lombardi の推定法²⁸⁾により 1RM の 75% を推定し用いた。

プロトコルを図 III - 1 に示す。各スタンスの反復回数はそれぞれ 3 回行い、計 9 回動作を行った。各スタンスの試技間

には少なくとも 5 分以上の休息をとった。動作速度は電子メトロノームにて 60 拍/分のピッチにあわせるよう指示し、膝伸展期を 1 秒、膝屈曲期を 1 秒として計 2 秒を 1 動作とした。

(2) 筋電図測定

筋電図の測定には Biopac 社製 EMG システムを用い、サンプリング周波数は 1 kHz により導出した。測定筋は内側広筋、外側広筋、大腿直筋、長内転筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋の計 8 筋（図 III-2）とし、双極の銀塩化銀電極を電極中心距離 15mm で筋線維走行に沿って貼付した。また、電極貼付部位は剃毛し、アルコールにて老廃物を取り除き、皮膚前処理用のクリームを用いて皮膚の角質除去も行った。

(3) 筋電図解析

導出したデータは AD 変換し、Biopac 社製 AcqKnowledge MP100 Workstation を用い解析した。全てのデータは 10Hz のハイパスフィルターでアーチファクトの除去を行い整流化した。

筋電図のデータは、各スタンスでのレッグプレス 1 動作（膝伸展期 1 秒、膝屈曲期 1 秒の計 2 秒）ごとに積分し、筋活動量を算出した（iEMG）。そして、被験者間で各筋の相対的な iEMG を比較するために、各スタンスでの 3 回の動作の平均 iEMG をとり、最大随意収縮時 2 秒間の iEMG で除し%

iEMG とした。最大随意収縮の測定は徒手筋力検査にて行った。

また、大腿四頭筋における内側広筋と外側広筋の動員バランスを検討するために、各スタンスにおける内側広筋（VM）の平均 1 試技の iEMG を外側広筋（VL）の平均 1 試技の iEMG で除し、VM/VL 比を算出した。

(4) フォームの解析

各スタンスのレッグプレス中には、膝関節最大伸展時に脚と撮影面が平行となるようにビデオカメラ設置し、動作中のフォームをチェックした。

(5) 統計処理

両群のスタンスの変化に伴う各筋 % iEMG の変化について①被験者間の影響があるか、②スタンス（ナロー、ミディアム、ワイド）の影響があるか、③交互作用があるかを検定するために二元配置反復測定分散分析を用いた。①および②において有意差がみられた場合には一元配置反復測定分散分析を行った。交互作用がみられた場合には、すべての条件で多重比較検定を実施した。なお、統計処理の有意性は危険率 5%水準で判定した。

3. 結果

1) 各スタンスにおける% iEMG の変化

表Ⅲ-2、図Ⅲ-3に正常膝群、内反膝群のスタンス変化による各筋の% iEMGを示した。また、正常膝群と内反膝群の各筋の差を明確にする為に、各筋ごとに両群の% iEMGを比較した。

(1) 内側広筋（図Ⅲ-3、図Ⅲ-4）

内反膝群のナロウスタンスでは正常群よりも高値を示したが、両群間に有意な差はみられなかった。両群とも% iEMGの変化はミディアムスタンスを用いた時に最も高く、ワイドスタンスでは低値を示す同様の傾向がみられた。特に、正常膝群のミディアム-ワイドスタンス間では有意に低値を示し、その時の低下率は14.4%であった。

(2) 外側広筋（図Ⅲ-3、図Ⅲ-5）

両群を比較すると統計的に有意差はないものの、正常膝群の方が全体的に高値を示した。また、両群ともスタンスの変化による% iEMGの変動傾向は、内側広筋と同様の推移を示した。特に、正常膝群のナロウからミディアムスタンスにおいて有意に高値を示し、両群ともミディアムからワイドスタンスにかけて有意に低値を示した。

(3) 大腿直筋 (図 III-3、図 III-6)

全体的に正常膝群の方が高値を示した。正常膝群のナローミディアムスタンス間では有意に高値を示し、ミディアムワイドスタンス間では有意差はないものの ($p = 0.0891$) 低値を示す傾向がみられた。内反膝群の % iEMG の変化は正常膝群と同様の推移をしており、特にナローワイドスタンス間では有意差はない ($p = 0.0601$) が、低値を示す傾向にあった。

(4) 長内転筋 (図 III-3、図 III-7)

正常膝群と内反膝群のスタンス間には交互作用がみられ、各スタンスによる % iEMG の変化のパターンは、被験者間で異なることがわかった。また、正常膝群のナローワイドスタンスにかけて高値 ($p < 0.01$) を示し、ミディアムワイドスタンスにかけても高値 ($p < 0.01$) を示し有意差がみられた。

しかし、内反膝群はスタンスの変化による有意差はみられなかった。また、両群のワイドスタンスでは、正常膝群が内反膝群よりも 39.3% 高値を示した。

(5) 大腿二頭筋 (図 III-3、図 III-8)

ナロウスタンスでは、内反膝群が正常膝群よりも高値を示し有意差がみられた。両群ともスタンスが広がるに従い % iEMG 値は高値を示し、特に正常膝群のナローミディアムスタンス間にかけて高値を示し有意差がみられた。

(6) 前脛骨筋 (図Ⅲ-3、図Ⅲ-9)

両群間、各スタンス間に統計的に有意差はみられなかった。

(7) 腓腹筋 (図Ⅲ-3、図Ⅲ-10)

どのスタンスにおいても内反膝群が高値を示し、ナロウスタンスでは内反膝群が正常膝群よりも 16%高値を示した。また、スタンス間では、内反膝群のミディアム-ワイドスタンス間で低値を示し有意差がみられた。

(8) ヒラメ筋 (図Ⅲ-3、図Ⅲ-11)

ナロウスタンスでは、内反膝群が正常膝群よりも 53.1%高値を示し、ミディアムスタンスで 60.2%高値を示した。また、内反膝群のミディアム-ワイドスタンス間で低値 ($p < 0.01$) を示した。正常膝群では、スタンス間に有意差はみられなかった。

2) VM/VL 比 (図 III-12)

両群の VM/VL 比は、ナロウ、ミディアム、ワイドスタンスそれぞれ、正常膝群 0.98、0.98、1.02、内反膝群 2.19、1.78、1.79 であった。両群ともスタンスの変化に対して有意差はみられなかったものの、ナロウスタンスでは、内反膝群が正常膝群よりも高値を示し、またワイドスタンスにおいても内反膝群が高値を示した。

3) スタンス変化に伴うフォームの特徴 (図 III-13)

内反膝群 5 名中 4 名において、ナロウスタンス時のレッグプレス動作中、膝関節最大伸展時から屈曲するに従い明らかに足関節の回内が生じる傾向にあった。逆に、膝関節が屈曲から伸展に移行するに従い足関節の回内も動作開始時に戻った。他のスタンスでは、ビデオカメラ上では正常膝群、内反膝群とも明らかなフォームの違いはみられなかった。

4. 考察

1) 各筋における% iEMG について

(1) 大腿筋群

大腿四頭筋群に着目してみると、正常膝群、内反膝群ともミディアムスタンスで高値を示した。これは、ミディアムスタンスを用いることで、動作全体を通じて、最も筋線維が動員されていることを意味する。つまり、ミディアムスタンス時に、最も大腿四頭筋群に負荷が生じていると考えられる。

また、長内転筋に着目してみると、正常膝群ではスタンスが広がるにつれて強く活動し、特にワイドスタンスでは内反膝群よりも39.9%も多く活動している。しかし、内反膝群ではスタンスによる影響はみられなかった。

この正常膝群における長内転筋の筋動員パターンは、スクワットにおける先行研究^{57,58)}などとも一致している。このことは、ワイドスタンスを用いる事で、股関節の外転、外旋はより大きくなり、上昇段階で大腿を正中線上に牽引するように活動する為、他の内転筋群と同様に強く活動する事は推測できる。しかし、内反膝群ではワイドスタンスの肢位では長内転筋の活動には影響がなかった。このことは、これまでの先行研究とも異なる。長内転筋の起始は恥骨上枝から始まり、大腿骨の粗線内側唇の中1/3に停止する。膝関節内反を呈することで、膝の内顆同士は密着しないため、大腿骨長軸の角度が外方に偏位する。そのために、筋自体が個人の特性に適応し筋柔軟性が高くなっているのか、もしくは相対的に正常

膝に比べ筋長が長い可能性もある。その結果、スタンスを広げても正常膝群より筋への負荷が少なくなるのではないかと推測する。しかし、本研究では解剖学的な検討を行っていないため、推測の域を出ない。膝関節内反を呈する場合、スタンスを広げても長内転筋に影響されず、大腿四頭筋群を刺激できるのではないかと考えられたが、本研究では明らかに出来なかった。

(2) 下腿筋群

レッグプレスは、大腿部及び臀部を強化する種目^{24, 29)}として知られている。実際に正常膝群の下腿三頭筋群をみても%iEMGは30%前後、もしくはそれ以下である。しかし、内反膝群のミディアムスタンスにおけるヒラメ筋の%iEMGは91.0%であり高値を示している。また、両群間に有意差のみられたナロウ、ミディアムスタンスの%iEMGを比較すると、ナロウ53.1% ($p < 0.01$)、ミディアム60.2%もの差がある(図III-11)。これは膝関節内反が原因で、下腿に負荷を発生させていることを示唆するものである。

レッグプレスのフォームを両群間で比較してみると(図III-13)、内反膝群のナロウスタンスにおいて、足関節の回内傾向がみられた。膝関節内反により、狭いスタンスをとるところで膝と足部の位置関係から、屈曲をするに従い足関節が回内する。これは、脛骨過労性骨膜炎の原因ともなる¹⁵⁾ことを示唆していると考えられた。膝関節内反が原因による足関節の回内は、内反底屈筋群であるヒラメ筋付着部に過度のスト

レスが加わることが考えられる。そのような状態で、更に長軸方向への負荷をかけると、特異な局所疲労を生じ伸張性が低下する。

膝関節内反とトレーニングのような繰り返される局所負荷により、筋付着部への伸張ストレスが増大し、脛骨過労性骨膜炎が生じる²⁴⁾のではないだろうか。本研究において、内反膝群のヒラメ筋の%iEMGが高いことは、脛骨疲労性骨膜炎群の中に膝関節内反の者が多い²⁴⁾といった報告にも納得がいく。

内反膝群の下腿の筋が強く活動する事が、直接傷害の発生に関与するとはいえない。しかし、明らかに正常膝群とは明らかに異なる筋活動パターンを示しているため、今後内反膝を呈する者がトレーニングを実施する場合には、下腿にも配慮する必要がある。

2) VM/VL 比

内側広筋と外側広筋の活動量の違いは、同一動作を行った時の膝伸展力への筋線維動員バランスを表す。内側広筋と外側広筋の伸展力にアンバランスが生じると、膝蓋骨周囲疼痛 (AKP) や膝蓋骨の脱臼、亜脱臼のリスクが大きくなるといわれており、その理由の一つに内側広筋よりも外側広筋が強いこと⁷²⁾が挙げられている。そのため、内側広筋に選択的に負荷をかける方法が模索されている。

本研究では、正常膝群ではスタンスの変化に限らず、VM/VL比は1に近く、内側広筋、外側広筋とも同様のバランスで活

動している。しかしながら、内反膝群では外側広筋よりも内側広筋の方が2倍近く活動していることが分かる。明らかに内反膝群の方が、各スタンスにおいて内側広筋と外側広筋のアンバランスが大きい。しかしながら、このアンバランスは外側広筋が優位ではなく内側広筋の方が強く活動しており、膝伸展機構、膝蓋骨の安定に強く関与していると考えられる。内反膝群で見られるナロウスタンスでの屈曲時の足関節回内は、Q-angleの増加⁷³⁻⁷⁵⁾をひきおこすように働く。Q-angleが大きくなると、膝蓋骨にかかる外側方向への牽引力に対して内側広筋が対立する力を発揮するため、内側広筋が肥大するとの報告⁷⁴⁾もある。同様に、内反膝群のレッグプレス動作では、膝を屈曲する際の足関節の回内によりQ-angleが増加し、その影響で内側広筋が強く活動し膝蓋骨を保持させている可能性もある。しかしながら、今回の研究のレッグプレスは、75%/1RMの負荷で各スタンス3回しか行わせていないため、総トレーニング量は少ない。そのため、筋力トレーニングの効果を得るレベルまで筋に負荷をかけた時、同様のバランスで活動するかどうかは不明である。

今後、オールアウトをきたすまで筋活動量が測定可能であれば、膝関節内反の有無と疲労段階における内・外側広筋の動員割合の関係が明らかになり、より詳細な筋活動メカニズムが解明されるのではないかと考えられた。

5. 本章のまとめ

1. 本研究は膝関節内反の有無に関係なく行われているレッグプレスについて、膝関節内反の有無により筋活動量が異なるのではないか、という仮説のもと、膝アライメントの異なる者（正常膝群 4 名、内反膝群 5 名）を対象に筋電図学的解析を行った。
2. 両群とも大腿筋群はナロウ、ミディアム、ワイドのスタンスを通じ*i*EMG は高値を示したが、両群に有意な差はみられなかった。しかし、両群の下腿三頭筋群を比較すると、各スタンスとも内反膝群が高値を示す傾向にあった。特に、ヒラメ筋のナロウスタンスの*i*EMG は 53.1%、ミディアムスタンスでは 60.2%も正常膝群より高値を示したが、ワイドスタンスを用いることで有意に低値を示した。
3. 以上のことから、今後内反膝を呈する者が下肢長軸方向へ圧縮力の生じるようなトレーニングを行う際には、下腿にも配慮する必要があることが示唆された。