

研究論文

超音波画像を用いた正常膝関節の牽引に伴う離開距離の解析*

—関節角度と牽引強度の違いが及ぼす影響について—

小川大輔^{1)2) #} 竹井 仁²⁾ 松村将司²⁾³⁾ 市川和奈²⁾³⁾
宇佐英幸³⁾⁴⁾ 畠 昌史²⁾⁵⁾ 安彦鉄平²⁾⁶⁾ 新津 守⁷⁾

要旨

【目的】本研究は膝関節の牽引に伴う脛骨と大腿骨間の距離変化（離開距離）を解析することで、関節角度と牽引強度の違いが及ぼす影響を検討し、特に最大ゆるみの肢位に関する示唆を得ることを目的とした。【方法】対象は健常者18名（男女各9名、平均25.1歳）とした。方法は、関節角度7水準（完全伸展位・25・35・45・55・70・90°）と牽引強度2水準（100・200 N）を組み合わせた条件で右下腿を長軸方向へ牽引し、その際の膝関節裂隙の超音波画像から離開距離を解析した。【結果】100 Nでは55°屈曲位の離開距離が完全伸展位より有意に大きかった。200 Nでは25・35・45・55°の離開距離が完全伸展位より有意に大きく、45・55°の離開距離が90°より有意に大きかった。200 N牽引時の関節角度と離開距離の関係を示す回帰式から推定した最大離開距離となる肢位は51°屈曲位だった。【結論】100 Nより200 Nで牽引した際の離開距離が大きくなることと、正常膝関節の最大ゆるみの肢位は約51°屈曲位であることが示唆された。

キーワード 膝関節、関節牽引、超音波画像解析

序 論

関節機能異常に対する理学療法のひとつである関節モビライゼーションの中では、関節牽引が頻繁に用いられ

る¹⁻³⁾。関節牽引はHippocratesの時代から実施される治療手技であり⁴⁾、その有効性を示した報告は多い。それらの報告の中で、機能異常の発生頻度が高い膝関節を対象としたものとしては、変形性膝関節症の疼痛軽減と関節可動域の改善についての報告⁵⁾⁶⁾、ギプス固定後の屈曲拘縮の改善に関する報告⁷⁾、ラットの拘縮膝の関節包を用いた組織病理学的な報告⁸⁾、健常者の大腿四頭筋の反応時間に関する報告⁹⁾などがある。

関節牽引は関節を形成する凹側の骨の関節面に直交する方向でふたつの骨を引き離す操作であり¹⁾¹⁰⁾、理論上は関節を跨ぐすべての組織に対して伸張力を同時に付加できる方法である。そのため関節モビライゼーションの中では、関節牽引を関節の遊び（joint play）と最終域感（end feel）の評価手技としても用いる¹⁾。その際の牽引強度に関してKaltenborn¹⁾は、“関節包や靭帯などの関節周囲組織のゆるみを取り除き、それらの組織が緊張して最初に停止するまでの強度”とするグレードⅡ、もしくは“周囲の組織を伸張する強度”とするグレードⅢという質的に定義した強度で実施すると説明している。また、関節モビライゼーションでは、各関節の最大ゆるみの肢位（maximally loose-packed position：以下、MLPP）を評価や初期の治療を行う肢位として頻繁に用い

* Analysis of Separation Distance that Accompanies the Traction of Normal Knee Joints using Ultrasound Imaging: The Influence of the Different Joint Angles and Traction Forces

1) 目白大学保健医療学部理学療法学科
(〒339-8501 埼玉県さいたま市岩槻区浮谷320)
Daisuke Ogawa, PT: Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Mejiro University
2) 首都大学東京大学院人間健康科学研究科理学療法科学系
Daisuke Ogawa, PT, Hitoshi Takei PT, PhD, Masashi Matsumura, PT, Kazuna Ichikawa, PT, Masafumi Hata, PT, Teppei Abiko, PT: Department of Physical Therapy, Graduate School of Human Health Sciences, Tokyo Metropolitan University
3) 千川篠田整形外科
Masashi Matsumura, PT, Kazuna Ichikawa, PT, Hideyuki Usa, PT: Senkawa-Shinoda Orthopaedic Clinic
4) 首都大学東京大学院人間健康科学研究科理学療法科学系
Hideyuki Usa, PT: Department of Physical Therapy, Graduate School of Human Health Sciences, Tokyo Metropolitan University
5) 池上総合病院リハビリテーション室
Masafumi Hata, PT: Department of Rehabilitation, Ikegami General Hospital
6) 東京都リハビリテーション病院理学療法科
Teppei Abiko, PT: Department of Physical Therapy, Tokyo Metropolitan Rehabilitation Hospital
7) 埼玉医科大学放射線科
Mamoru Niitsu, MD: Department of Radiology, Saitama Medical University
E-mail: d.ogawa@mejiro.ac.jp
(受付日 2011年8月29日/受理日 2012年1月10日)

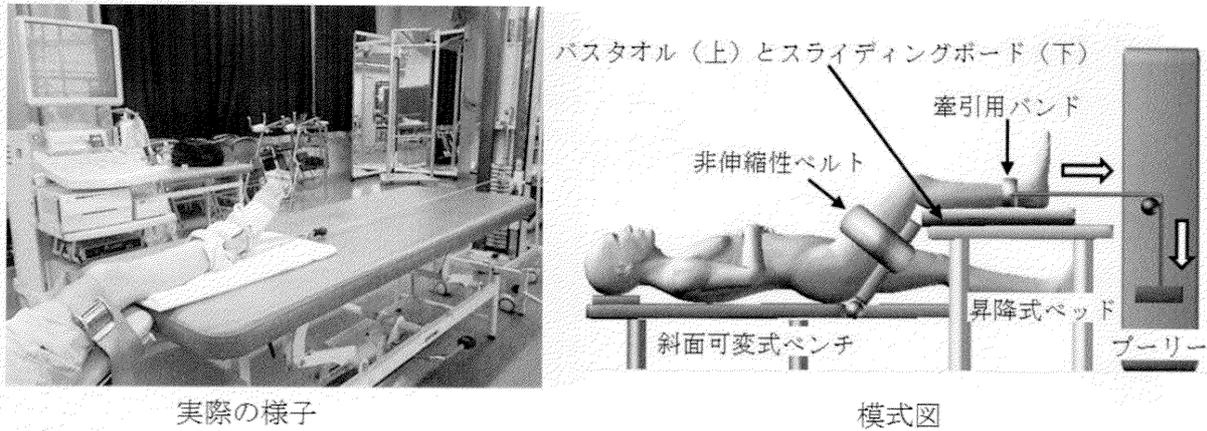


図1 実験肢位と牽引方法

昇降式ベッドの高さとベンチの斜面の傾きを調節することで、右膝関節を各実験条件の角度に設定し、右下腿を水平位に保持した。

る¹⁾¹⁰⁾。MLPPは、関節の接触面が小さく、周囲の組織がもっとも緩んだ状態にある肢位と説明され¹⁾¹⁰⁾¹¹⁾、諸家¹⁾¹¹⁾¹²⁾の見解を総合すると、膝関節については概ね25°～40°屈曲位である。ただし、渉猟する限りでは、膝関節の牽引に伴う関節裂隙の距離変化を量的に示した報告は、島田ら¹³⁾・Tsuneizumiら¹⁴⁾・Palhaisら¹⁵⁾による3つの先行研究のみであり、その中でも牽引強度の違いを検討しているのは島田ら¹³⁾の学会発表のみである。さらに、諸家¹⁾¹¹⁾¹²⁾の見解を踏まえたうえで、膝関節のMLPPを検証することを目的とした先行研究は見あたらず、臨床での評価や治療の中で関節牽引を用いる際、どの肢位で行うことがもっとも適当であるかは不明瞭である。

膝関節は他の関節よりも安定性を靭帯に依存している¹²⁾。そのため、靭帯個々の走行を考慮した特殊検査が開発され、さらに種々の測定機器を用いて関節の不安定性を数量的に示した報告¹⁶⁾¹⁷⁾も多い。膝関節のMLPPについて諸家¹⁾¹¹⁾¹²⁾が具体的な関節角度を提示しているのは、それらの報告を根拠にしていると考えられる。しかし、MLPPは各靭帯の制動機能に焦点をあてたものではなく、関節周囲組織のゆるみの量を総合的に捉え、その量がもっとも多い関節角度を表すものである。そのためMLPPについて言及する場合、すべての関節周囲組織に対して伸張力を同時に加えることができる関節牽引を実施し、その際の関節裂隙の距離変化を解析することが適当と考える。

そこで本研究の目的は、健常者の膝関節を対象として、関節角度と牽引強度が異なる条件で牽引力を加え、それに伴う脛骨と大腿骨間の距離変化を解析することで、関節角度と牽引強度の違いが及ぼす影響を検討し、特にMLPPについての示唆を得ることとした。なお測定機器については、X線撮影のような被曝による人体への悪影響やMRI (Magnetic Resonance Imaging: 磁気

共鳴画像)のような他の実験機器と実験肢位に制約がなく、さらに近年の画像処理技術の進歩によって高分解能画像をリアルタイムで抽出可能となった超音波画像診断装置を用いることとした。

対象および方法

1. 対象

実験対象は膝関節に既往のない健常成人18名(男女各9名)の右膝関節とした。対象者の平均年齢(範囲)は25.1(20～37)歳であり、身長と体重の平均値(標準偏差)はそれぞれ、166.0(8.6)cm・57.4(8.4)kgだった。なお、本研究は首都大学東京荒川キャンパス研究安全倫理委員会の承認(承認番号:09001)を得たうえで、対象者に対しては、事前に研究趣旨について十分に説明した後、書面での同意を得て実験を行った。

2. 実験課題

実験課題は、右膝関節の屈曲角度7水準(完全伸展位・25°・35°・45°・55°・70°・90°)と牽引強度2水準(100N・200N)を組み合わせ合わせた合計14種類の条件での右下腿の長軸方向への牽引とした。実験肢位は、右膝関節完全伸展位を条件とする場合では背臥位、その他の場合では右側の膝関節と股関節を各条件の角度に設定した背臥位とした。

実験肢位の設定には、可変式斜面を有するエクササイズ用ベンチ(Lojer社, Three Section Bench)と昇降式の治療用ベッド(パラマウントベッド社, KC-237)を用いた。右股関節内・外転および内・外旋中間位にて右大腿部を非伸縮性ベルト(幅:49mm)でベンチの斜面に固定し、右下腿は昇降ベッドに載せて水平位を保持した(図1)。右膝関節の角度はベンチの斜面の傾きと昇降ベッドの高さを調節することで設定し、日本リハビリテーション医学会の測定方法¹⁸⁾にならい、ゴニオメー

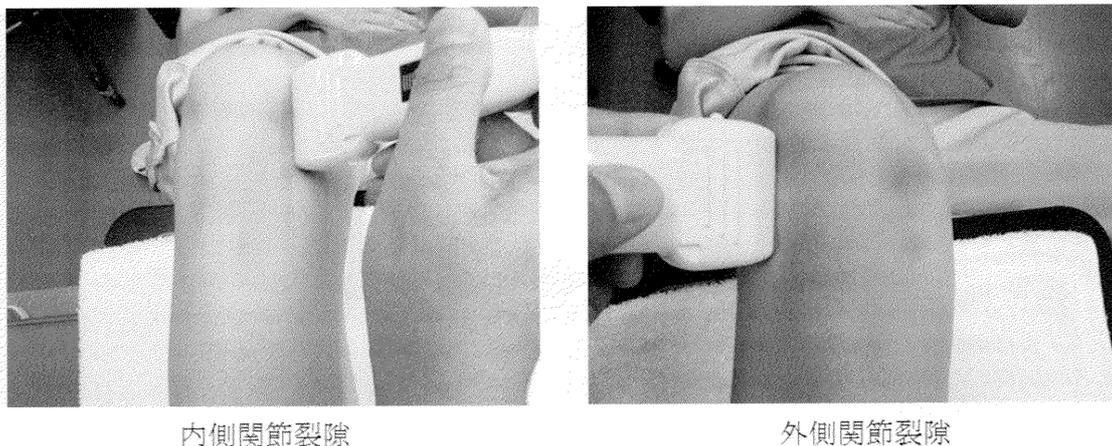


図2 画像抽出部位

[抽出部位の決定方法]

膝蓋靭帯の側縁から2 cmの部位を目安として、前額面と矢状面において、プローブの長辺を下腿の長軸と平行な角度であてることが可能な部位。

ターを用いて各実験条件の角度にあることを確認した。

下腿の牽引は移動式プーリー (Lojer社, Mobile Speed Pulley) を用い、足関節の直上に装着した四肢牽引用バンド (ミナト医科学社, KSU0264) を介して行った。牽引力の抵抗となるベッドと下腿後面の摩擦を最小限とするために、下腿の下にはスライディングボード (Gausdal Sewing Industry社, GSI BOARD) とバスタオルを敷いた。実験機器により膝関節の内・外反と下腿の回旋が強制されていないこと、さらに牽引に伴う疼痛が生じていないことを確認したうえで、対象者には測定中は脱力することを指示した。

測定回数は、実験条件14種類と後述する画像抽出部位2種類を組み合わせた28回であるが、牽引力を繰り返して加えることでの影響を考慮して、1日につき4回の測定を、最少1日の間隔をあけて合計7日で実施した。なお、測定の順序は無作為とし、さらに各測定間には対象者に約1分間の立位をとらせ、その場での足踏み運動を行うことを指示した。

3. 超音波画像の抽出

関節裂隙の超音波画像は超音波画像診断装置 (日立メディカル社, EUB-7500) を用いて、牽引前と牽引中の静止画 (Bモード) を抽出した。プローブについては、運動器の観察では中心周波数10 MHz以上の高周波プローブが一般的に選択される¹⁹⁾ ため、本実験においても付属のリニア型プローブ (中心周波数: 10 MHz) を使用した。

画像を抽出する部位は、右膝関節の内側関節裂隙 (脛骨内側顆と大腿骨内側顆の間) と外側関節裂隙 (脛骨外側顆と大腿骨外側顆の間) として関節前面にプローブをあてた (図2)。具体的には、プローブの長辺が、前額面において脛骨内側顆と外側顆の上縁を結ぶ線分に直交す

る角度となり、矢状面において下腿の中央線に平行となることを基準としたうえで、膝蓋靭帯の内側縁と外側縁それぞれから側方へ2 cmの部位を目安とし、プローブを骨の隆起に合わせてあてた場合でも、基準を満たすことができる部位から画像抽出を行った。なお、横断面でのプローブをあてる角度は、もっとも鮮明な画像が抽出できる角度とした。抽出手順については、牽引前の画像を抽出後、プローブを一定の角度であてたまま牽引力を加え、牽引開始から10秒後に牽引中の画像を抽出した。

超音波画像解析の欠点は抽出される画像が不安定なことである。そこで、今回行った超音波画像を抽出する方法の信頼性を先行研究²⁰⁾ で検証した。方法は、1名の被験者を対象として、検者2名が20種類 (関節角度: 0°~90°で10°ごとに10水準×抽出部位: 内・外側関節裂隙の2水準) の安静 (牽引力を付加しない) 状態の画像をそれぞれ抽出し、それらの画像上の指標間距離の一致度を級内相関係数 (intraclass correlation coefficient: 以下, ICC) にて検証した。さらに各実験条件で生じた誤差の平均値を算出した。結果, ICC (2,1) は0.971であり、誤差の平均値 (95%信頼区間) は0.50 (0.24~0.76) mmだった。また、同様の方法で、検者1名が20種類の画像を2回抽出した場合の指標間距離の一致度と誤差の大きさを検証した結果, ICC (1,1) は0.984, 誤差の平均値 (95%信頼区間) は0.36 (0.11~0.60) mmだった。

4. 画像データの解析

抽出した超音波画像をパーソナルコンピュータに取りこんだ後、画像解析ソフト (米国国立衛生研究所, Image J Ver.1.42) を用いて解析した。

解析の指標とする脛骨の部位は、前面から関節面に切り替わる部位とした。一方、大腿骨については、肢位の変化に伴って脛骨と接する部位も変化するため、すべて

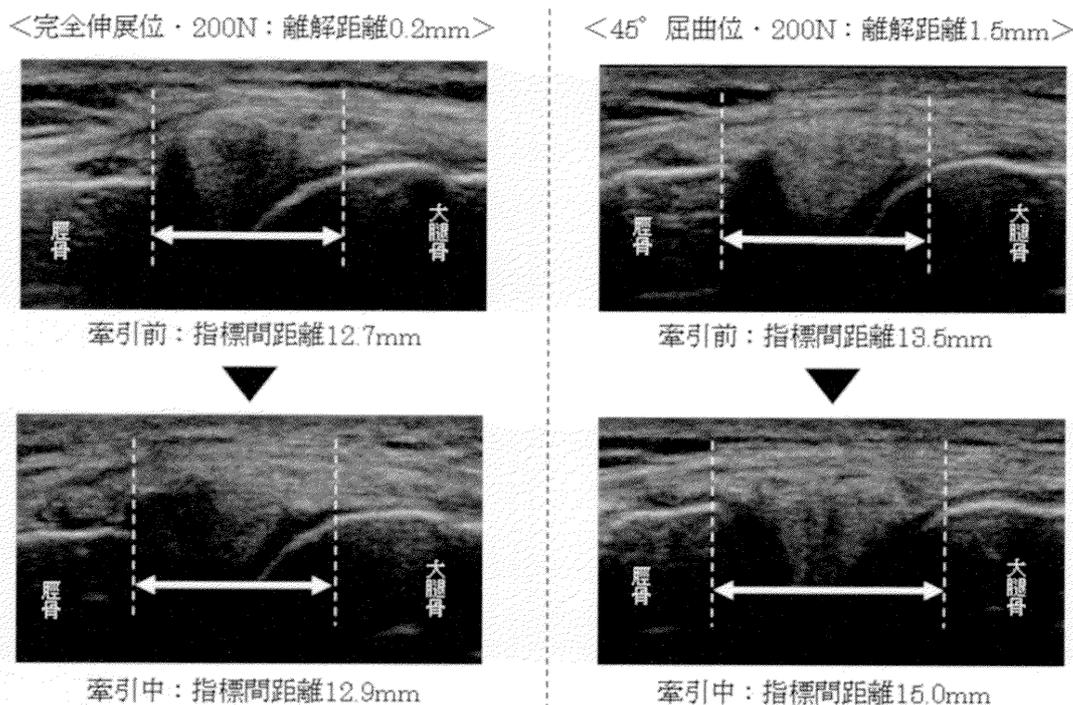


図3 実際の超音波画像（内側関節裂隙）

[指標部位の決定方法]

脛骨：前面から関節面に切り替わる部位。

大腿骨：脛骨の指標点と同じ深度（画像の縦軸）にある骨表面の周辺で、牽引前と牽引中の画像において形状と輝度が一致する部位。

の実験肢位で画像上に描写できる一定の部位はなかった。そこで、脛骨の指標点と同一深度にある大腿骨表面の周辺で、牽引前と牽引中の画像において、形状と輝度が一致する部位を指標点とした。そのうえで、画像上での両骨の指標点の位置をピクセルの座標値（解像度：10 pixel/mm）で表し、ふたつの指標点の横軸上距離を実寸値に変換することで指標間距離を求めた。さらに、各測定での牽引中と牽引前の指標間距離の差から変化量（以下、離開距離）を算出した。

なお、画像を抽出する場面だけでなく、画像を計測する場面でも測定誤差が生じる可能性がある。そこで、今回行った画像解析方法を用いて脛骨と大腿骨の指標間距離を計測した値の信頼性を先行研究²⁰⁾で検証した。方法は、1名の被験者の20種類（関節角度：0°～90°で10°ごとに10水準×抽出部位：内・外側関節裂隙の2水準）の安静状態の画像の指標間距離を検者2名がそれぞれ計測し、計測値の一致度をICCにて検証した。さらに各実験条件で生じた誤差の平均値を算出した。結果、ICC (2,1) は0.999であり、誤差の平均値 (95%信頼区間) は0.34 (0.12～0.55) mmだった。また、同様の方法で、1名の検者が20種類の画像の指標間距離を2回計測した値の一致度と誤差の大きさを検証した結果、ICC (1,1) は0.998、誤差の平均値 (95%信頼区間) は0.30 (0.08～0.51) mmだった。

表1 各要因の主効果

	F 値	p 値
関節角度	16.238	0.000
牽引強度	177.835	0.000
部位	0.372	0.551
性別	0.493	0.493

5. 統計学的解析

各測定での離開距離はPASW Statistics Ver.18.0を用いて統計処理した。

まず、関節角度・牽引強度・部位・性別を要因として、1要因が独立、3要因に対応のある分割プロットデザインによる分散分析を実施した。さらに事後検定としてTukey HSD法による多重比較検定を行った。次に、関節角度と離開距離の関係を示す回帰式を算出し、最大離開距離となる肢位を推定した。有意水準は5%とした。

結 果

抽出した超音波画像の例とその解析結果を図3に示す。

分散分析にて各要因の主効果を検定した結果を表1に示す。主効果を認められたのは関節角度と牽引強度の2要因であり、部位と性別については主効果を認めなかった。

分散分析の結果、7水準を設定した関節角度の主効果

表2 各実験条件での離解距離

単位: mm

		完全伸展位	25°	35°	45°	55°	70°	90°	
100 N	平均値	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7*	0.3	0.3	
	標準偏差	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.2	0.7	
	95%信頼区間	上限	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	0.6	0.7
		下限	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.0	-0.1
200 N	平均値	0.3	1.3*	1.3*	1.7*†	1.6*†	1.1	0.7	
	標準偏差	0.4	0.8	0.7	1.0	0.9	0.6	0.8	
	95%信頼区間	上限	0.6	1.7	1.7	2.2	2.1	1.5	1.1
		下限	0.0	0.9	0.9	1.2	1.1	0.7	0.3

従属変数: 内側裂隙と外側裂隙の離解距離の平均値

対象者数: 18名(男女各9名)

*: 完全伸展位との間で $p < 0.05$ †: 90°屈曲位との間で $p < 0.05$

を認めた。そこで関節角度の違いが離解距離に及ぼす影響を詳しく検討するために、実験条件ごとに内側裂隙と外側裂隙の離解距離を平均し、その値を各実験条件の離解距離として、男女を分けずすべての対象者のデータを用いて多重比較検定を行った(表2)。その結果、100 Nでの牽引では、55°屈曲位の離解距離が完全伸展位よりも有意に大きかった。一方、200 Nでの牽引では、25°・35°・45°・55°屈曲位の離解距離が完全伸展位よりも有意に大きく、45°・55°屈曲位の離解距離が90°屈曲位よりも有意に大きかった。

表2をもとに、複数の肢位間で有意差を認めた200 N牽引時について、関節角度を横軸に、離解距離の平均値を縦軸にとり、7点における回帰式を算出した。結果、関節角度と離解距離の関係は二次回帰曲線($y = -0.0005x^2 + 0.0508x + 0.3118$, $R^2 = 0.9318$, $p = 0.005$)をなし、さらにその回帰式から推定した最大離解距離となる肢位は51°屈曲位だった(図4)。

考 察

1. 離解距離の大きさについて(先行研究との比較)

本研究で解析した離解距離は、100 N牽引時で0.2~0.7 mm、200 N牽引時で0.3~1.7 mmだった(表2)。渉猟する限り、膝関節の牽引に伴う離解距離を解析した報告は3つの先行研究のみである。島田ら¹³⁾は、健康者を対象として腹臥位での30°・90°・120°膝屈曲位にて5 kgと10 kgで3分間牽引し、その際の離解距離を超音波画像にて解析した結果、5 kgでは30°で2.01 mm、90°で2.87 mm、120°で2.60 mmであり、10 kgでは30°で3.20 mm、90°で4.61 mm、120°で4.95 mmだったと報告している。また、Tsuneizumiら¹⁴⁾は、後十字靭帯温存型および切除型人工膝関節置換術後患者に対して80°膝屈曲位にて100 Nで牽引し、X線画像にて離解距離を解析した結果、温存型では平均0.3 mm、切除型では平均2.2 mmだったと報告している。さらに、

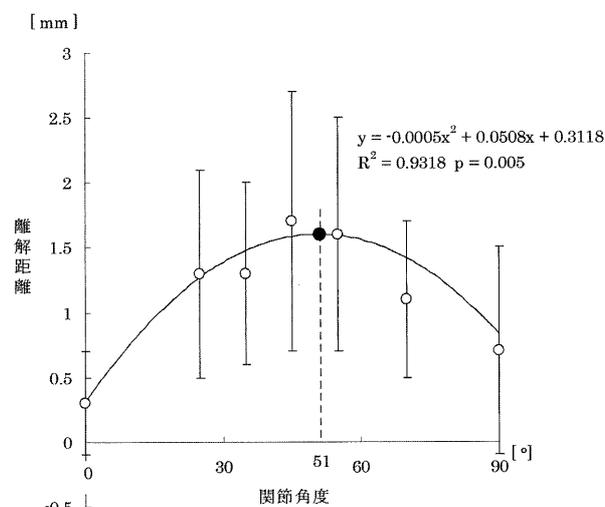


図4 関節角度と離解距離の関係(200N)

各実験条件での離解距離の平均値(○)を用いた回帰式から推定した最大離解距離(●)となる肢位は51°屈曲位だった。なお、誤差範囲は標準偏差の大きさを示す。

Palhaisら¹⁵⁾は、膝関節疾患患者に対して軽度屈曲位にて15 kgで牽引し、その際の離解距離をMRIで解析した結果、内側裂隙では平均0.4 mm、外側裂隙では平均0.555 mmだったと報告している。本研究における離解距離は、Tsuneizumiら¹⁴⁾の研究の温存型患者の離解距離や、Palhaisら¹⁵⁾が解析した離解距離と同程度だった一方で、島田ら¹³⁾が解析した結果よりも小さかった。島田ら¹³⁾の報告は実験方法の詳細が不明であり、さらにTsuneizumiら¹⁴⁾とPalhaisら¹⁵⁾らの報告では牽引時間に関する記載がない。そのため単純な比較はできないが、本研究では10秒間、島田ら¹³⁾は3分間の牽引をそれぞれ実験課題としたことが、離解距離の大きさに違いが生じた一因と考える。

2. 関節角度と離解距離の関係について

200 N牽引時の結果をもとに算出した二次回帰式は、51°屈曲位で離解距離が最大になると推定した(図4)。

また、100 N 牽引時の多重比較の結果は、55° 屈曲位の離開距離が、最小値を示した完全伸展位より有意に大きかったことから、55° 屈曲位付近に最大離開距離となる肢位が存在することを示唆していると考えられる (表 2)。本研究では 10 秒間という短時間の関節牽引を実験課題として離開距離を解析したが、靭帯や関節包の主成分である膠原線維 (コラーゲン線維) の伸張に関して Twomley ら²¹⁾ は、外力を加えた状態を保持することで徐々に伸張されると述べている。その点を踏まえると、本研究での離開距離は、牽引によって伸張される組織がもつ強靭性 (抗伸張力) を表すものではなく、牽引力を加えることで取り除かれた関節周囲の非収縮性組織のゆるみの程度をおもに反映していると考えられる。したがって、関節周囲の組織がもっともゆるんだ肢位と説明される MLPP は、最大離解距離と推定された 51° 屈曲位付近であり、概ね 25° ~ 40° 屈曲位とする諸家^{1) 11) 12)} の見解よりも屈曲した位置に存在するものと考えられる。なお、その差異の原因についても考えると、諸家^{1) 11) 12)} の見解は、各靭帯の走行を考慮した方向で外力を付加することによって、関節の不安定性を検証した多くの先行研究を根拠としているのに対し、本研究では、すべての関節周囲の組織に伸張ストレスを同時に付加できる関節牽引を行い、それに伴う離開距離から MLPP を推定したことが関与していると考えられる。

次に、関節角度と離開距離の関係を推定する回帰式を図示すると、51° 屈曲位を頂点とする放物線をなした (図 4)。このことは、牽引力の付加によってゆるみが完全に取り除かれたのが、各肢位をとること自体でゆるみが少ない (緊張した) 状態となる組織であり、他の組織は牽引中であってもゆるんだ状態のままだったことを示唆していると考えられる。つまり、たとえば完全伸展位をとることで、後方関節包およびそれを補強する斜膝窩靭帯・弓状膝窩靭帯²²⁾ と、内・外側側副靭帯^{22) 23)} は緊張した状態となる一方で、膝蓋靭帯²⁴⁾ はゆるんだ状態となり、その状況下で牽引力を加えた場合、わずかな離解によって後方関節包等のゆるみは取り除かれ、さらにこれらの組織が牽引力に抗していたため、膝蓋靭帯についてはゆるみが残存した状態だったと推察できる。そのように考えると、90° 屈曲位での牽引では、完全伸展位とは反対に、屈曲最終域に近づくことで緊張が増加する膝蓋靭帯のゆるみがおもに取り除かれたと考える。ただし、先に触れた Tsuneizumi ら¹⁴⁾ の報告を踏まえると、健常者の膝関節でも 70° と 90° 屈曲位における牽引では、後十字靭帯のゆるみがおもに取り除かれていた可能性もある。また、それら以外の実験肢位では、全可動域で緊張した状態にある前・後十字靭帯^{22) 25)} のゆるみがおもに取り除かれたと考えるが、前十字靭帯は伸展位で、後十字靭帯は屈曲終末でそれぞれ緊張が増加する^{25) 26)} ため、

中間肢位である 50° 屈曲位付近でゆるみの量が多く、MLPP として推定されたと考える。

3. 牽引強度と離開距離の関係について

各肢位での 100 N 牽引時と 200 N 牽引時の離解距離の平均値を比較すると、いずれの肢位でも数値としては 200 N 牽引時の方が大きく、統計学的には分散分析で牽引強度の主効果を認めた (表 1・表 2)。これらの結果は、牽引強度の増加によって離解距離が大きくなることを示している。牽引強度と離開距離の関係について島田ら¹³⁾ は、5 kg より 10 kg での牽引で離解距離が有意に大きかったとし、本研究と同様の見解を述べている。ただし、本研究と島田ら¹³⁾ の研究は、どちらも牽引強度の条件が 2 種類だったため、牽引強度と離解距離の詳細な関係までは言及できない。Tillman ら²⁷⁾ は、腱と靭帯を伸張した際の応力とひずみの関係が曲線で示されることを報告している。それを踏まえると、牽引強度の増加に伴って離解距離も単純な正比例の関係で増加するとは考えにくく、牽引強度と離開距離の関係をあきらかとするためには、さらなる検討が必要と考える。

4. 本研究の臨床的意義

膝関節は機能異常の発生頻度が高い関節であり、理学療法の対象となる機会も多い。それを踏まえると、膝関節の MLPP が健常者では 51° 屈曲位付近に位置することを確認した本研究の結果は、おもに関節可動域の改善や疼痛の軽減を目的として関節モビライゼーションを実施する際の有意義な示唆となる。つまり、MLPP は関節モビライゼーションの中で頻繁に用いられる肢位であり、たとえば、MLPP にて関節の遊びを 7 段階のスケール (0: 可動性なし, 1: 可動性のかなりの制限, 2: 可動性の軽度の制限, 3: 正常, 4: 可動性の軽度の増大, 5: 可動性のかなりの増大, 6: 支持性の欠如) で評価した結果、低可動性 (0 ~ 2) を認めた場合、基本的には牽引もしくは滑りのモビライゼーションを MLPP で行うことから開始する^{1) 10)}。また、疼痛軽減を目的とする場合、患者がとれる実際の MLPP で牽引のモビライゼーションを実施する^{1) 10)}。本研究の結果を踏まえると、MLPP においてそれらの評価や治療を実施する場合、これまで諸家^{1) 11) 12)} が提示してきた肢位よりも 51° 屈曲位付近で行うことで、より正確な評価が可能となり、有効な治療結果を得ることができると考える。

5. 本研究の限界と今後の課題

本研究では離開距離の解析方法として超音波画像解析を選択した。解析の対象が骨であることを踏まえると、単純 X 線や MRI を用いることで安定した画像を得るこ

とが可能と考える。ただし、X線は被曝という倫理的問題のために研究機器として用いることはできず、MRIの場合には装置内での肢位に制約がある。そのため、複数の肢位での牽引を実験課題とした本研究の測定機器としては、超音波画像診断装置が適当だったと考える。その一方で、我々が行った先行研究²⁰⁾で検証した画像計測時に生じる約0.3 mmの誤差は、特に100 Nで牽引した時のようにわずかな離開距離を解析する場合には相対的に大きく、そのことが多重比較検定で100 N牽引時と200 N牽引時の結果が完全には一致しなかった原因と考える。

他の限界としては、先述したように設定した牽引強度の条件が2種類だったため、牽引強度と離開距離の詳細な関係については言及できないことであり、今後、設定条件を増やしての実験を行うことで検討したいと考える。さらに、本研究は牽引時間の違いが離開距離に及ぼす影響には着目していない。臨床において、関節拘縮の改善のために牽引を用いる場合には、少なくとも7秒間保持し、強固な拘縮の場合には、1分もしくはそれ以上の持続的な牽引を実施する¹⁾。したがって、牽引時間と離開距離の関係についても興味深い点であり、その検討は今後の課題と考える。

結 論

今回、健常者の膝関節に牽引力を加えた際の離開距離を超音波画像にて解析し、牽引強度と関節角度の違いが離開距離に及ぼす影響を検討した。結果、牽引強度の増加により離開距離は大きくなることを確認した。また、関節角度と離開距離の関係を示す回帰式から、正常膝関節のMLPPは51°屈曲位付近に位置することが示唆された。本研究は、すべての関節周囲の組織に対して伸張ストレスを同時に加えることができる関節牽引を用いて、機能異常の発生頻度が高い膝関節のMLPPを検討したことから、その臨床的意義は大きいと考えた。ただし、得られた結果からは、牽引強度と離開距離の詳細な関係については言及できなかったため、その点については今後の課題と考えた。

文 献

- 1) Kaltenborn FM: Manual mobilization of the joints volume 1 the extremities 6th ed. Olaf Norlis Bokhandel, Minneapolis, 2002, pp13-96.
- 2) Conroy DE, Hayes KW: The effect of joint mobilization as a component of comprehensive treatment for primary shoulder impingement syndrom. J Orthop Sports Phys Ther. 1998; 28 (1): 3-13.
- 3) Deodato F, Cristiano S, *et al.*: A functional approach to the TMJ disorders. Prog Orthod. 2003; 4 (2): 20-37.
- 4) Kaltenborn FM: Manual mobilization of the joints volume

- 2 the spine 4th ed. Olaf Norlis Bokhandel, Minneapolis, 2003, pp1-13.
- 5) 佐藤春美: 膝関節疾患に対する下肢牽引の試み. 理学療法学. 1990; 23: 190.
- 6) 中井 保, 鈴木健夫, 他: 変形性膝関節症に対する下肢牽引療法の試み. 理学療法学. 1992; 19 (5): 471-475.
- 7) 加藤康吉, 藤田里美, 他: 膝伸展制限に対し治療用ベッドを用いて牽引と持続伸張を取り入れたPTアプローチ. 愛知県理学療法士会誌. 2005; 17 (2): 36-37.
- 8) Yoshikubo H: Histopathological effects of the traction on joint capsule after four-week knee joint. 金沢大学つるま保健学会誌. 2006; 30 (1): 1-11.
- 9) 黒澤和生, 丸山仁司: 関節牽引が反応時間に与える影響. 運動生理. 1990; 5 (2): 91-94.
- 10) 竹井 仁: 骨関節疾患に対する関節モビライゼーション. 理学療法科学. 2005; 20 (3): 219-225.
- 11) 竹井 仁: 触診機能解剖カラーアトラス 上. 文光堂, 東京, 2008, pp31-32.
- 12) Magee DJ: Orthopedic Physical Assessment 4th ed. SAUNDERS, Philadelphia, 2006, pp661-763.
- 13) 島田隆明, 島田圭三, 他: 膝関節の関節裂隙離開の経時的変化. 理学療法学. 2002; 29: 347.
- 14) Tsuneizumi Y, Suzuki M, *et al.*: Evaluation of joint laxity against distal traction force upon flexion in cruciate-retaining and posterior-stabilized total knee arthroplasty. J Orthop Sci. 2008; 13: 504-509.
- 15) Palhais NS, Guntern D, *et al.*: Direct magnetic resonance arthrography of the knee: utility of axial traction. Eur Radiol. 2009; 19 (9): 2225-2231.
- 16) 松本秀男: KT-2000による膝関節前後不安定性の評価—その有効性と限界—. 整形外科. 1994; 45: 759-766.
- 17) 伊藤正明: Knee arthrometer (KT-2000)を用いた異なる負荷の前方不安定性について. 東京膝学会誌. 1995; 16: 65-68.
- 18) 日本リハビリテーション医学会(編): 関節可動域表示ならびに測定方法. リハ医学. 1995; 32 (4): 207-217.
- 19) 石崎一穂: 超音波画像診断に最低限必要な基礎知識. Sports medicine. 2008; 105: 21-25.
- 20) 小川大輔, 竹井 仁, 他: 超音波画像を用いた脛骨と大腿骨間の距離計測に関する信頼性. 日保学誌, 2011; 14 (2): 99-106.
- 21) Twomley L, Tayloy J: Flexion, creep, dysfunction and hysteresis in the lumbar vertebral column. Spine. 1982; 7: 116-122.
- 22) Kapandji IA: カパンディ 関節の生理学 II. 下肢(第5版). 萩島秀男(監訳), 医歯薬出版, 東京, 1999, pp106-127.
- 23) Harfe DT, Chuinard CR, *et al.*: Elongation patterns of the collateral ligaments of the human knee. Clinical Biomechanics. 1998; 13 (3): 163-175.
- 24) 嶋井和世, 木村邦彦, 他(監修): グレイ解剖学 [I]. 廣川書店, 東京, 1981, pp372-382.
- 25) Huberti HH, Hayes WC: Patellofemoral contact pressures. J Bone Joint Surg. 1984; 66: 715-724.
- 26) Hollis JM, Takai S, *et al.*: The effects of knee motion and external loading on the length of the anterior cruciate ligament (ACL): A kinematic study. J Biomech Eng. 1991; 113: 208-214.
- 27) Tillman LJ, Cummings GS: Biologic mechanisms of connective tissue mutability. In: Currier DP, Nelson RM (eds): Dynamics of Human Biologic Tissues. FA Davis, Philadelphia, 1992, pp17-22.

〈Abstract〉

Analysis of Separation Distance that Accompanies the Traction of Normal Knee Joints using Ultrasound Imaging: The Influence of the Different Joint Angles and Traction Forces

Daisuke OGAWA, PT

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Mejiro University

Daisuke OGAWA, PT, Hitoshi TAKEI PT, PhD, Masashi MATSUMURA, PT,

Kazuna ICHIKAWA, PT, Masafumi HATA, PT, Teppei ABIKO, PT

Department of Physical Therapy, Graduate School of Human Health Sciences, Tokyo Metropolitan University

Masashi MATSUMURA, PT, Kazuna ICHIKAWA, PT, Hideyuki USA, PT

Senkawa-Shinoda Orthopaedic Clinic

Hideyuki USA, PT

Department of Physical Therapy, Graduate School of Human Health Sciences, Tokyo Metropolitan University

Masafumi HATA, PT

Department of Rehabilitation, Ikegami General Hospital

Teppei ABIKO, PT

Department of Physical Therapy, Tokyo Metropolitan Rehabilitation Hospital

Mamoru NIITSU, MD

Department of Radiology, Saitama Medical University

Purpose: The purpose of this study was to examine the influence of the different joint angles and traction forces, especially to indicate the maximally loose-packed position by analyzing the change of joint space width (separation distance) that accompanies the traction of knee joint.

Method: The subjects were 18 healthy adult subjects (9 male and female, average age of 25.1 years old). The method was to tug their right knees toward long axis direction of the right lower leg with 7 levels of joint angle (completely extended position, 25, 35, 45, 55, 70, 90 degrees) and 2 levels of traction force (100 · 200 N), and analyzed the separation distance by examining the ultrasound images of the joint spaces.

Result: With 100 N, 55 degrees flexion angle showed greater separation distance than completely extended position. With 200 N, the distance are larger with 25, 35, 45, and 55 degrees than completely extended position, and 45 and 55 degrees showed greater separation distance than 90 degrees. Based on the regression formula of the relationship between the joint angle and separation distance with 200 N, the knee angle that shows the maximum separation was estimated as 51 degrees.

Conclusion: The study showed that separation distance is larger with 200 N than 100 N. It also suggested that maximally loose-packed position of a normal knee joint is about 51 degrees.