

## 第Ⅱ章

### 研究課題 1-1

膝関節内反の有無がレッグプレス後の  
下肢筋硬度変化に及ぼす影響

## 1. 目的

スポーツ活動において膝関節の内反は、下肢への傷害のリスクが大きい<sup>13, 21-24)</sup>、ことから、下肢筋へ特異的な局所負荷が生じている可能性がある。そこで、異なる膝アライメント（正常膝・内反膝）の被験者を対象にレッグプレスを行わせ、オールアウト前後の筋硬度を比較した。堀川ら<sup>59)</sup>は、等尺性脚伸展動作を行った際、筋電図積分値の低下および筋力疲労とは逆に筋硬度（ハードネス）は増大していると報告している。このことから、筋硬度を筋肉疲労の指標の1つとして考えることは可能であると考えた。

以上より、膝関節内反の有無がレッグプレス時の下肢各筋へ及ぼす筋硬度発現様式の違いについて検討した。

## 2. 対象と方法

### 1) 対象

現在または過去に競技レベルでスポーツを行っており、その補助としてウェイト・トレーニングを日常的に行い、レッグプレスを経験のある筑波大学体育専門学群及び大学院体育研究科に所属する健常男性、正常膝群 4 名 8 脚、内反膝群 6 名 12 脚を対象とした。膝アライメントの分類は、両足部を揃えた立位で、両大腿骨内側顆の距離が 2 横指以下<sup>15,16)</sup>で、かつ上前腸骨棘から第 1 趾と第 2 趾の間に向かい直線を引いたラインに膝蓋骨の中央が通るものを正常膝とし (図 II-1-a)、膝内顆間距離が 2 横指以上、かつ膝蓋骨の中央が前述のラインよりも外方に位置するものを内反膝<sup>17)</sup>とした。(図 II-1-b)。また、距骨下関節のアライメントの影響を除外するために leg-heel alignment は  $13^{\circ}$ <sup>60)</sup>以下とした。

各被験者の身体特性を表 II-1 に示す。

## 2) 測定項目および測定方法

### (1) 実験試技

両群には異なる 3 種のスタンスでレッグプレスを行わせた。スタンスはナロウ、ミディアム、ワイドの 3 種類を用い、両足関節外果間距離をそれぞれ 30cm、60cm、90cm とし、下肢外旋角をそれぞれ、 $0^{\circ}$ 、 $15^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$  とした。また、膝関節屈曲角を統一するために、膝関節屈曲角が  $60^{\circ}$  となるようにプレートの位置を調節した (図 II-2)。

プロトコルを図 II-3 に示す。まず各被験者のこれまでのトレーニングの記録から約 10RM の重量を自己申告させ、試技の前に予備的にその負荷を挙上させた。そして、確認の上その重量で 1 回目の試技を実施させ、挙上不能 (オールアウト) となるまで動作を継続させた。オールアウトの直後、重量を 20kg 軽減し、休息をはさまず (負荷のセットに約 10 秒間要した)、再度オールアウトになるまで動作を継続させた。このような要領で計 3 回オールアウトさせ、その直後に筋硬度を測定した。これを 1 試技として、各スタンスで同様の試技を行わせた。それぞれのスタンスにおける試技の実施間隔は、筋疲労及び遅発性筋肉痛 (delayed-onset muscle soreness: DOMS)<sup>61-63)</sup> の影響を避けるために少なくとも 5 日以上間隔を空け、その間被験者には日常生活強度以上の運動を行わないよう指示した。

## (2) 筋硬度測定

筋硬度測定箇所は、内側広筋、外側広筋、大腿直筋、前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋、短趾屈筋（足底腱膜）の7筋、7箇所を筋電図測定のための筋同定のマニュアル<sup>64)</sup>に沿って確認し、触診で筋を確認した後、測定箇所に油性マーカーで目印を付けた（図Ⅱ-4）。測定位置は、各筋の目印を付けた一箇所とし、試技前と試技後に同一箇所で測定した。測定肢位は2関節筋の条件を同一とするために、大腿四頭筋群、前脛骨筋は長座位、下腿三頭筋、短趾屈筋は腹臥位にて測定した。また、同一筋に対し運動前と直後にそれぞれ筋硬度計を用いて5回測定した。5回測定した数値のうち最大値と最小値の2つの数値を省き、残りの3つの数値を平均化しその筋の筋硬度とした。また、検者による筋硬度計の測定誤差を除外するために、すべての測定は同一検者が実施した。運動前と運動後の筋硬度の相対変化率をみる為に、運動前の数値を100%とし運動後の相対変化を求めた。

## (3) 筋硬度測定装置

筋硬度測定装置は（株）井元製作所製の筋硬度計（筋疲労度計）PEK-1を用いた（図Ⅱ-5）。本装置の先端子は、主針および副筒により構成されている。測定は、バネ定数の異なる主針および副筒を測定部位に押し付けることにより行う（図Ⅱ-6）。測定部位に押し付けられた主針及び副筒は、本体の円筒部の中に入り込み、副筒が予め設定された距離に移動した時の主針の移動距離を硬さの指標として用いる。すなわち、

測定対象が硬いものほど主針の移動距離は大きく、測定値は大きな値をとる。測定値は前述の方法で算出され、筋硬度計の液晶に表示される。測定装置の表示値と主針の移動距離、推力との関係を表Ⅱ-2に示す。測定の精度に関しては、測定対象者と装置の角度によらず一定の精度を保つことが検証されている<sup>69)</sup>。その表示された値を測定値とした。

#### (4) 統計処理

統計学的解析には、まずオールアウト前後の各筋の有意差検定には対応のあるt検定を行った。両群の各スタンスにおける試技前とオールアウト後の相対変化率について①被験者間の影響があるか、②スタンス（ナロウ、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繰り返しのある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) 膝アライメントの違いにおける

オールアウト前後の筋硬度変化（表Ⅱ-3）

##### (1) 正常膝群（図Ⅱ-7）

ナロウスタンスでは、大腿直筋の筋硬度がオールアウト後有意に高値を示し、逆に腓腹筋は有意に低値を示した。ミディアムスタンスでは、外側広筋、大腿直筋、短趾屈筋が有意に高値を示した。腓腹筋では有意差はないものの低下傾向にあった。ワイドスタンスでは、オールアウト前後に有意な差はみられなかった。

##### (2) 内反膝群（図Ⅱ-8）

ナロウスタンスにおいて、オールアウト後内側広筋、外側広筋、前脛骨筋が有意に高値を示した。ミディアムスタンスでは有意差はみられないものの腓腹筋が低下傾向にあり、また短趾屈筋も上昇傾向がみられた。ワイドスタンスでは、オールアウト前後に有意な差はみられなかった。

## 2) 各筋のスタンスの違いにおける

### 筋硬度変化率の推移 (表 II-3)

それぞれの結果は、運動前の筋硬度を 100%とし、オールアウト直後の筋硬度値を変化率で示した。各筋のスタンスの変化による筋硬度変化率を以下に示す。

#### (1) 内側広筋 (図 II-9)

両群間、スタンス間に有意な差はみられなかった。

#### (2) 外側広筋 (図 II-10)

内反膝群のナロウスタンスにおいて、正常膝群よりも高値を示し有意差がみられた。また、内反膝群のナロウスタンスでは 107.5%であったが、ミディアムスタンスを用いることで 102.0%まで低下し ( $p < 0.01$ )、ワイドスタンスにおいても 101.0% ( $p < 0.01$ ) まで低下した。正常膝群はスタンス間に有意差はみられなかった。

#### (3) 大腿直筋 (図 II-11)

正常膝群のナロウスタンスで 104.8%、ミディアムスタンスで 103.4%とオールアウト後有意に高値を示したが、内反膝群との間には有意差はみられなかった。また、スタンスが広がるに従い低値を示す傾向にあるが、有意差はみられなかった。内反膝群も同様にスタンス間に有意差はみられなかった。



#### (4) 前脛骨筋 (図 II-12)

ナロウスタンスにおいて内反膝群 (103.5%) が、正常膝群 (99.3%) よりも有意に高値を示した。また、内反膝群はスタンスが広がるに従い、ナロー-ミディアムスタンス 101.2% ( $p=0.085$ )、ミディアム-ワイドスタンス 100.1% 間 ( $p=0.074$ ) で有意差はみられないものの低下傾向がみられた。しかし、ナロー-ワイドスタンス間では有意に低値を示した。

#### (5) 腓腹筋 (図 II-13)

正常膝群のナロウスタンスでは、オールアウト後有意に筋硬度が低値 (96.4%) を示したが、内反膝群のナロウスタンスとの間には有意差はみられなかった。両群間、スタンス間に有意差はみられなかった。

#### (6) ヒラメ筋 (図 II-14)

両群間に有意差はみられず、内反膝群のミディアム (101.3%) -ワイドスタンス (98.1%) 間で低値を示し有意差がみられた。

#### (7) 短趾屈筋 (図 II-15)

両群間に有意差はみられなかった。正常膝群のミディアム (102.3%) -ワイドスタンス (99.5%) 間で低値を示し有意差がみられた。

## 4. 考察

### 1) 筋疲労と筋硬度発現の関係

筋疲労は、一般的に運動に必要な力を発揮できなくなることとされている<sup>65)</sup>。Moritani ら<sup>66)</sup>は、等尺性随意最大張力発揮時の上腕二頭筋の運動単位とインパルス発射頻度の時間的経過との関係は、筋出力の低下（筋疲労）に従いインパルス振幅値や発射頻度が低下すると報告している。また、同一動作が継続できなくなるような負荷や頻度で運動を行った時、筋出力の低下に伴い筋硬度も上昇する。この筋硬度は、筋を長軸方向に引っ張った時の抵抗であるスティフネス（muscle stiffness）と、筋肉を皮膚の上から圧迫した時の弾性であるハードネス（muscle hardness）<sup>67)</sup>に分類することができ、筋収縮に伴うスティフネス上昇とともに、ハードネスも上昇すると報告<sup>67)</sup>されている。

また、筋硬度（ハードネス）出現には各筋にかかる負荷の生理的強度の違い<sup>68, 69)</sup>や、測定肢位により誤差<sup>69)</sup>が生じる可能性がある。そこで、これらを考慮し筋硬度と疲労の関係を筋電図とともに検討した堀川ら<sup>69)</sup>の報告では、等尺性の筋力発揮を最大努力で100回繰り返し、それを10分のレストをはさみ4セット行わせ疲労困憊まで運動を繰り返させた時、すべての被験者で例外なく筋硬度が増大するという結果を報告している。また試技中、筋電図周波数、筋力低下とは逆に筋硬度は増加していることから、筋疲労の指標の一つとして筋硬度を採用できることを示唆するものである。土居ら<sup>70)</sup>

も筋力と筋硬度の関係を検討した報告から、同様の見解を述べている。本研究では、各被験者に最大努力でレッグプレス完全に遂行できなくなるまで実施させているため、各被験者に生じた特異的な負荷を筋硬度から推測することは可能であると考えられた。

また、皮膚の上から筋硬度を測定する際、筋の硬さだけでなく皮下脂肪の影響も受けることが考えられる。土居ら<sup>70)</sup>の筋肉の硬さに及ぼす皮脂厚の影響を検討した報告では、水泳 200m 自由形レース前後における僧帽筋の皮脂厚及び皮膚圧入計の変化を検討した結果、皮脂厚自身に変化はみられず筋の硬さだけが増加しており、筋肉そのものの硬さが変化しているものであると考察している。本研究の被験者の BMI は、正常膝群  $22.6 \pm 2.5$ 、内反膝群  $23.3 \pm 1.8$  であり、また競技選手であることを考慮すると、皮下脂肪の影響は少ないものと考えられた。そのため、本研究における試技前と試技後の筋硬度の変化は、筋の硬さの変化であると推測される。

## 2) 正常膝群と内反膝群における筋硬度の差異

### (1) 大腿四頭筋群

本研究では大腿四頭筋群のうち、表層の筋である内側広筋、外側広筋、大腿直筋の筋硬度を測定した。内側広筋では内反膝群のナロウスタンスにおいて 102.9%と有意に上昇したものの、正常膝群との間には有意差はみられなかった(図Ⅱ-9)。しかし、外側広筋のナロウスタンスでは、内反膝群 107.5%、正常膝群 103.4%で、内反膝群が高値を示し有意差がみられた(図Ⅱ-10)。また、正常膝群ではスタンス間に筋硬度の変化率に有意差はみられないのに対し、内反膝群ではスタンスが広がるに従い、ミディアムスタンス 102.0%、ワイドスタンス 101.0%と低値を示し、有意差がみられた(図Ⅱ-10)。つまり内反膝群では、スタンスを狭くした膝伸展運動を実施することで、外側広筋への局所負荷を誘発していることが分かる。

膝関節内反の有無により、筋硬度の発現様式に違いが見られることは明らかであるが、本研究のみではそのメカニズムについては明らかにすることはできない。考えられる可能性として、①膝伸展の際、膝蓋骨の内側への偏位に対し適正な位置に補正するように張力を発揮していたために局所負荷が生じたのではないか、②逆に内側広筋に対し、外側広筋が優位に張力を発揮していたのではないか、③筋横断面積が内側広筋と比較して小さいために選択的に疲労したのではないか、などが挙げられる。最近の研究<sup>32,33)</sup>では、外側広筋が内側広筋に比べて優位に緊張すると、膝の伸展時に膝蓋骨が外側に牽引されることで膝蓋骨脱臼・亜脱臼や AKP(anterior

knee pain: 膝蓋骨周囲痛) を生じる可能性があるとの見解が多くなされており、仮に②の理由であるならば、傷害を引き起こす可能性を示唆するものである。

本研究から、スタンスが広がることで外側広筋の筋硬度が低下していることから、スタンスを広げることで外側広筋の影響を避けることができる。そのため、外側広筋の影響に制限されずにトレーニングを実施するには、スタンスを広めにとることが推奨できると考えられた。

## (2) 下腿筋群

膝のアライメントの異常は、解剖学的な下肢の運動連関から下腿へ影響を及ぼす。その為、膝関節内反の有無による下腿への影響についても考慮する必要がある。実際に平野ら<sup>24)</sup>は、脛骨過労性骨膜炎と診断された選手を対象とした調査において、そのうち男性 75%、女性 59%が膝の内反を呈していたと報告している。つまり、膝の内反が下腿への特異的な局所負荷を生じさせる一因となりえることを示唆している。

大腿部を強化する代表的なトレーニングであるスクワットやレッグプレスは、膝アライメントの違いにより下腿筋群へ異なった影響を及ぼす可能性もある。これらのトレーニングは、臀部や大腿の筋の活動に注目される傾向にある。しかし、一般的に膝の外反は下腿外旋・足部回内を連鎖し、膝の内反は下腿外旋・足部回外を連鎖するとされており<sup>71)</sup>、膝関節内反の有無と膝屈伸の動作様式を考えると、下腿への影響も無視できない。

単関節筋であるヒラメ筋について、内反膝群のミディアム（101.3%）ーワイドスタンス（98.1%）間で低値を示した。同様に単関節筋である前脛骨筋については、正常膝群では低下傾向にあったが、内反膝群のナロウスタンスではオールアウト後に上昇（103.5%）した。しかし、スタンスが広がるに従い低下する傾向（ナロウ-ミディアム間  $p=0.085$ , ミディアム-ワイド間  $p=0.074$ ）にあり、ワイドスタンスでは100.1%まで減少していた。両群のナロウスタンス時の屈曲動作では、正常膝群では両膝内顆間が密着していたが、内反膝群では密着せず内反傾向がみられた。前述の通り、膝関節の内反は、下腿の外旋・足部回外動作を連鎖するにも関わらず、今回の実験試技のように高重量プレートを足部で押し上げる動作を強制される（外見上、足関節の回内）ことで、足関節を通過するヒラメ筋や前脛骨筋などの単関節筋に影響を及ぼした可能性はある。スタンスを広げることで、膝関節の内反傾向が緩和された結果、下腿への負荷が減少したのではないかと考えられる。今後は、これらのメカニズムも明らかにする必要がある。

以上から、下腿においてもスタンスを広げることで、特異な局所負荷を軽減できる可能性が示唆された。

## 5. 本章のまとめ

1. 正常膝と内反膝の被験者を対象にナ로우、ミディアム、ワイドの異なる3種のスタンスでレッグプレスを行わせた。そして、オールアウト前と直後の内側広筋、外側広筋、大腿直筋、前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋、短趾屈筋の筋硬度を測定し比較した。
2. 大腿四頭筋群では、ナ로우スタンスにおいて内反膝群の外側広筋が正常膝群よりも高値を示し、その後スタンスが広がるに従い低下した。また、下腿筋群においても、ナ로우スタンスにおいて内反膝群で前脛骨筋の硬度が正常膝群よりも高値を示し、スタンスが広がるに従い低下した。
3. 膝関節内反の有無により、同じ動作のレッグプレスを実施しても筋への負荷様式が異なる。そのため、下肢へのトレーニングを行う際には、アライメントを考慮し目的に応じた方法で行う必要があると考えられた。