

第 V 章

研究課題 2-2

膝関節内反の有無と荷重負荷が
スタンスの変化に伴う FTA に与える影響

1. 目的

これまで研究課題 1 および研究課題 2-1 では、膝関節内反の有無による筋への影響について考察してきた。実際に膝関節内反の有無により、筋硬度、筋電図、筋横断面積に対する筋構成比に影響があることがわかった。レッグプレスやスクワットのような CKC トレーニングは、下肢筋を強化する上で競技者には必要不可欠であるが、下肢長軸方向に大きな負荷が生じ、さらに膝関節を中心に屈曲・伸展を繰り返す動作を行うため、骨に対する影響も十分に考慮しなければならない。

そこで研究課題 2-2 では、膝アライメントの異なる（正常膝・内反膝）被験者を対象に、自体重時と体重と同じ重量のバーベルを肩に担いだ時に、肩幅の 50%、100%、150%、200% とスタンスを変化させた時、FTA にどのような変化が見られるのかを明らかにする。以上より、筋力強化やリハビリテーションの際に、膝関節内反の有無に対する個別の方法を確立することを目的とした。

2. 対象と方法

1) 対象

被験者は、研究課題 2-1 の被験者のうち正常膝群、内反膝群とも 2 名ずつ他の被験者と入れ替え、12 名の健常男性（正常膝群 6 名、内反膝群 6 名）を対象とした。各被験者の膝アライメントは、事前に左膝単純 X 線前後像により確認し、本研究では膝内顆間距離を考慮に入れ FTA が 178° 未満を正常膝、 178° 以上を内反膝とした。被験者の身体特性を表 V-1 に示す。また各被験者とも定期的にスポーツを実施しており、バーベルを肩に担ぐような動作も日常的に行っていることを確認した。

被験者には、あらかじめ実験の目的、方法、危険性について詳細に説明し、参加の承諾を得た。なお、本研究は筑波大学体育科学系倫理委員会の審議を受け、承認を得た上で実施した。

2)測定方法および分析方法

(1)実験試技

被験者の左脚の膝蓋骨が X 線撮影フレームの中央、管球面から 100cm となるように立たせた (図 V-1)。膝関節前後像を撮影するために、フィルム (Konica Medical Film 27.9 × 35.6cm) を膝関節の背面に垂直となるように設置した。

被験者の肩峰間距離を肩幅とし、足部のスタンスは肩峰間距離を基準に左右踵部中央の距離が 50%/肩幅、100%/肩幅、150%/肩幅、200%/肩幅となるように規定した。そして、スタンス 50%で自重のみ、スタンス 50%でバーベルによる荷重、スタンス 100%自重、スタンス 100%荷重、スタンス 150%自重、スタンス 150%荷重、スタンス 200%自重、スタンス 200%荷重の順に左膝を撮影し、被験者 1 名につき 8 枚撮影した (図 V-2)。荷重時のバーベルの重量は、各被験者の体重と同程度とした。詳細は、被験者情報の中に記述した (表 V-1)。また、スタンスを変化する際、同様の条件で撮影するために、スタンスを広げることに伴う股関節の回旋を考慮し、左脚を静止した状態にしたまま、あらかじめ床に引いたラインの角度に合わせるように右脚のみを移動させた。50%から 100%ではそのまま右脚を平行にスライドし、150%では最初のラインから 15° 下げたラインに踵部を合わせ、200%では更に 15° 下げたラインに踵部を合わせるよう指示した (図 V-3)。スタンスを変化する際、正確にスタンスの距離を測るために験者はアンソロポメーターを用いて被験者の踵部間距離を確認した。自重時および荷重時の試技、風景を図 V-4、図 V-5 に示す。

(2) 分析方法

膝関節アライメントを評価する際の FTA は、一般的には片脚立位の肢位で X 線撮影を行うが、本研究では各試技を撮影し、得られた画像から FTA を計測した。そして、各群ごとに 8 試技の FTA を平均化し、自重時と荷重時のスタンスの変化に伴う FTA の推移を比較した。また、正常膝群と内反膝群では、スタンス変化や荷重による影響に関わらず、測定前から内反膝群の FTA は高値を示すために、単純に両群間の差を比較できない。そこで各群の 100%/肩幅自重時の FTA を 100% とし、両群の測定前の差を補正し、スタンスと荷重による影響を変化率で表し比較した。

(3) 統計処理

両群の自重時と荷重時のスタンス変化に伴う FTA の推移について①重量(自重・荷重)の影響があるか、②スタンス(50%、100%、150%、200%)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。また両群間に重量およびスタンスによる FTA の変化率に差があるのかを分析するために同様の統計手法を用いた。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) 荷重およびスタンス変化に伴う FTA の両群の

比較 (図 V-6、図 V-7、表 V-2)

正常膝群と内反膝群の自重時におけるスタンス変化に伴う FTA を比較すると、両群・スタンス間に交互作用がみられ ($p=0.003$)、FTA のスタンス変化による推移パターンは被験者群に差があることがわかった。

しかし、荷重時のスタンス変化に伴う FTA の推移にはスタンス間、被験者群間に差は確認されず、交互作用もみられなかった。

2) 荷重およびスタンス変化に伴う FTA 変化率の

両群の比較 (図 V-8、表 V-3)

(1) 自重時

正常膝群では、自重のみの場合にはスタンスを変化させても、FTA 変化率には有意差はみられなかった。

内反膝群では、100%からスタンスを 50%にすると 100.4%と増加する傾向 ($p=0.092$) がみられたが、有意な差はみられなかった。逆にスタンスを広げることで FTA 変化率は減少する傾向がみられ、50%-200%間 ($p=0.005$)、100%-200%間 ($p=0.001$) では、有意差がみられた。また、正常膝群と内反膝群間には、150%において有意差がみられ ($p=0.007$)、内反膝群の FTA 減少率が高値を示した。

(2) 荷重時

荷重時のスタンスに伴う FTA 変化率に、有意差はみられなかった。しかし、50%では内反膝群（100.4%）が正常膝群（99.9%）より高値を示し有意差（ $p=0.021$ ）がみられた。

3) 荷重による FTA の群内比較

（図 V-6、図 V-9、表 V-2）

(1) 正常膝群

正常膝群では、200%時に自重よりも荷重時が高値を示し有意差（ $p=0.032$ ）がみられた。

(2) 内反膝群

内反膝群も同様に、200%の時にバーベル荷重することにより自重よりも高値を示し、有意差（ $p=0.013$ ）がみられた。他のスタンスでは差はみられなかった。

4. 考察

1) スタンスの変化と FTA

前額面上の膝関節内反は、膝内側部に圧力を生じ⁹²⁾、膝への傷害のリスクも高い^{13, 22, 93)}。さらに、正常のアライメントの者でも歩行の際は、膝に体重の約 3.2 倍もの力が生じ、膝の内側ではそのうちの 70% もの衝撃を吸収していると報告⁹³⁾されている。また、変形性膝関節症 (OA) の局所要因として下肢アライメント異常⁹⁵⁾が指摘され、さらに 50 歳未満の男性を対象とした Cheng ら⁹⁶⁾の研究では、週に 20 マイルのランニングで OA の発症が有意に増加したと報告している。つまり、膝関節内反を有し、さらにスポーツ活動や身体活動を継続する⁹⁷⁾ことで、膝への退行性の障害のリスクが高くなる。また、競技選手のトレーニングでは、体重以上の重量を用いて行われることも多いため、膝アライメントに異常を有する選手にとっては、強化やリハビリテーションのためのトレーニングが、長期的な観点からすると膝内側部に障害をもたらす可能性もある。

本研究では、まず自重のみでスタンスを変化させた時、FTA に変化が見られるかどうかを確認した。参考までに図 V-10 に荷重とスタンスの変化による FTA の応答を示した。正常膝群では自重時および荷重時ともスタンスの変化により、FTA が統計的に変化することはなかった。しかし、内反膝群の自重時では、スタンスが広がることで FTA も減少し、100%/肩幅のスタンスでは正常時の FTA が $179.7 \pm 1.0^\circ$ であるのに対

し、200%/肩幅のスタンスでは 177.4 ± 1.0 にまで減少しており、正常膝群の値に近づいている。つまり、大腿骨頭中心と足関節の中心を通過する下肢機能軸に、下肢解剖軸の中心が近づいたことを意味し、膝関節における内側・外側面に均等に荷重がかかる傾向にあることが示唆される。

膝関節の内反を有する場合、リハビリテーションなどの自重でのトレーニングの際にも、スタンスを広げることで膝内側への圧力を減少できる可能性が示唆された。

2) 荷重と FTA

競技スポーツでは、体重以上の重量でスクワットなどのCKCトレーニングを実施することが多い。このCKCトレーニングは、複合関節運動であり筋を協調して収縮させる必要があるため、スポーツ活動の補強としては非常に有用である。しかし、骨に対し長軸方向の圧縮力が生じるため下肢アライメントに異常を呈する場合、骨や筋に対して局所的な負荷が生じる危険性もある。そこで本研究では、実際のトレーニングを想定して体重と同程度のウェイトを肩に担ぎ、膝関節内反の有無とスタンスの変化によりFTAが変化するかを検討した。

内反膝群の自重のFTAは、スタンスを広げるに従い減少し正常膝群の値に近づく傾向がみられたため、荷重時も同様の変化がみられるのではないかと仮定した。しかし、本研究では、膝関節内反の有無に関わらず200%/肩幅のスタンスで荷重すると、自重時の同じスタンスの時よりもFTAが増加した(正常膝 $p=0.032$ 、内反膝 $p=0.013$)。膝関節のアライメント

が正常な場合、自重時の荷重線は膝関節の中央を通過する^{12, 98)}ことが分かっている。しかし、膝関節に内反を有する場合、荷重線を内側に偏移させ内反モーメントを発生する⁹⁹⁾。このような内反モーメントに対し、膝関節側方への安定性を獲得するメカニズムとして、①関節荷重を内側コンパートメントに移動する、②関節荷重を増大させる（①の考え方で力学的に関節接触点を計算すると、関節面より内側に接触点が位置する可能性がある。関節面の最内側縁が接し、更に内反力が増大すると、関節接触力、関節内反角は増大し外側側副靭帯が伸張する⁹⁹⁾）、③関節接触点が移動し、関節コンパートメントが開くことが挙げられる。200%/肩幅のスタンスにおいて両群ともFTAが増加したことから、膝関節内反の有無に関わらず内反モーメントが発生したことが考えられる。その結果、関節荷重を内側に移動し、内側関節面の荷重も増大し、外側関節面が離開したのではないだろうか。靭帯は、最大負荷に対し約20%伸張すると報告されており、これは5°の内反角に対する外側側副靭帯の伸張に相当する¹⁰⁰⁾。また、200%/肩幅の荷重では、足関節の回外傾向もみられ、そのことで下腿が外旋し膝関節の内反を誘導⁷¹⁾した可能性もある。今後、床反力による内反モーメントの算出、および足底圧による荷重位置の変化（回内・回外傾向の把握）を測定し、さらなるメカニズムの解明が必要である。

本研究から、膝関節内反の有無に関わらずスタンスを肩幅の200%まで広げると、膝関節内側部への負荷を生じる可能性が示唆された。つまり、正常膝であっても肩幅の200%のスタ

ンスを使用し、荷重負荷をかけた状態でトレーニングを継続すると、将来的に内反膝への退行性の変化をもたらす可能性があることが示唆された。また、150%のスタンスでは、正常膝群、内反膝群とも荷重による FTA の変化には有意な差がみられず、膝内側への影響を考慮すると最も有用であると考えられた。トレーニングの重要な種目であるデッドリフトでは、肩幅の 200%程度のスタンスで行う SUMO STYLE¹⁰¹⁻¹⁰³⁾ という方法があるが、実施する場合にはこれらのリスクにも注意しながら行う必要があると考えられた。

5. 本章のまとめ

1. 本研究は、異なる膝アライメントの被験者（正常膝群 6 名、内反膝群 6 名）を対象に、スタンスの変化と荷重の有無による FTA の変化を明らかにするために X 線写真を用いて解析した。
2. 内反膝群の自重時において、スタンスが広がることで FTA が減少し（50%-200%、100%-200%）、有意差がみられた。しかし、正常膝群の自重時、荷重時、内反膝群の荷重時にはスタンス間の影響はみられなかった。
3. 膝関節内反の有無に関わらず、200%/肩幅のスタンス時に自重時から荷重時に FTA が増加し、有意差がみられた。
4. 膝関節内反の有無に関わらず、200%/肩幅で荷重すると FTA が増加し内反傾向がみられる。そのため 150%のスタンスを用いて荷重をすれば、膝関節内反の有無に関わらず安全にトレーニングできる。