

筑波大学

博士（医学）学位論文

大学生アスリートのジャンパー膝に対する  
超音波とMRIを用いた検診および  
傷害発生の追跡調査

2021

筑波大学大学院博士課程人間総合科学研究科

西田 雄亮

# 目次

第1章 本研究の背景 .....	1
1.1. ジャンパー膝.....	1
1.2. ジャンパー膝の予防・早期発見に向けた研究.....	2
第2章 本研究の目的 .....	5
第3章 研究① 横断研究 .....	6
3.1. 目的.....	6
3.2. 対象と方法 .....	6
3.2.1. 対象 .....	6
3.2.2. ジャンパー膝検診.....	7
3.2.3. 超音波検査.....	7
3.2.4. MRI 検査.....	8
3.2.5. 検証項目と統計解析.....	8
3.3. 結果.....	9
3.3.1. ジャンパー膝検診（診察） .....	9
3.3.2. 検証(1) 2群間の比較 .....	10
3.3.3. 検証(2) 3群間の比較 .....	11
3.4. 考察.....	12

3.5. 小括 .....	18
<b>第4章 研究② 縦断研究 .....</b>	<b>19</b>
4.1. 目的 .....	19
4.2. 対象と方法 .....	19
4.2.1. 対象 .....	19
4.2.2. 追跡調査とフォローアップ検診 .....	20
4.2.3. 検証項目と統計解析 .....	20
4.3. 結果 .....	21
4.3.1. ジャンパー膝の発症状況 .....	21
4.3.2. 画像所見の変化と臨床症状との関係 .....	21
4.3.3. ジャンパー膝発症例の発症前の画像所見 .....	23
4.4. 考察 .....	24
4.5. 小括 .....	27
<b>第5章 総括 .....</b>	<b>28</b>
5.1. 考察 .....	28
5.2. 今後の展望 .....	30
5.3. 結論 .....	31
図 .....	32

表.....	52
引用文献.....	62
学会発表.....	73
謝辞 .....	74
出典 .....	75

#### 略語

MRI : magnetic resonance imaging 磁気共鳴画像法

VISA-P : Victorian Institute of Sport Assessment–Patella tendon

TR : repetition time

TE : echo time

ROC : receiver operating characteristic

AUC : area under the curve ROC 曲線下の面積

STIR : short T1 inversion recovery

OR : odds ratio オッズ比

RR : relative risk 相対危険度

# 第 1 章 本研究の背景

## 1.1. ジャンパー膝

ジャンパー膝は 1973 年に Blazina によって提唱された、走る・跳ぶ・蹴るなど膝蓋腱に繰り返し負荷のかかるアスリートに多く発生する代表的なオーバーユース障害である[1]。有病率はスポーツ愛好家で 8.5%、トップアスリートで 13~20%と報告されており、特にジャンプ動作を繰り返すバレーボールでは 30~40%と高頻度に発生するという報告もある[2, 3]。

本障害は運動負荷に起因する膝前面痛、特に膝蓋骨遠位部（下極）の痛みと同部の圧痛が特徴（図 1）であり、症状や経過から臨床的に診断されることが多い[4]。重症度の評価には主に臨床症状の程度による Roels 分類（表 1）や VISA-P スコア（図 2）が用いられる[5, 6]。

画像検査は補助的に行われており、膝蓋腱は単純 X 線では評価が困難で、主に超音波や MRI が使用される。超音波検査では、B モードで膝蓋腱の肥厚や fibrillar pattern の乱れ、腱内の低エコー域がみられる。カラードプラを用いることで腱内部や周囲の異常血流の観察も可能である。MRI でも膝蓋腱の肥厚や腱内の高信号変化のほか、膝蓋骨下極や膝蓋下脂肪体の信号変化なども観察可能である[7, 8]。

治療の第一選択は保存的治療である[9, 10]。運動量や運動強度を制限しつつ、大腿四頭筋のストレッチ、患部のアイシング[11]など種々の物理療法、装具療法、遠心性収縮トレーニングを中心とした運動療法[12, 13]を組み合わせる。加えて、深膝蓋下滑液包（膝蓋腱近位深層と膝蓋下脂肪体との境界）へのヒアルロン酸注射[14]、体外衝撃波治療[15-19]、多血小板血漿療法[19-21]など様々な方法が用いられるが、治療抵抗例もしばしばみられる。慢性化して膝蓋腱に不可逆性の変化が生じると難治化することが知られており、難治例には手術（病変部のデブリドマン・切除など）も行われる[22-26]。術後の症状に対する満足度は比較的高いが、競技復帰には半年以上の長期間を要し、長期離脱や引退を余儀なくされる選手も存在する。そのため、ジャンパー膝の診療においては、発症予防および早期発見・早期治療が大きな課題となっている。

## 1.2. ジャンパー膝の予防・早期発見に向けた研究

ジャンパー膝をはじめとするスポーツ傷害の予防についての研究を行うために、図3のような4つのステップが提案されている[27]。すなわち、step 1: 傷害調査によりスポーツ傷害の発生率や重症度を明らかにする、step 2: スポーツ傷害の発生に関与する危険因子と傷害のメカニズムを特定する、step 3: 将来のスポーツ傷害のリスクや重症

度を軽減するための予防策を導入する、step 4: step 1 を繰り返して予防策の効果を評価する、を繰り返すことが必要とされている。

これまでに、上記の step 1 の傷害調査は数多く行われ、バレーボール選手やバスケットボール選手の有病率・発生率が高いことは既に知られている[28, 29]。また、上記の step 2 のうち内因性のリスク因子としては、男性[28-30]、身長が高い・体重が重い[31-33]、大腿四頭筋・ハムストリングの柔軟性低下[32, 34, 35]、足関節背屈可動域が小さい[28]などが挙げられ、外因性のリスク因子として、練習時間が長い[31, 36]、ジャンプ回数が多い[37]などが報告されている。

加えて、超音波を用いた研究では、膝蓋腱内に低エコー域があると発症リスク増大[38]、構造異常と異常血流があると発症リスク増大[39]などが示唆されている。一方で、症状と画像所見がしばしば一致しないという報告[8]もあり、明確な見解は得られてはいない。さらに、これらの画像評価にはエビデンスに基づく定量的な基準や分類が乏しく、従来の報告は客観性・再現性にばらつきがある可能性も指摘されていた。

近年では、欧州の高校生エリートバレーボール選手を対象とした前向き調査から、超音波検査での低エコー域や新生血管の存在はジャンパー膝のリスク因子である可能性が再度述べられているが、症状と画像所見が一致しない例も存在している[40]。本邦においても、成長期サッカー選手の Osgood-Schlatter 病については検診や前向き研究が行われ、その予防に向けた取り組みも報告されている[41, 42]。しかし、骨が成熟し



て練習強度も高くなる大学生以上のアスリートのジャンパー膝を対象とした研究は少なく、MRI を併用した前向き研究は実施されていない。

## 第 2 章 本研究の目的

前述のように、ジャンパー膝の予防は重要な課題であるが、そのリスク因子や発症機序にはまだ不明な点が多い。また発症初期や前段階の画像所見に関しては報告が少なく、検診などの方法も確立されていない。検診や画像検査によって発症前のリスク群をより正確に同定できれば、対象を選んだ予防介入を行うことも可能となる。そこで今回、超音波と MRI の両方を用いて大学生アスリートの膝蓋腱の検診と追跡調査を行い、ジャンパー膝の発症と画像所見との関連について調査することとした。

本研究の目的は、ジャンパー膝の発症を予防するために、疼痛発症前の画像上の特徴（画像的リスク因子）を明らかにすることである。

## 第3章 研究① 横断研究

本研究は筑波大学医学医療系医の倫理委員会の承認を得て実施した（2019年3月6日;承認番号1362）。また、事前に全被験者に対してインフォームドコンセントを得てから開始した。

### 3.1. 目的

ジャンパー膝の運動時痛・圧痛の有無と画像所見の関係を明らかにすること。

仮説は「膝蓋腱の超音波検査およびMRI検査における腱の厚さ、低エコー域、異常血流、信号変化はジャンパー膝の症状を反映する」とした。

### 3.2. 対象と方法

#### 3.2.1. 対象

対象は2019年度に筑波大学体育専門学群に入学した男女で、バレーボール・ハンドボール・バスケットボール部の42人の両膝とした。平均年齢 $18.1 \pm 0.5$ 歳（18 - 20歳）、男性21人、女性21人であった。競技種目の内訳はバレーボール11人、ハンドボール14人、バスケットボール17人であった。活動レベルはいずれも全国大会レ

ベルのエリートアスリートであり、全員が入学前に4年以上、週15時間以上の運動歴があった。また除外基準として、膝蓋腱の手術歴のある膝とした。

### 3.2.2. ジャンパー膝検診

大学入学年度の初旬に、膝蓋腱の超音波検査とMRI検査の両方を同日に実施した（詳細後述）。その後、画像所見を盲検化された整形外科医が運動歴、既往歴の聴取と、膝の診察を行った。そして、以下の条件を満たす場合に臨床的なジャンパー膝と判断した：①膝蓋腱近位端（膝蓋骨下極）に運動に伴う痛みがある、②同部に限局した圧痛がある、③膝痛の原因となりうる他の傷病（靭帯損傷や半月板損傷など）を疑わせる所見がない。

### 3.2.3. 超音波検査

超音波検査は臨床経験8年以上で日常的に超音波診断装置を使用している整形外科医が実施した。機器は日立メディコ社のHI VISION Preirus<sup>®</sup>、リニア型探触子EUP-L53<sup>®</sup>（周波数7.5 MHz、視野幅64 mm：膝蓋腱全長が1スライスで評価可能なもの）を使用した（図4）。専用の膝枕を作成し、体位は仰臥位・膝屈曲30度とした。まず膝蓋腱を体表から触れ、Bモードで腱全長の長軸像（fibrillar patternを確認できる状態）を描出した。その後、膝蓋腱の近位端・中央・遠位端の厚さを測定した（図

5)。1 膝につき 3 回測定し、その平均値を使用した。またその際に、膝蓋腱内の低エコー域の有無を評価した（図 6）。続いて、同部位にてカラードプラ法を使用し、腱内および周囲の異常血流の有無を評価した（図 7）。

#### 3.2.4. MRI 検査

MRI 検査は Esaote 社の 0.18T 四肢用 MRI 装置 C-Scan<sup>®</sup>を使用して実施した（図 8）。体位は超音波検査と同じ仰臥位・膝屈曲 30 度に統一した。シークエンスは Gradient echo 法による T2\*強調（field of view 190×190 mm, TR/TE 580/16, flip angle 75°）を選択した。矢状断の膝蓋腱中央のスライスにて、超音波と同じ測定点で腱の厚さを計測した（図 9）。また、同スライスにおける膝蓋腱内の高信号変化の有無を評価し、高信号変化があった場合はその前後幅を計測して膝蓋腱の厚さに占める割合を算出した（図 10）。計測は画像が匿名化された状態で、臨床経験 8 年以上の整形外科医 2 名により実施し、その平均値を使用した。

#### 3.2.5. 検証項目と統計解析

ジャンパー膝検診（診察）での判断から、(1) 臨床的なジャンパー膝か否かの 2 群間および(2) 臨床的なジャンパー膝群・運動時痛はないが圧痛がある群（圧痛のみ群）・運動時痛も圧痛もない群（症状なし群）の 3 群間で各画像所見を比較した。

(1) 臨床的なジャンパー膝か否かの2群間では、膝蓋腱の厚さについては Mann-Whitney の U 検定を用いて比較し、ROC 曲線を作成して膝蓋腱近位の厚さの cut-off 値を算出した。超音波での低エコー域、異常血流、MRI での高信号変化の有無については、 $\chi^2$  二乗検定を用いて比較し、クロス集計表から感度、特異度、正確度を算出した。MRI 高信号変化の腱に占める割合についても、ROC 曲線を用いて cut-off 値を算出した。(2) 3群間での膝蓋腱の厚さの比較には一元配置分散分析を用いて、事後検定には Tukey-Kramer を選択した。有意水準はいずれも 5%未満とした。

### 3.3. 結果

#### 3.3.1. ジャンパー膝検診（診察）

入学時に検診を受けた選手42人84膝から骨付き膝蓋腱を用いた前十字靭帯再建術後の1膝を除外し、83膝を評価対象とした。83膝のうち、臨床的なジャンパー膝は5人（男性4人、女性1人）9膝（10.8%）であり、4人8膝が両側例であった。全例が競技活動を継続しており、検診までに行われていた対応はストレッチと運動後のアイシングのみであった。また、9人11膝（13.3%）において膝蓋腱近位端に圧痛があったものの、運動時痛は自覚していなかった。

### 3.3.2. 検証(1) 2 群間の比較

超音波、MRI それぞれで計測した対象全体の膝蓋腱の厚さを表 2 に示す。それらの厚さを臨床的なジャンパー膝の有無で比較すると、膝蓋腱近位は超音波、MRI ともにジャンパー膝群で有意に厚かった（超音波： $9.0 \pm 1.7$  mm vs  $5.0 \pm 1.1$  mm ;  $p < 0.001$ , MRI： $10.0 \pm 2.0$  mm vs  $5.4 \pm 1.3$  mm ;  $p < 0.001$ ）（図 11a）。また、中央では超音波のみ有意差があった（超音波： $4.6 \pm 1.3$  mm vs  $3.6 \pm 0.7$  mm ;  $p = 0.009$ , MRI： $4.6 \pm 1.1$  mm vs  $4.0 \pm 0.7$  mm ;  $p = 0.10$ ）（図 11b）。一方、遠位では超音波、MRI ともに有意な差はなかった（超音波： $4.5 \pm 0.6$  mm vs  $4.9 \pm 0.8$  mm ;  $p = 0.61$ , MRI： $4.7 \pm 1.0$  mm vs  $4.9 \pm 1.0$  mm ;  $p = 0.67$ ）（図 11c）。

また、膝蓋腱近位の厚さについて ROC 曲線を作成すると、図 12 のようになった。AUC は超音波が 0.981、MRI が 0.976 で、有意差はなかった。Youden index は超音波で 6.67 mm（感度 100%、特異度 91.9%）、MRI で 7.08 mm（感度 100%、特異度 90.5%）であった。そして、厚さ 7.0 mm 以上を cut-off 候補値とした場合も、超音波では感度 88.9%、特異度 94.6%、MRI では感度 100%、特異度 90.5%であった。

続いて、超音波検査における低エコー域は 83 膝中 15 膝（18%）、異常血流は 23 膝（28%）、MRI における高信号変化は 41 膝（49%）で陽性であった。これらを臨床的なジャンパー膝の有無で比較すると表 3 のようになり、いずれの画像所見もジャンパー膝群で有意に陽性率が高かった（ $p < 0.001$ ）。さらに、それぞれの感度、特異

度、正確度を算出すると表4のようになり、超音波での低エコー域の有無が症状との一致率が最も高かった。一方、MRIでの高信号変化の有無は特異度が低かった。

MRIの高信号変化が膝蓋腱の厚さに占める割合を算出すると、ジャンパー膝群では平均84.7%であった。また、ジャンパー膝の有無についてのROC曲線を作成すると図13のようになり、Youden indexは69.3%（感度100%，特異度83.3%）であった。これを踏まえて、70%以上をcut-off値に含め、高信号変化の割合を臨床的なジャンパー膝の有無と比較すると表5のようになった。ジャンパー膝群では高信号変化の割合が高値であり、高信号変化の割合が低いものは無症状である傾向がみられた。

### 3.3.3. 検証(2) 3群間の比較

膝蓋腱の厚さについて3群間で比較すると、膝蓋腱近位は超音波、MRIともにジャンパー膝群>圧痛のみ群>症状なし群の順でそれぞれ有意に厚かった（超音波： $9.0 \pm 1.7$  mm vs  $6.6 \pm 1.4$  mm vs  $4.8 \pm 0.8$  mm，MRI： $10.0 \pm 2.0$  mm vs  $7.5 \pm 1.5$  mm vs  $5.0 \pm 0.8$  mm）（図14）。中央においては、超音波ではジャンパー膝群が他の2群より有意に厚く、MRIではジャンパー膝群と症状なし群との間にのみ有意差があった（超音波： $4.6 \pm 1.3$  mm vs  $4.2 \pm 1.3$  mm vs  $3.5 \pm 0.5$  mm，MRI： $4.6 \pm 1.1$  mm vs  $4.6 \pm 1.1$  mm vs  $3.9 \pm 0.6$  mm）。遠位では超音波、MRIともに有意な差はなかった



(超音波： $4.5 \pm 0.6$  mm vs  $5.3 \pm 1.0$  mm vs  $4.9 \pm 0.7$  mm, MRI： $4.7 \pm 1.0$  mm vs  $5.2 \pm 0.7$  mm vs  $4.9 \pm 1.0$  mm)。

また、超音波での低エコー域、異常血流と、MRIでの高信号変化それぞれの有無について3群間で比較したものを表6に示す。各所見において臨床的ジャンパー膝以外の2群にも陽性例がみられたが、超音波での低エコー域は圧痛のみ群11膝中6膝(55%)、症状なし群63膝中0膝(0%)、異常血流は圧痛のみ群11膝中9膝(82%)、症状なし群63膝中5膝(8%)といずれも圧痛のみ群で高率にみられた。MRIでの高信号変化は圧痛のみ群の11膝全例で陽性であったが、症状なし群でも63膝中21膝(33%)でみられた。また、この高信号変化を検証(1)と同様に腱に占める割合で分けると表7のようになり、高信号変化の割合が70%以上と高値な例には圧痛があり、症状なし群では70%未満の例が多い傾向であった。

### 3.4. 考察

ジャンパー膝は、かつて膝蓋腱炎 patellar tendinitis と呼ばれていたが、病理学的な検証が進み、必ずしも炎症が病態の主体でないことが報告され、近年では多くの報告で膝蓋腱症 patellar tendinopathy と記載されている[43]。Cookらは、reactive tendinopathy, tendon dysrepair, degenerative tendinopathy の3段階の病理モデルを提唱した(図15)[44, 45]。それらのモデルは便宜上3つの異なるステージで説明され

ていたが、ステージ間には連続性があるとされていた。特に初期の段階では、腱への負荷の増減が腱のステージを変化させる主要な因子であった。

このモデルの最初の段階では、急性の過負荷によって、細胞およびマトリックスにおける非炎症性増殖反応である reactive tendinopathy が発生する。これは、断面積を増加させることによって応力（力/単位面積）を減少させるために比較的均一な腱の肥厚をもたらす。膠原線維間の縦方向の離開がある場合もみられるが、コラーゲンの連続性はほとんど維持されており、神経血管構造にも変化はない。

そのまま適切な回復期間を設けずに過度な負荷がかかり続けると、次の段階である tendon dysrepair に進行する。これは膝蓋腱の修復の試みであり、軟骨細胞と線維芽細胞の数が全体的に増加し、その結果プロテオグリカン産生が増加し、コラーゲンの分離が生じる。この段階では、腱は腫脹したままだが、変化はいくぶん局所的となり、新生血管の増加を伴うこともある。

さらに進行すると、最終的には degenerative tendinopathy といわれる慢性期の所見を呈する。アポトーシスまたは腱細胞の消耗による細胞死の領域があり、新生血管とマトリックス分解産物で占められ、コラーゲン線維はほとんどみられない。そして、この段階では病理学的変化を可逆的にする能力はほとんどないとされている。

Fritschy らはジャンパー膝の超音波画像所見に関して、前述の病態とよく似た3段階の超音波所見の分類を提唱していた（表8）[46]。しかし、この分類では膝蓋腱の厚

さや性状の変化について述べられていたが、具体的な数値や評価の基準は示されていなかった。

膝蓋腱近位の具体的な厚さについて、Pfirrmannらはプロビーチバレーボール選手を対象とした超音波の評価にて、無症候者の膝蓋腱近位の厚さは平均 4.7 mm/4.8 mm (利き脚/非利き脚)、ジャンパー膝を有する選手では 7.6 mm/7.0 mm であったと報告している[47]。el-Khouryらは健常者とジャンパー膝患者のMRI所見を比較し、健常者は 3.7 mm、ジャンパー膝では 10.9 mm であったと述べている[48]。また、Johnsonらは若年アスリートのMRIにおいて、無症候者は 5.5 mm、ジャンパー膝患者では 8.5 mm と報告し[49]、Schmidらも同様に無症候者では 5.5 mm、ジャンパーでは膝 7.1 mm と報告している[50]。最近では、Golmanらがアスリートを対象とし、MRIでの膝蓋腱の部分断裂所見の有無も加味した研究にて、無症候者では 5.6 mm、膝蓋腱の部分断裂所見のある膝蓋腱症患者では 10.0 mm であったと報告している[51]。本研究でも、腱の厚さに関しては超音波・MRIともに同様の傾向を示しており、膝蓋腱症において腱の厚さが有意に増大していることは確実であろう。

加えて、その厚さの cut-off 値に関して、el-KhouryらはMRI矢状断像での腱近位の厚さのヒストグラムから、cut-off 値として 7.0 mm を示唆したが、統計学的な検討はなされていなかった[48]。あるいは、Golmanらはアスリートの膝蓋腱のMRI横断像において、7.46 mm より厚いことを基準とすると、感度 70.6 %、特異度 100 %であっ

たと報告していた[51]。本研究においては、膝蓋腱近位の厚さが 7.0 mm 以上であることが、臨床的なジャンパー膝か否かについて、超音波では感度 81.3%、特異度 95.6%、MRI 矢状断像では感度 100%、特異度 89.4%となり、どちらもジャンパー膝の優れた診断ツールになり得ると考えられた。先行研究との cut-off 値の違いは、MRI の横断像と矢状断像という断面の違いによる差が影響した可能性がある。さらに、超音波検査において同様の特徴を示した報告はこれまでになく、共通の指標が出来ることは臨床的に有用であると思われる。

続いて、膝蓋腱の性状評価に関する先行研究として、Lian らはエリート男子バレーボール選手の膝蓋腱を超音波で評価し、低エコー域はジャンパー膝を有する選手の 73%、無症状の選手の 20%にみられたと報告している[52]。Gisslèn らはエリートバレーボール選手と健常者に対して超音波検査を行い、低エコー域がジャンパー膝を有する選手では全員（100%）、無症状の選手では 19%、健常者では 10%にみられたと述べている。また、異常血流はジャンパー膝を有する選手全員（100%）と、無症状の選手の 10%にみられたが、健常者では 1 例も無かったと報告している[53]。さらに、Warden らはジャンパー膝 30 膝とコントロール 33 膝を対象に、超音波（低エコー域・異常血流）と MRI（STIR 高信号変化）の診断能を比較し、感度は超音波 87% vs MRI 57%、特異度は 82% vs 82%、正確度は 87% vs 70%と超音波検査の方が診断（スクリーニング）に有用であると述べている[54]。本研究においては、臨床的なジャン

パー膝ではいずれの画像所見も全例陽性で、感度は 100%であった。超音波検査は機器の性能や画質が年々進歩しており、特に低エコー域の評価は正確度が高く、その簡便さも考慮すると検診などのスクリーニングには非常に有用と考えられた。

一方、MRI での高信号変化はその有無で評価すると、特異度が 57%と低い結果となり、先行研究とは異なる傾向を示した。これは本研究で使用した MRI のシーケンス (T2\*強調) が先行研究 (STIR) とは異なることが一因と考えられる。膝蓋腱はプロトンの動きや配向を抑制する高度な秩序構造である I 型コラーゲンで構成されているため、通常はどのシーケンスでも均一な低信号帯として描出される。そして、脂肪抑制法の 1 つである STIR では、出血や浮腫などで組織中の水分が多くなると、その部分が選択的に高信号領域として描出される。一方、T2\*強調では無症候者の膝蓋腱においても高信号変化が散見され、腱内のより軽微な変化も反映している可能性が指摘されている [55]。このような違いから、土肥は筋・腱附着部の傷害に対して、病変の描出には STIR や脂肪抑制 T2 強調が、詳細の把握にはプロトン密度強調や T2\*強調が優れていると述べている [56]。また、Khan らはジャンパー膝の MRI 検査において、T2\*強調では他のシーケンス (T1 強調、T2 強調、STIR) と比較して腱内の信号変化が広範にみられることを報告し、これは腱内の小さな傷害に対する感度の高さを反映している可能性があるとして報告している [57]。さらに、McLoughlin らはジャンパー膝 15 例の T1 強調、T2 強調、T2\*強調および造影 MRI を撮像し、T1 強調と T2 強

調で中等度、T2\*強調で高信号となり造影効果のある部分は線維血管修復領域、T1 強調で低～中等度、T2 強調と T2\*強調で高信号となる非造影部分は腱鞘内の液体領域、すべてのシーケンスで中等度の信号の部分は変性または線維化領域と一致すると述べている[58]。また同報告では、T2 強調と T2\*強調の信号強度の違い（T2 強調では中等度、T2\*強調では高信号となる部分があること）について、急性期の修復反応により生じた組織の浮腫とそこに含まれる高分子の凝集体の存在により磁気が移動し、T2 強調（Fast spin echo 法）では信号強度が低下するが T2\*（Gradient echo 画像）ではその影響が少ないためではないかとも考察している。本研究では T2\*強調のみ撮像しており他のシーケンスとの比較はできないが、上記のような先行研究も踏まえると、高信号変化のジャンパー膝の診断における特異度の低さ、すなわち非ジャンパー膝群での高信号変化陽性例の多さは、発症の前段階あるいは無症候性の組織変化をみている可能性もあると考えられる。

また、検証(2)のように圧痛のみある膝について明確に区別して画像所見を比較した報告はほとんど無い。Cook らは若年アスリートを対象に、ジャンパー膝の臨床症状（運動時痛）の有無、圧痛の有無・程度、超音波所見を比較し、運動時痛が無くても中等度以上の圧痛があると超音波の異常所見が有意に多かったと報告しているが、超音波所見の詳細は記載されていなかった[59]。

本研究においても、ジャンパー膝群以外でも画像上の各異常所見の陽性例がみられたが、特に圧痛のみ群で高い陽性率を示しており、ジャンパー膝の前段階を見ている可能性があると考えられた。MRI の高信号変化は圧痛もない膝でも 3 割が陽性であったが、範囲が 70%以上と広範な例は少ない傾向にあった。これらの無症状の高信号変化が単なる偽陽性なのか、前述のように初期変化を捉えているのかはこの時点では判別が難しく、今後の経過を追跡調査することとした。

### 3.5. 小括

本研究はジャンパー膝の症状と画像所見に関して、超音波検査と MRI 検査を用いた検診を行い、圧痛のみある例も分けて検討したこれまでにない研究である。超音波検査および MRI 検査における膝蓋腱近位の厚さ、超音波での低エコー域、異常血流、MRI での高信号変化はジャンパー膝の症状を反映していた。一方で、ジャンパー膝を発症していないが上記の画像所見がみられる例も存在した。その多くで圧痛があり、ジャンパー膝の発症前段階を見ている可能性がある。

## 第 4 章 研究② 縦断研究

本研究は筑波大学医学医療系医の倫理委員会の承認を得て実施した（2019年3月6日;承認番号1362）。また、事前に全被験者に対してインフォームドコンセントを得てから開始した。

### 4.1. 目的

ジャンパー膝の症状と画像の経時変化、その関係性を明らかにすること。

仮説は、「検診で無症状でも画像所見陽性だった者は、その後ジャンパー膝を発症する」とした。

### 4.2. 対象と方法

#### 4.2.1. 対象

2019 および 2020 年度に筑波大学体育専門学群に入学した男女で、バレーボール・ハンドボール・バスケットボール部に入部し、入学時検診とフォローアップ検診の両方を受けた 62 人の両膝とした。入学時検診時の平均年齢  $18.1 \pm 0.4$  歳（18 - 20 歳）、男性 30 人、女性 32 人であった。競技種目の内訳はバレーボール 20 人、ハンドボー



ル 18 人、バスケットボール 24 人であった。研究①と同様に、膝蓋腱の手術歴のある膝は除外した。

#### 4.2.2. 追跡調査とフォローアップ検診

入学時の検診後、各所属部活動のトレーナーより傷害発生状況の報告を受けた。また、年度の切り替え時期にフォローアップのジャンパー膝検診と、膝蓋腱の超音波検査、MRI 検査を同日に実施した。ジャンパー膝検診および画像検査の方法は研究①と同様の条件とした。

#### 4.2.3. 検証項目と統計解析

入学時とフォローアップ時のジャンパー膝検診での評価を比較し、臨床的なジャンパー膝の発症または改善と、圧痛の出現または消失について記録した。

また、対象全体における各画像検査項目について経時的に比較した。このうち、定量的な膝蓋腱の厚さに関しては Wilcoxon 符号付順位和検定を用いて比較した。

さらに、観察期間中に臨床的なジャンパー膝を発症した例、症状が改善した例を抽出し、各画像検査項目の経時変化との関係について検討した。有意水準はいずれも 5% 未満とした。

## 4.3. 結果

### 4.3.1. ジャンパー膝の発症状況

2019年に入学時の検診を受けた選手42人84膝から、骨付き膝蓋腱を用いた前十字靭帯再建術後の1膝と、1年目に海外留学した1人2膝、部活動を離脱した2人4膝が除外となり、39人77膝となった。2020年に入学して検診を受けた23人46膝は全員2年目にも加わり、2学年で合計62人123膝を評価対象とした。

123膝のうち、10人（男性7人、女性3人）14膝（11.4%）は初回検診時に臨床的なジャンパー膝と判断された。残りの109膝のうち、観察期間中に臨床的なジャンパー膝を発症した例（入学前に既往があった例の再発含む）は、7人（男性4人、女性3人）9膝（8.3%）であった。全例が1年生の間に発症していた。また、明らかなジャンパー膝の既往がなく、完全に新規に発症したと考えられるのは3膝のみであった。一方、観察期間中にジャンパー膝の症状の改善が、4人（男性1人、女性3人）5膝でみられた（図16）。

### 4.3.2. 画像所見の変化と臨床症状との関係

対象全体において、初回検診時と最終検診時の膝蓋腱近位の厚さを比較すると、超音波では初回 $5.5 \pm 1.5$  mm、最終 $5.7 \pm 1.5$  mm、MRIでは初回 $6.0 \pm 1.9$  mm、最終 $6.3 \pm 1.8$  mmであり、ともに有意な変化はみられなかった（図17a）。

観察期間中に臨床的なジャンパー膝を発症した9膝について、発症前後の膝蓋腱近位の厚さを比較すると、超音波、MRIともに有意に厚さが増大していた（超音波：発症前  $5.9 \pm 1.6$  mm, 発症後  $7.2 \pm 1.1$  mm ;  $p < 0.05$ 、MRI：発症前  $6.4 \pm 1.6$  mm, 発症後  $8.3 \pm 1.8$  mm ;  $p < 0.05$ ）（図 17b）。一方、ジャンパー膝の症状の改善がみられた5例では超音波、MRIともに減少傾向がみられたが有意差は無かった（超音波：有症時  $8.0 \pm 1.6$  mm, 改善後  $7.5 \pm 1.2$  mm ;  $p = 0.50$ 、MRI：有症時  $9.6 \pm 2.0$  mm, 発症後  $9.1 \pm 1.3$  mm ;  $p = 0.34$ ）。

次に、対象全体の初回と最終検診時の性状評価を比較すると、低エコー域の陽性率は初回 16.3%（20膝）、最終 21.1%（26膝）、異常血流は初回 22.8%（28膝）、最終 17.1%（21膝）と、経過とともに多少の増減はあるものの有意な変化はみられなかった（図 18a, b）。MRI 高信号変化も陽性率が初回 43.1%（53膝）、最終 35.0%（43膝）で、膝蓋腱に占める割合もそれぞれ減少傾向であったが、有意な変化はみられなかった（図 18c）。

期間中に臨床的なジャンパー膝を発症した9例を抽出すると、低エコー域の陽性率は発症前 33.3%（3膝）、発症後 66.7%（6膝）、異常血流は発症前 55.6%（5膝）、発症後 100%（9膝）、MRI 高信号変化は発症前 55.6%（5膝）、発症後 100%（9膝）であり、いずれも症状発症の前後で増加していた。一方、ジャンパー膝の症状の改善がみられた5例を抽出すると、低エコー域の陽性率は有症時も改善後も 80.0%（4

膝)であった。MRI 高信号変化も経過を通して 100% (5 膝)であったが、その割合は一部で縮小傾向がみられた。一方、異常血流の陽性率は有症時 100% (5 膝)、改善後 60.0% (3 膝)と減少傾向がみられた (図 18a-c)。

#### 4.3.3. ジャンパー膝発症例の発症前の画像所見

期間中にジャンパー膝を発症した 9 膝の発症前の所見を表 9 に示す。ジャンパー膝を発症した群の膝蓋腱近位の厚さは非発症群より厚い傾向があった (超音波 :  $5.9 \pm 1.6$  mm vs  $5.0 \pm 0.9$  mm ;  $p = 0.10$ , MRI :  $6.4 \pm 1.6$  mm vs  $5.5 \pm 1.2$  mm ;  $p = 0.09$ )。腱の性状についても、超音波での低エコー域の陽性率は発症群 33.3%、非発症群 3.0%、異常血流は発症群 55.6%、非発症群 11.0%、MRI 高信号変化も発症群 55.6%、非発症群 35.0%と、いずれも発症した例では初回検診時から高い傾向がみられた。

ただし、この発症群 9 膝のうち、6 膝は初回検診時の問診にて大学入学前にジャンパー膝の既往があったと考えられた。すなわち、残りの 3 膝は大学入学後に初めて発症したと考えられたが、それら 3 膝の膝蓋腱近位の厚さは 4~5 mm 台、低エコー域は無く、異常血流と高信号変化はそれぞれ 2 膝ずつ陽性であった。

#### 4.4. 考察

これまでも、ジャンパー膝の発症やリスク因子についての前向き研究はいくつか報告されている。Witvrouw らが行った欧州の体育大学の学生 138 人を対象とした 2 年間の追跡調査では、ジャンパー膝の発生率は 13.8%であった[34]。また、Visnes らがバレーボール選手では 18.7%、Backman らがバスケットボール選手では 16.0%とそれぞれ報告している[28, 29]。

本研究においては、対象の 123 膝中 14 膝（11.4%）は初回検診時から臨床的なジャンパー膝があり、残りの 109 膝のうち 1～2 年の観察期間中に 9 膝（8.3%）で臨床的なジャンパー膝を発症した。また一方で、5 膝では観察期間中に症状の改善が得られた。本研究の対象者はジャンパー膝の発生率が高いとされている種目の大学生エリートアスリートであり、先行研究を参考にするともう少し多く発症することも予想されたが、実際には発症率は 8.3%であった。発症者が増えなかった一因として、2020 年になり流行した Covid-19 感染症への対策のため、経過中に活動量が著しく減少した影響が考えられる。実際、今回の観察期間中に発症した 9 膝の内訳をみると、8 膝が 2019 年度の新入生で、いずれも初年度の 1 年生のうちに発症していた。一方で、症状が改善した 5 膝中 4 膝が 2020 年度の活動制限があった時期に運動時痛が治まっていた。

画像所見の変化に関する追跡調査も複数行われている。Cookらは男性アスリート46膝を対象とした4年間の追跡調査から、6膝(13.0%)でジャンパー膝を発症し、全例で発症後は異常所見(腱の腫脹、低エコー域)があったが、初回の超音波検査での異常所見の有無により発生リスクに有意差は無く、初回MRI検査のT1およびT2強調画像では異常所見が無かったと報告した[60]。その後、Gisslénらはエリートジュニアバレーボール選手に対して超音波を用いた追跡調査を3年間行い、初回到臨床症状も画像上の異常所見(低エコー域、異常血流)も無かった群はジャンパー膝の発症リスクが低い可能性があるとして報告した[61]。また、Visnesらもエリートジュニアバレーボール選手141人を対象として超音波を用いた追跡調査を行い、平均1.7年の観察期間で35膝(12.4%)のジャンパー膝発症がみられ、多変量解析により初検時の低エコー域(OR 3.3)および異常血流(OR 2.7)の存在が有意な発症リスク因子であると述べている[40]。さらに、McAuliffeらによるシステマティックレビューのメタアナリシスにおいても、膝蓋腱の超音波異常所見はジャンパー膝の発症予測因子となり得る(RR = 4.35)と述べられている[62]。しかし、この報告で用いられた先行研究は超音波の異常所見の定義にばらつきがあるほか、超音波画像上の異常所見のみではリスク度合いは説明できず、身体的特性や運動量など他の因子との組み合わせが必要であると結論付けられている。一方、ジャンパー膝のMRI所見に関する追跡調査はほとんど

実施されていないうえ、超音波より撮像条件にも幅があり、経過とともに画像所見がどのように推移するのかは明らかになっていなかった。

本研究においても、先行研究同様にジャンパー膝を発症した例の超音波検査では腱の肥厚や低エコー域、異常血流などの特徴的な異常所見が出現することが確認できた。

また、MRIでも高信号変化の出現・拡大がみられた。一方、症状が改善した例では膝蓋腱の厚さや異常血流は軽減したが、超音波での低エコー域・MRIでの高信号変化は残存する傾向がみられた。このことから、超音波での低エコー域やMRIでの高信号変化は、膝蓋腱近位でのコラーゲンの分解や新生血管など、すぐには消失しない組織学的な変化を捉えているものと推察される。

また、前述のように先行研究では超音波での低エコー域が発症予測因子である可能性が示唆されていたが、本研究においても観察期間中に発症した9膝のうち発症前に低エコー域があった例は3膝（33.3%）であり、非発症群（3.0%）よりも多かった。しかし、この3膝は初回検診時の問診で入学前にジャンパー膝の既往があったと考えられた例であり、既往がなく新規発症と考えられた3膝ではいずれも低エコー域はみられなかった。一方、超音波での異常血流も発症予測因子である可能性が示唆されていたが、本研究でも発症した9膝中5膝（55.6%）で発症前から陽性、既往が無いと判断した3膝中2膝（66.7%）でも発症前から陽性であり、発症前からの陽性率は非発症群（11.0%）よりも高い傾向があった。MRIでの高信号変化については、研究3の

考察でも述べたように無自覚な早期の組織変化を反映している可能性もあると考えていた。本研究では発症した9膝中5膝（55.6%）、そのうち既往が無いと判断していた3膝中2膝（66.7%）で発症前から陽性であり、これも発症前からの陽性率は非発症群（35.0%）より高い傾向があった。しかし、これらの発症前の所見に関して多変量解析で有意なリスク因子を同定することは出来ず、新規発症者数がまだ少ないことが一因と考えられた。

#### 4.5. 小括

ジャンパー膝の画像所見のうち、膝蓋腱の厚さや異常血流は症状と共に変化するが、低エコー域とMRI高信号変化は症状改善後も残る傾向があった。新規発症者は、発症前に画像上の変化を持つ割合が高い傾向があったが、統計学的にリスク因子を示すには発症者の数が十分でなかった。



## 第5章 総括

### 5.1. 考察

本研究ではジャンパー膝の疼痛発症前の画像上の特徴（画像的リスク因子）を明らかにすべく、大学生アスリートを対象に検診と追跡調査を実施した。初年度の横断調査では、膝蓋腱の超音波検査における腱近位の厚さ、低エコー域、異常血流およびMRI検査における腱近位の厚さ、高信号変化は先行研究同様にジャンパー膝の症状を反映していた。また、運動時に痛みの自覚がなく、臨床的にジャンパー膝とは診断されない状態でも上記の画像所見がみられる例が存在していた。本研究の条件においては、超音波で正確度がより高く、MRIでは特異度が低い傾向がみられたが、各画像所見の陽性例の多くで膝蓋腱近位に圧痛があり、傷害発症の前段階を見ている可能性もあると考えられた。

続いて実施した縦断調査では、膝蓋腱の画像所見の経時的な変化を追うことで、腱の厚さおよび異常血流は症状と共に変化するが、低エコー域とMRI高信号変化は症状改善後も残存する傾向がみられた。また、観察期間中にジャンパー膝を発症した者は、発症前から画像上の変化、特に異常血流とMRI高信号変化を持つ割合が高い傾向があった。しかし、この2年分のデータから画像上のリスク因子を統計学的に検証するには、期間中の発症者数が十分でなかった可能性がある。

本研究にはいくつかの限界点がある。1つ目はMRIの磁場強度が0.18Tと低い  
ため、近年の診療現場で主に用いられる1.5Tや3.0Tの装置と比較して解像度が低く、  
シークエンスの選択肢も少なかった点が挙げられる。この点に関して、撮像した膝蓋  
腱の厚さ測定における検者間信頼性は良好であり、信号変化についても同装置で経時  
的に比較するには許容できると判断した。一方、同装置にて鮮明なSTIR画像が得ら  
れず、撮像シークエンスがT2\*強調画像に限られたことが、考察でも述べたように、  
腱内の高信号変化の特異度の低さや解釈の限界の一因であったと考えている。

2つ目は、検診の間隔が1年と長いことであり、症状が出現したタイミング次第では  
発症後早期の画像が得られていない場合がある。同様に、観察期間中に発症したが申  
告前に改善した場合の変化や、自覚症状のない画像変化が起きていても捉えきれてい  
ない可能性がある。

3つ目は、予期せぬ感染症の流行および社会情勢の変化により、観察期間中に活動量  
の大幅な増減が生じ、厳密にはアスリートの活動継続中の自然経過とは言えない時期  
が約3ヶ月（2020年4月～6月）あった点である。結果的に、新規発症者が2019年  
度は8人いたものの、2020年度は1人のみと差が大きく、統計学的にリスク因子を示  
すには発症者数が少なかった可能性がある。

4つ目は、本研究は対象が大学生、そのうえ活動量の高いトップレベルのアスリートに限定されている点である。これは本研究の特徴でもあるが、今回得られた結果が年代や運動レベルの異なる集団に対しても当てはまるのか、あらためて検証が必要と考えられる。

## 5.2. 今後の展望

本研究は当初から入学後4年間の追跡調査を予定している。現在3年目の追跡調査を実施しているが、既に新規発症者の報告も得られており、今後さらに新規発症者が増えることが見込まれる。そして、過去の報告でリスク因子であることも示唆されている対象者の身体的特徴（身長、体重、大腿四頭筋およびハムストリングタイトネス、股関節および足関節可動域など）の情報も加えた上で、多変量解析など発症リスクについての統計学的な検討を進めていく。

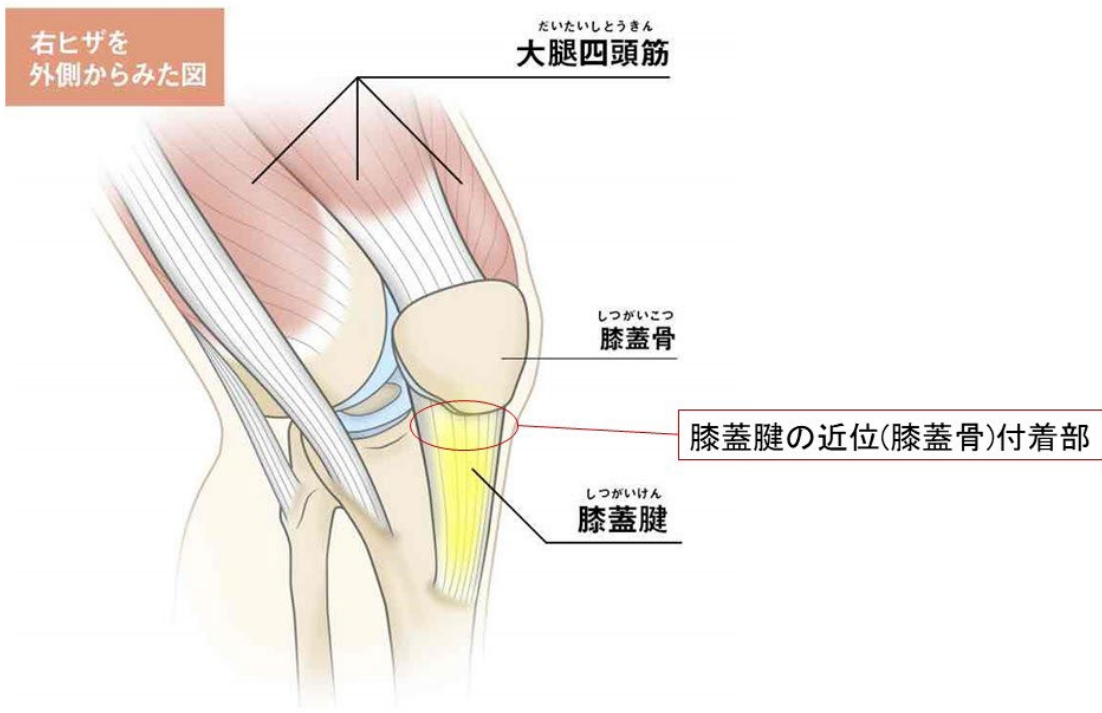
また、本研究では入学時に既に約10%の選手がジャンパー膝を発症しており、より若年である高校生や中学生を対象とした調査も必要と考えられる。

そして次のステップであるリスク群に対する介入として、予防プログラムを作成し[63, 64]、介入前後での発症率や画像所見の変化の調査へと繋げる方針である。

### 5.3. 結論

超音波と MRI の両方を用いて大学生アスリートの膝蓋腱の検診と追跡調査を行い、ジャンパー膝の発症と画像所見との関連について調査した。ジャンパー膝を発症した選手は発症前から画像上の変化を持つ割合が高い傾向がみられた。

☒



1. ジャンパー膝の好発部位

出典：[https://www.mcdaavid.co.jp/sportmed\\_case/jumpers-knee/](https://www.mcdaavid.co.jp/sportmed_case/jumpers-knee/)

**VICTORIAN INSTITUTE OF SPORT ASSESSMENT SCALE**

1. For how many minutes can you sit pain-free? POINTS

0 mins             100 mins

2. Do you have pain walking downstairs with a normal gait cycle? POINTS

strong severe pain             no pain

3. Do you have pain at the knee with full active non weight bearing knee extension? POINTS

strong severe pain             no pain

4. Do you have pain when doing a full weight bearing lunge? POINTS

strong severe pain             no pain

5. Do you have problems squatting? POINTS

unable             no problems

6. Do you have pain during or immediately after doing 10 single leg hops? POINTS

strong severe pain/ unable             no pain

7. Are you currently undertaking sport or other physical activity? POINTS

0  Not at all  
 4  Modified training ± modified competition  
 7  Full training ± competition but not at same level as when symptoms began  
 10  Competing at the same or higher level as when symptoms began

8. Please complete EITHER A, B or C in this question.  
 \* If you have **no pain** while undertaking sport please complete **Q8a** only.  
 \* If you have **pain while undertaking sport but it does not stop you** from completing the activity, please complete **Q8b** only.  
 \* If you have **pain that stops you from completing sporting activities**, please complete **Q8c** only.

23

8a. If you have no pain while undertaking sport, for how long can you train/practise?

NIL	0-5 mins	6-10 mins	11-15 mins	>15 mins
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	7	14	21	30

POINTS

8b. If you have some pain while undertaking sport, but it does not stop you from completing your training/practice, for how long can you train/practise?

NIL	0-5 mins	6-10 mins	11-15 mins	>15 mins
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	4	10	14	20

POINTS

8c. If you have pain that stops you from completing your training/practice, for how long can you train/practise?

NIL	0-5 mins	6-10 mins	11-15 mins	>15 mins
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	2	5	7	10

POINTS

**TOTAL VISA SCORE**

図 2. VISA-P スコア[6]

## 4 step sequence of injury prevention research

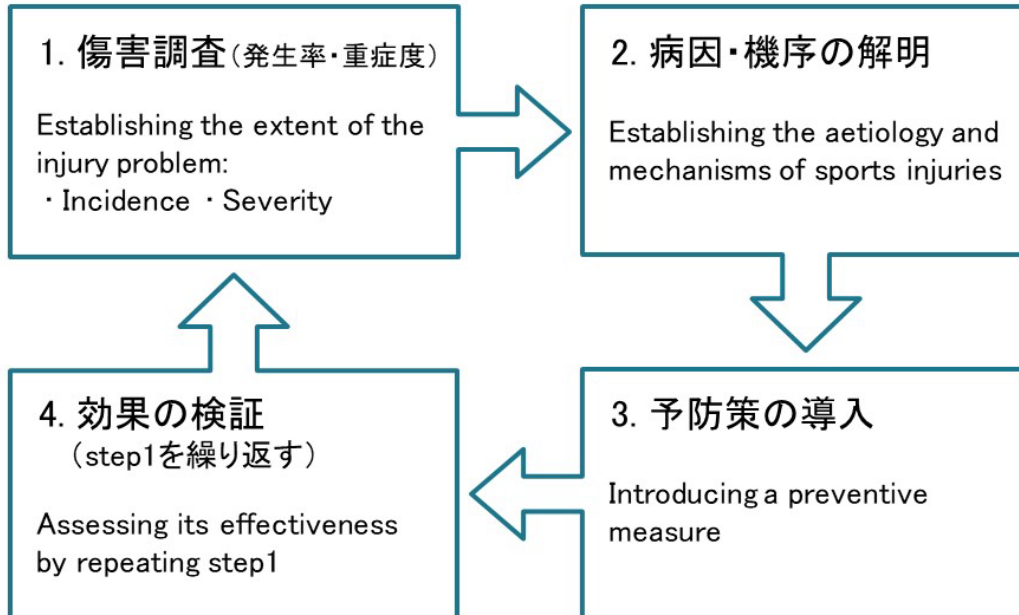


図 3. 傷害予防研究における 4 つのステップ[27]





図 4. 超音波検査

a : 超音波検査装置 (日立メディコ社 HI VISION Preirus®)

b : リニア型プローブ (日立メディコ社 EUP-L53®)

c : 専用の膝枕

d : 膝屈曲 30°

e : 膝蓋腱長軸の描出位置

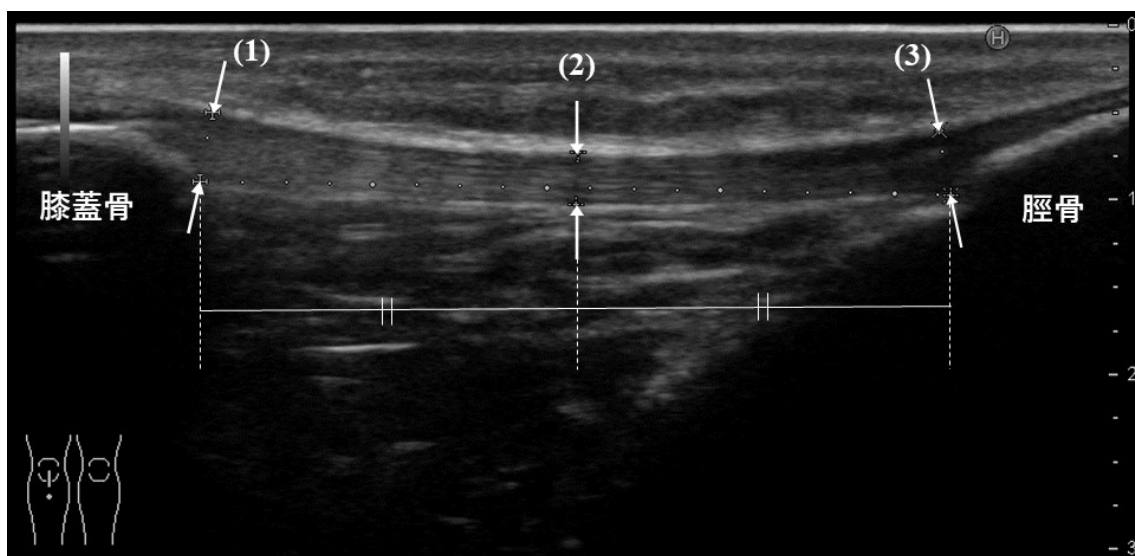


図 5. 超音波を用いた腱の厚さ測定

(1) 近位端 (2) 中央 (3) 遠位端

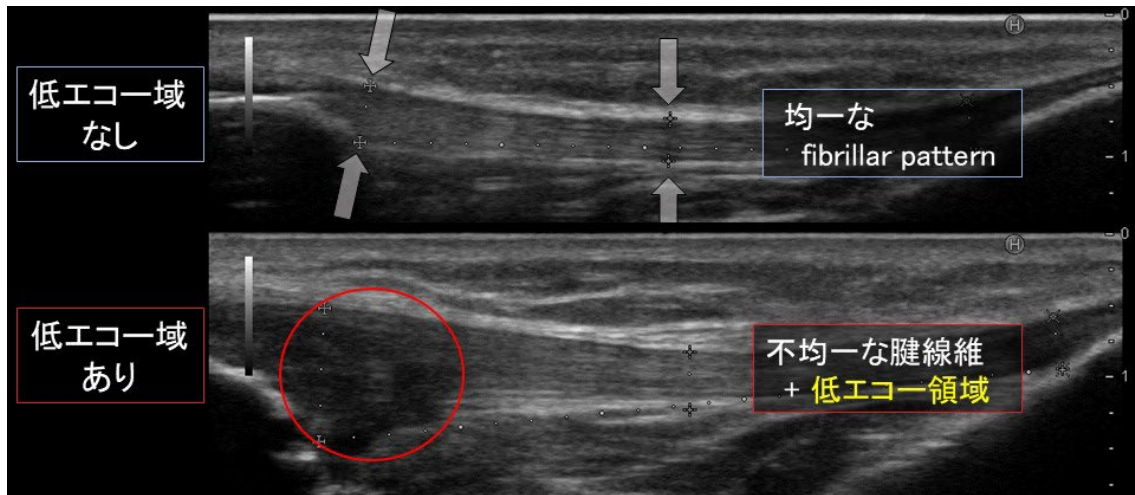


図 6. 超音波を用いた腱内の低エコー域の評価

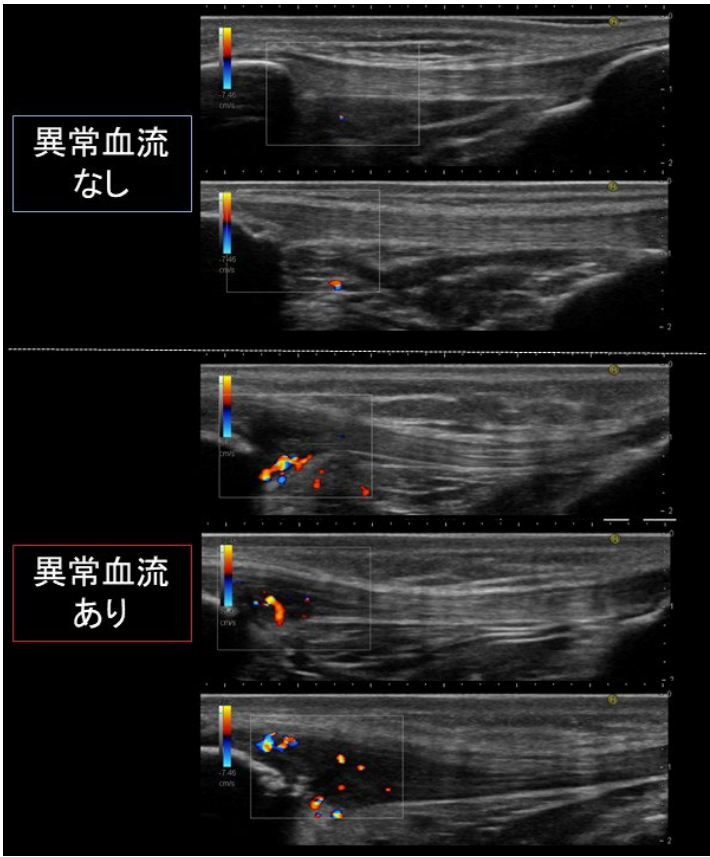


図 7. 超音波を用いた腱内の異常血流の評価



図 8. MRI 検査

a : MRI 検査装置 (Esaote 社 四肢用 MRI 装置 C-Scan®)

b : 撮像姿勢

c : 検査側の足部固定具、膝屈曲角度の調整が可能

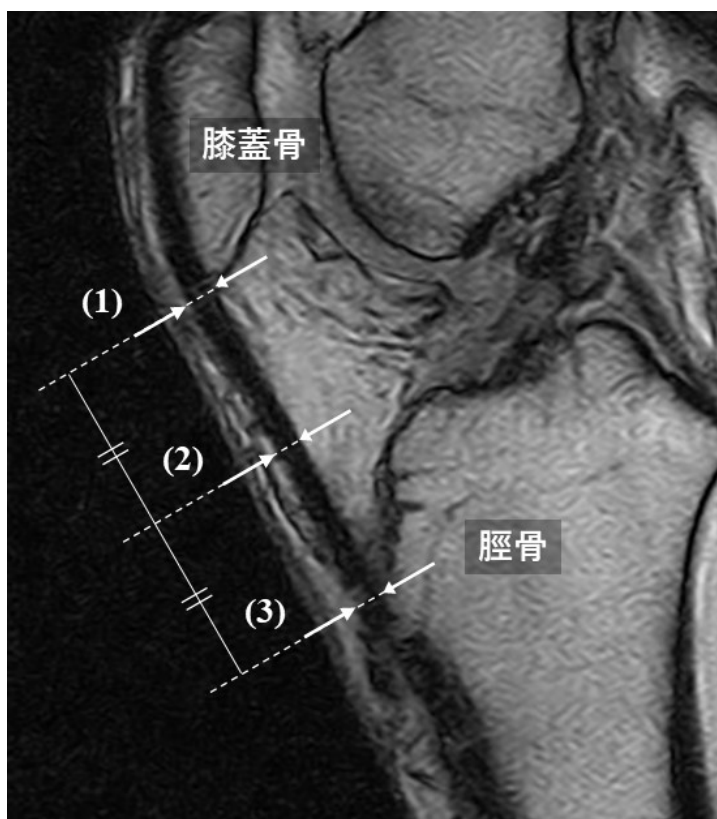


図9. MRI を用いた腱の厚さ測定

(1) 近位端 (2) 中央 (3) 遠位端

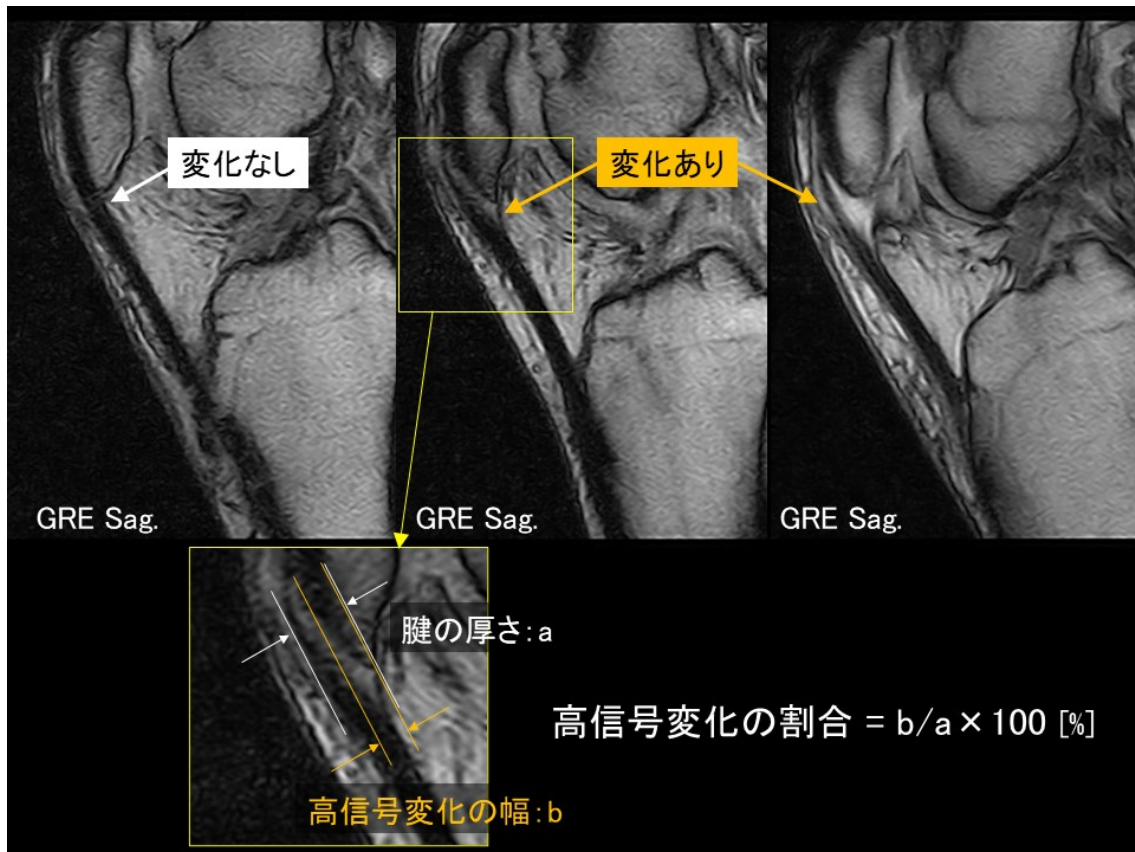
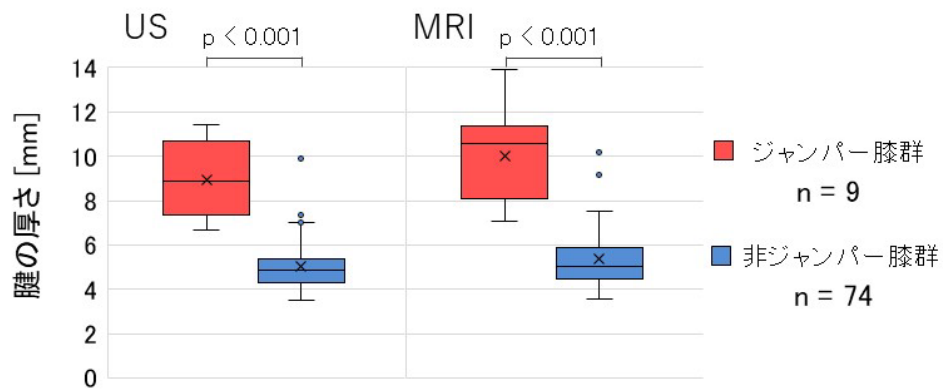


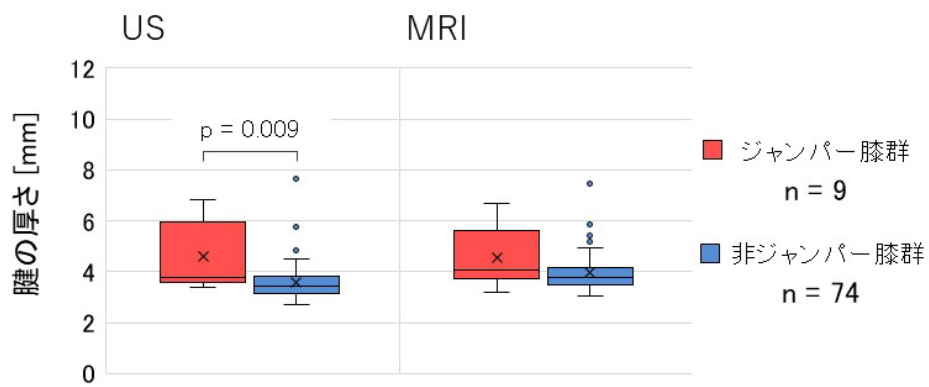
図 10. MRI を用いた腱内の高信号変化の評価



(a) 膝蓋腱近位



(b) 膝蓋腱中央



(c) 膝蓋腱遠位

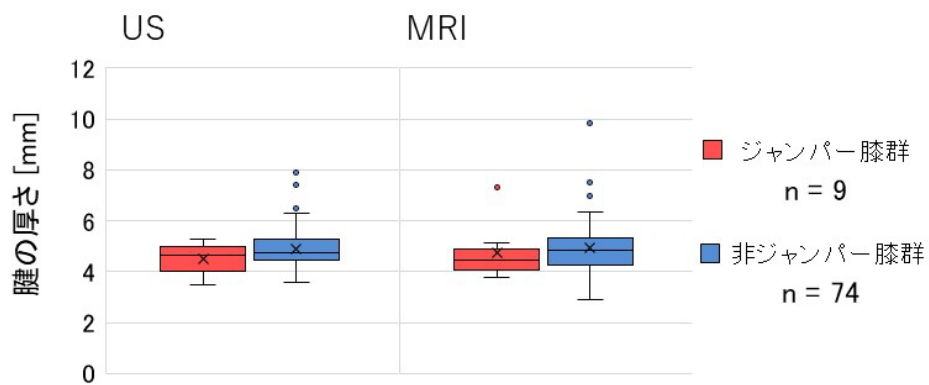


図 11. 膝蓋腱の厚さとジャンパー膝か否かとの比較

a : 膝蓋腱近位 b : 膝蓋腱中央 c : 膝蓋腱遠位

Mann-Whitney の U 検定



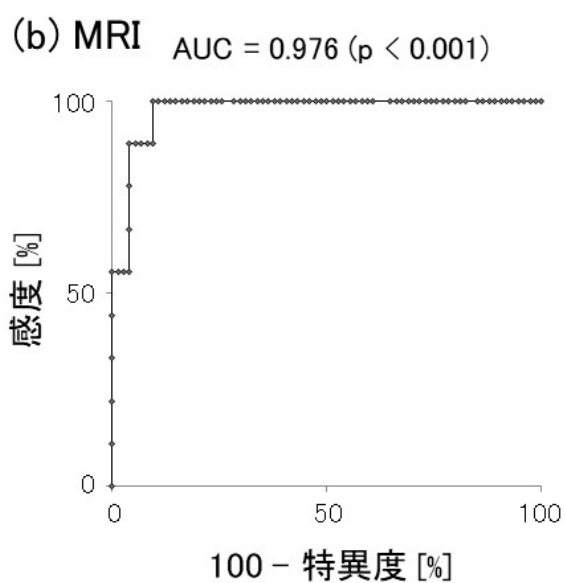
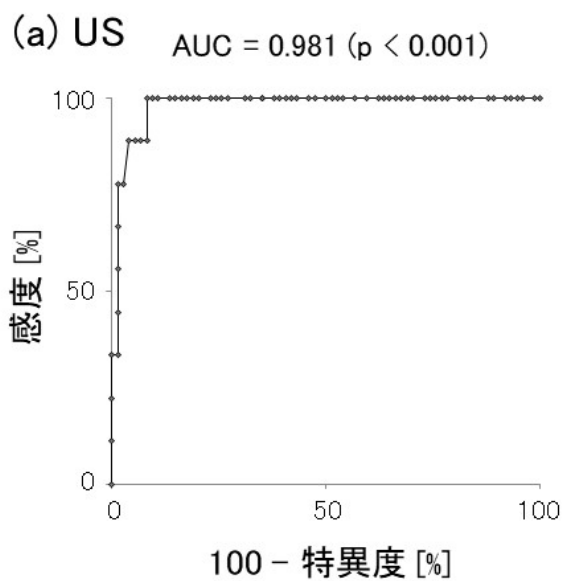


図 12. ROC 曲線、膝蓋腱近位の厚さとジャンパー膝の有無

a : 超音波 Youden index = 6.67 mm (感度 100%, 特異度 91.9%)

b : MRI Youden index = 7.08 mm (感度 100%, 特異度 90.5%)

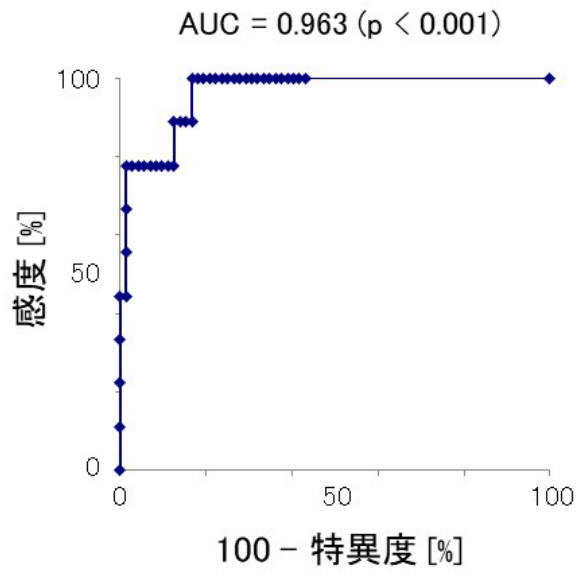


図 13. ROC 曲線、膝蓋腱内の MRI 高信号変化の割合とジャンパー膝の有無

Youden index = 69.3% (感度 100%, 特異度 83.3%)

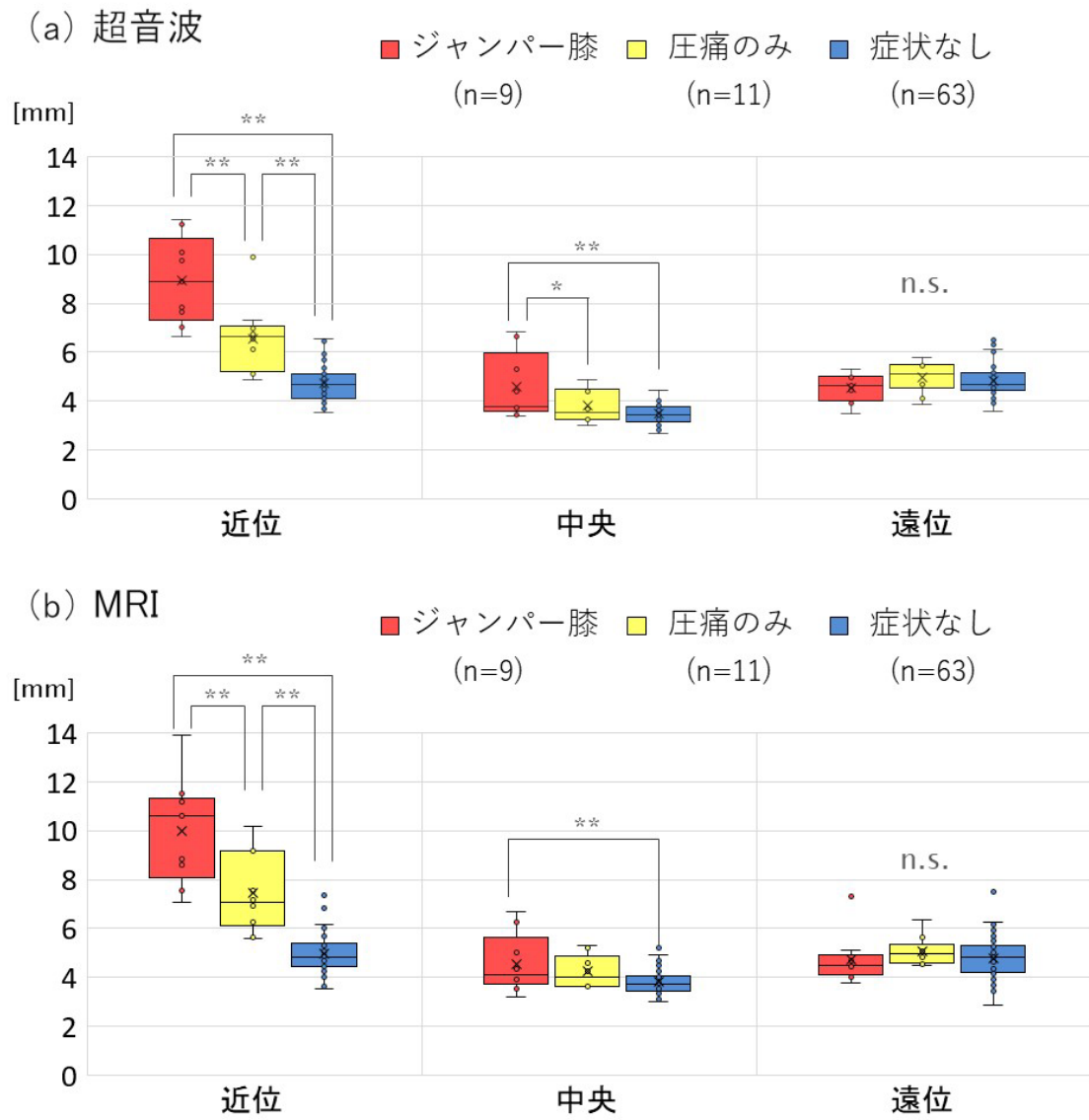


図 14. 膝蓋腱の厚さ、3 群間での比較

a : 超音波    b : MRI

一元配置分散分析 (事後検定 : Tukey-Kramer)    \* :  $p < 0.05$     \*\* :  $p < 0.01$

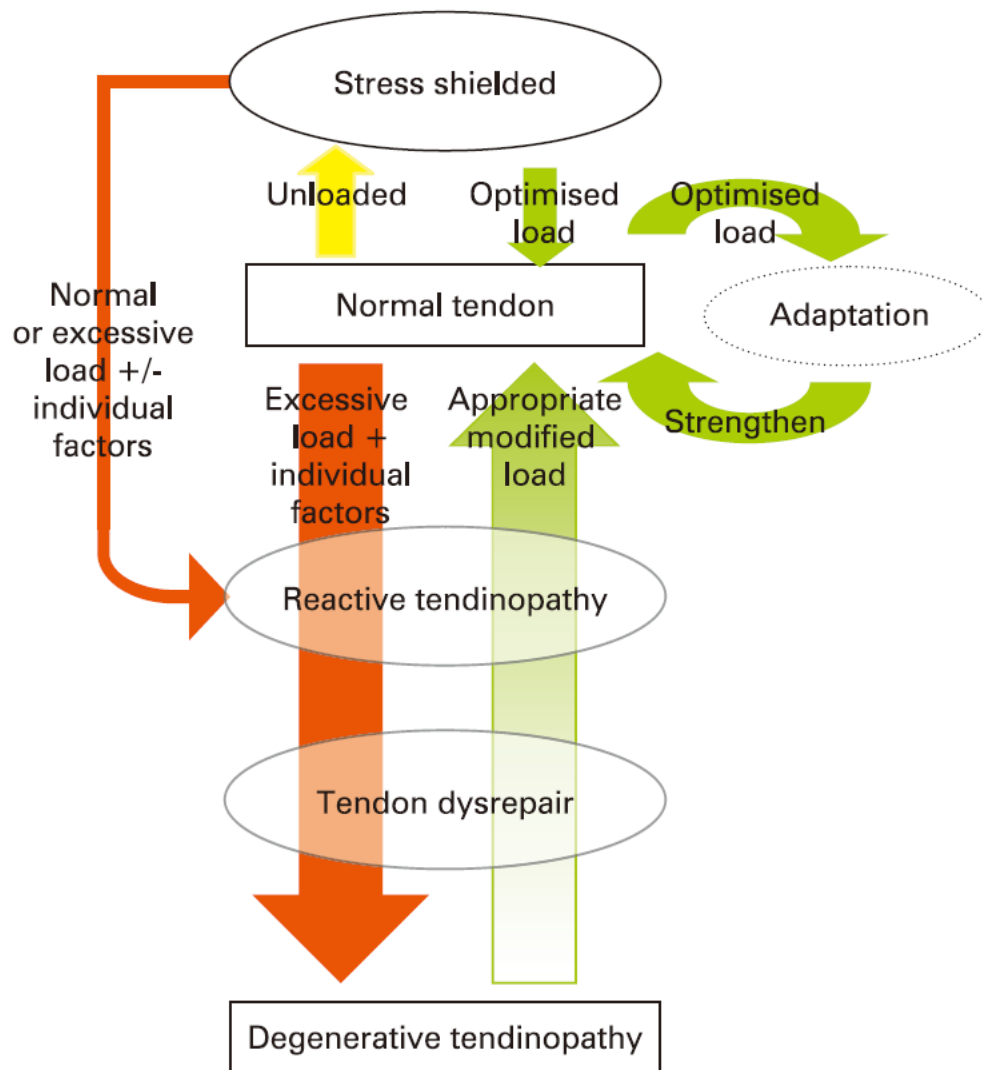
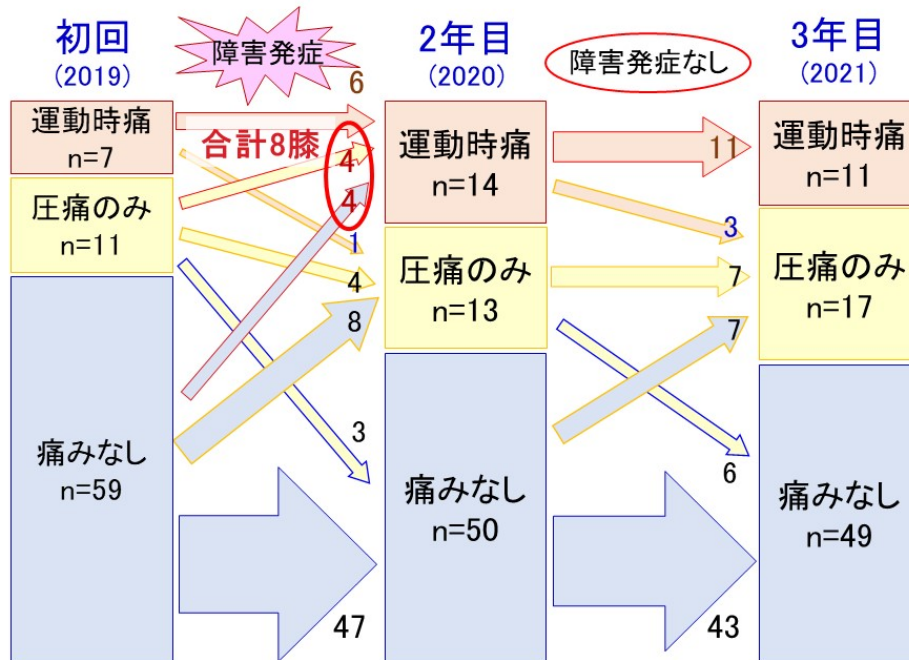


図 15. 3 段階の病理モデル[44]

(a) 2019年度 新入生 (n=77)



(b) 2020年度 新入生 (n=46)

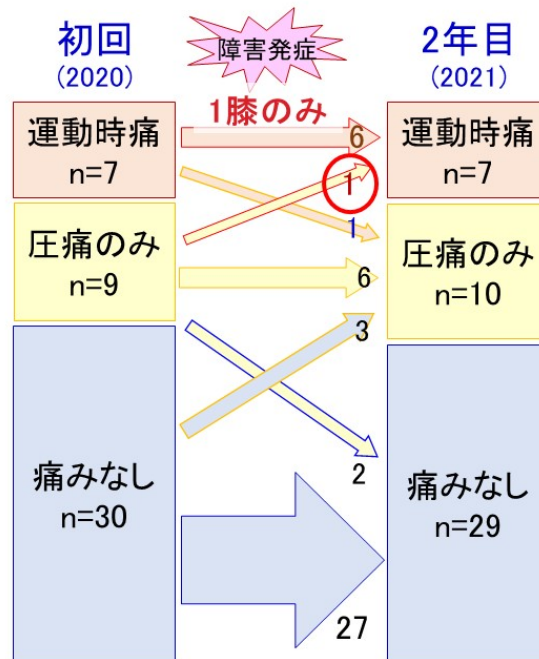


図 16. 臨床症状の経時変化

a : 2019 年度入学者      b : 2020 年度入学者

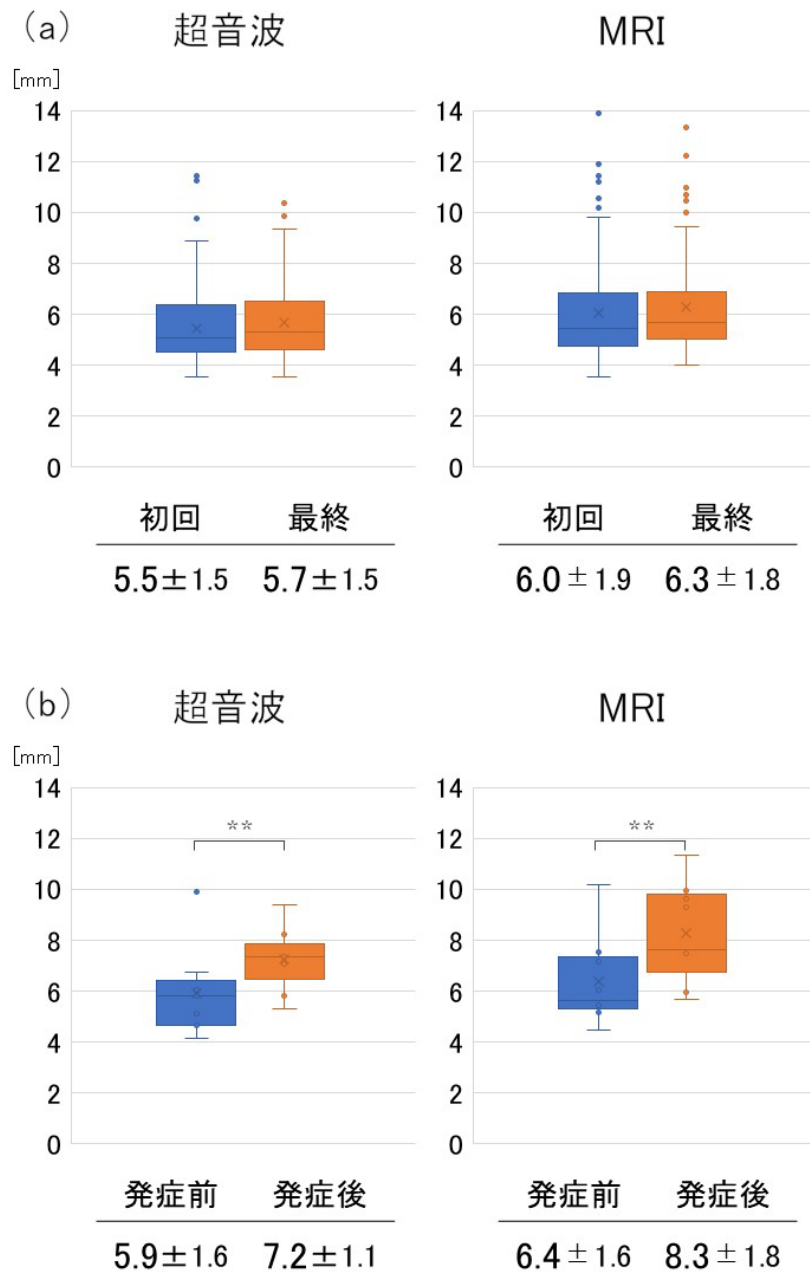


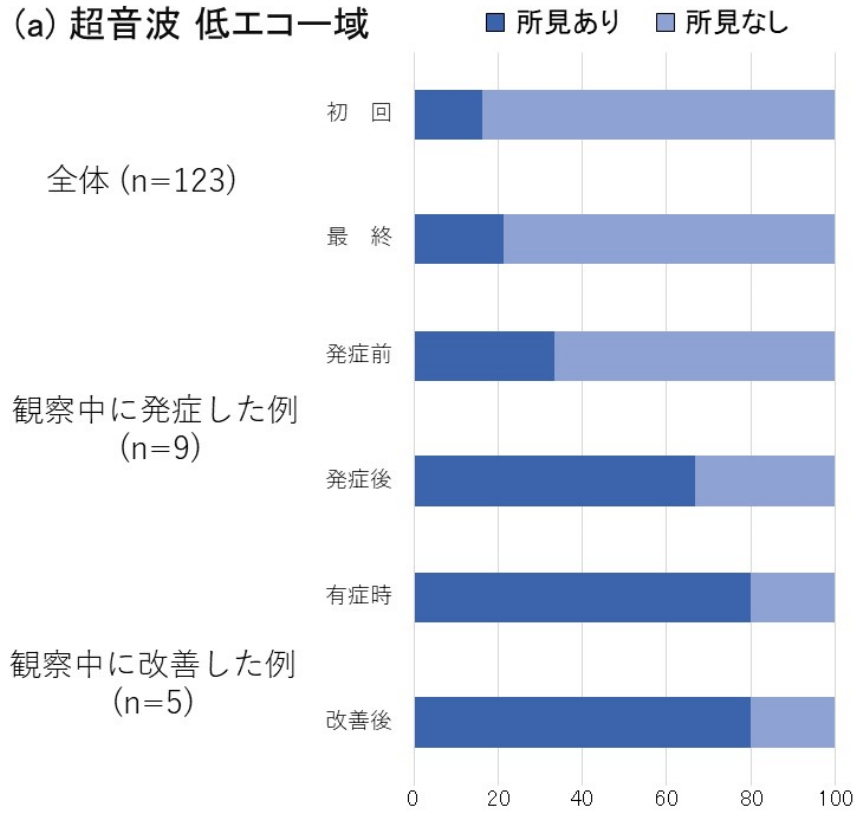
図 17. 膝蓋腱近位の厚さの経時変化

a : 対象全体 (n=129)

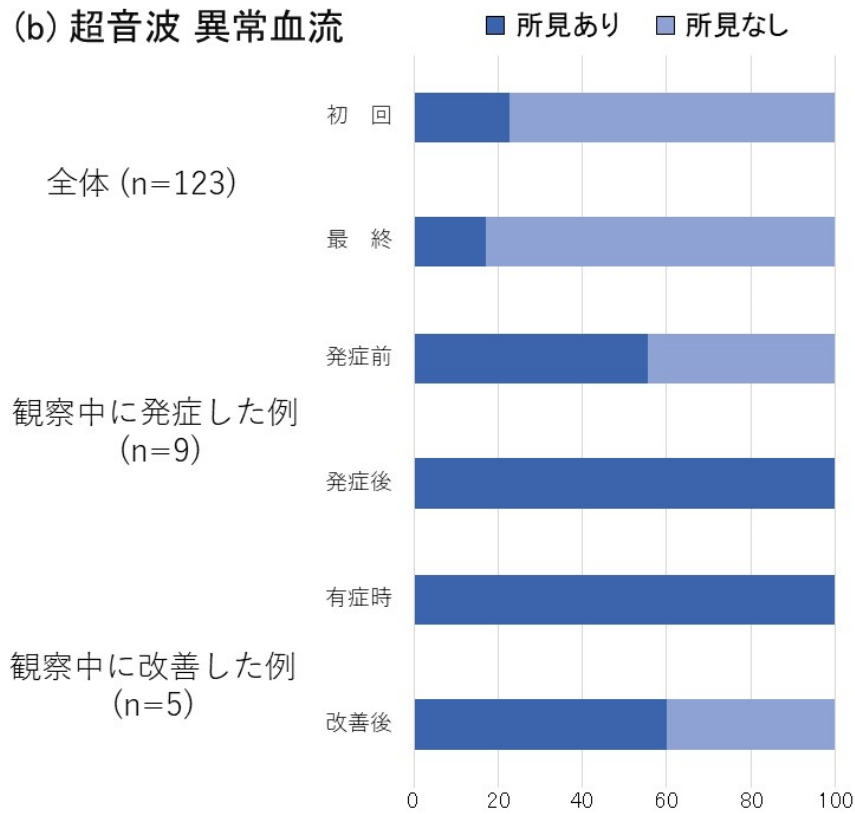
b : 観察期間中にジャンパー膝を発症した例 (n=9)

Wilcoxon 符号付順位和検定 \* :  $p < 0.05$  \*\* :  $p < 0.01$

(a) 超音波 低エコー域



(b) 超音波 異常血流



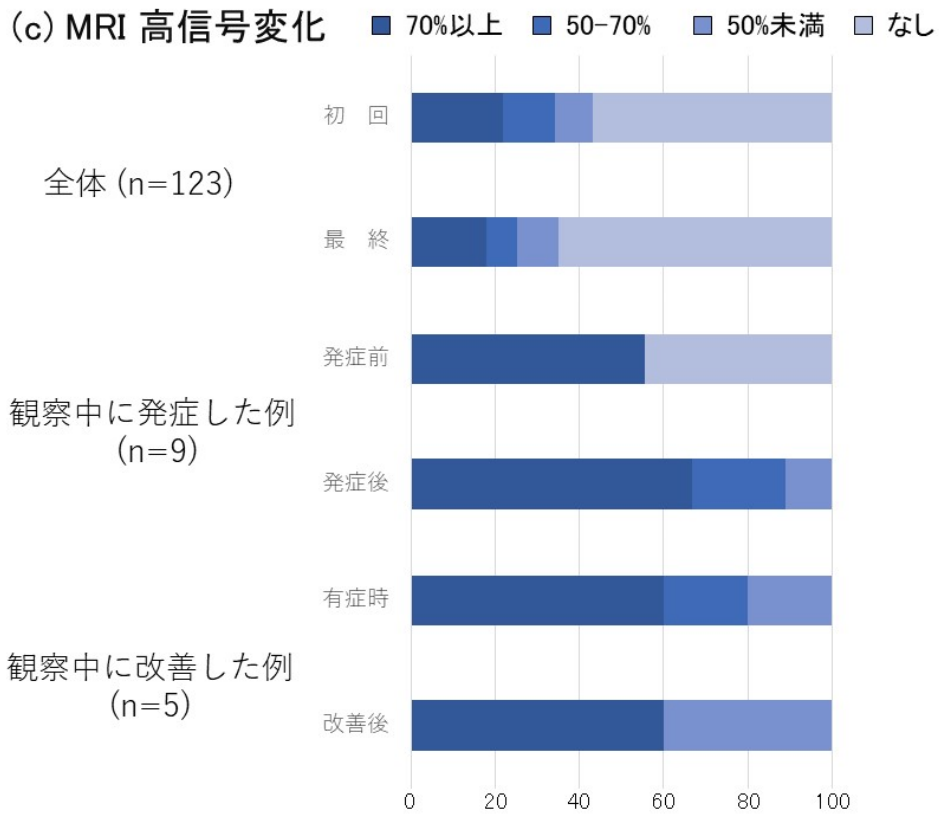


図 18. 膝蓋腱の性状（各所見の陽性率）の経時変化

a : 超音波 低エコー域の有無

b : 超音波 異常血流の有無

c : MRI 高信号変化の割合



表

表 1. Roels 分類[5]

Phase 1	運動後のみ疼痛がある
Phase 2	運動の前後には疼痛があるが、運動中は疼痛がない状態
Phase 3	活動中や活動後の痛みのため、スポーツに参加できない状態
Phase 4	腱の完全断裂

表 2. 対象全体の膝蓋腱の厚さ (n = 83)

		超音波	MRI
膝蓋腱の厚さ [mm]	近位端	5.5 ± 1.7	5.9 ± 2.0
	中央	3.7 ± 0.8	4.0 ± 0.8
	遠位端	4.9 ± 0.7	4.9 ± 1.0

平均 ± 標準偏差

表 3. 腱の性状評価（異常所見の有無）とジャンパー膝か否か

		ジャンパー膝群 (n=9)	非ジャンパー膝群 (n=74)	$\chi^2$ 二乗検定 p 値
超音波 低エコー域	あり	9	6	< 0.001
	なし	0	68	
超音波 異常血流	あり	9	14	< 0.001
	なし	0	60	
MRI 高信号変化	あり	9	32	= 0.0013
	なし	0	42	

表 4. 腱の性状評価（異常所見の有無）によるジャンパー膝の診断能

	感度 [%]	特異度 [%]	正確度 [%]
超音波 低エコー域	100	91.9	92.8
超音波 異常血流	100	81.1	83.1
MRI 高信号変化	100	56.8	61.5

表 5. MRI での高信号変化の割合とジャンパー膝か否か

MRI 高信号変化の割合	ジャンパー膝群 (n=9)	非ジャンパー膝群 (n=74)
70% 以上	8	13
50 – 70%	1	12
50% 未満	0	7
なし	0	42

表 6. 腱の性状評価（異常所見の有無）、3 群間での比較

		ジャンパー膝群 (n=9)	圧痛のみ群 (n=11)	症状なし群 (n=63)
超音波 低エコー域	あり	9	6	0
	なし	0	5	63
超音波 異常血流	あり	9	9	5
	なし	0	2	58
MRI 高信号変化	あり	9	11	21
	なし	0	0	42

表 7. MRI での高信号変化の割合、3 群間での比較

MRI 高信号変化の割合	ジャンパー膝群 (n=9)	圧痛のみ群 (n=11)	症状なし群 (n=63)
70% 以上	8	8	5
50 – 70%	1	2	10
50% 未満	0	1	6
なし	0	0	42



表 8. Fritschy のジャンパー膝の超音波所見の分類（一部改編） [46]

Stage 1	<p>Pure inflammatory stage :</p> <p>腱線維の浮腫が特徴.</p> <p>腱は腫脹し, 肥厚しているが, その均一性は保たれている.</p>
Stage 2	<p>Stage with irreversible anatomical lesions :</p> <p>腱線維は不均一となり, 低エコー域が見られる.</p> <p>腱被膜は同定可能だが様々な所見を呈する.</p>
Stage 3	<p>Final stage of lesion :</p> <p>腱被膜は不整となり, 肥厚する.</p> <p>腱線維も不均一な所見を呈するが, 腱の腫脹は消退している.</p>

表 9. ジャンパー膝発症者の初回検診時所見 (n=9)

種目・性別	既往	圧痛	超音波			MRI	
			厚さ [mm]	低エコー 域	異常 血流	厚さ [mm]	高信号 変化[%]
バレー・男	-	-	4.7	-	-	5.5	79.9
バスケット・男	-	-	5.8	-	+	6.1	-
ハンド・女	-	+	5.1	-	+	5.6	81.5
バスケット・女	+	-	4.1	-	-	4.5	-
バレー・女	+	-	6.0	-	-	5.6	-
バレー・男	+	+	4.7	-	-	5.1	-
ハンド・女	+	+	6.1	+	+	7.2	77.8
ハンド・男	+	+	6.7	+	+	7.5	79.2
バスケット・女	+	+	9.9	+	+	10.2	79.5

## 引用文献

1. Blazina ME, Kerlan RK, Jobe FW, Carter VS, Carlson GJ. Jumper's knee. Orthop Clin North Am. 1973;4(3):665-78.
2. Lian OB, Engebretsen L, Bahr R. Prevalence of jumper's knee among elite athletes from different sports: a cross-sectional study. Am J Sports Med. 2005;33(4):561-7.
3. Zwerver J, Bredeweg SW, van den Akker-Scheek I. Prevalence of Jumper's knee among nonelite athletes from different sports: a cross-sectional survey. Am J Sports Med. 2011;39(9):1984-8.
4. Malliaras P, Cook J, Purdam C, Rio E. Patellar tendinopathy: Clinical diagnosis, load management, and advice for challenging case presentations. J Orthop Sport Phys Ther. 2015;45(11):887-98.
5. Roels J, Martens M, Mulier JC, Burssens A. Patellar tendinitis (jumper's knee). Am J Sports Med. 1978;6(6):362-8.
6. Visentini PJ, Khan KM, Cook JL, Kiss ZS, Harcourt PR, Wark JD. The VISA score: an index of severity of symptoms in patients with jumper's knee (patellar tendinosis). Victorian Institute of Sport Tendon Study Group. J Sci Med Sport. 1998;1(1):22-8.

7. Davies SG, Baudouin CJ, King JB, Perry JD. Ultrasound, computed tomography and magnetic resonance imaging in patellar tendinitis. *Clin Radiol.* 1991;43(1):52-6.
8. Peace KA, Lee JC, Healy J. Imaging the Infrapatellar Tendon in the Elite Athlete. *Clin Radiol.* 2006;61(7):570-8.
9. Reinking MF. Current concepts in the treatment of patellar tendinopathy. *Int J Sports Phys Ther.* 2016;11(6):854-66.
10. 西野 衆文, 荒井 正志. スポーツ障害・外傷とリハビリテーションバレーボール. *J Clin Rehabil.* 2012;21(4):380-7.
11. 綾田 練, 白木 仁, 福田 崇, 竹村 雅裕, 向井 直樹, 宮川 俊平. アイシングジャンパー膝に対する運動後のアイシングの効果. *体力科学.* 2007;56(1):125-30.
12. Visnes H, Bahr R. The evolution of eccentric training as treatment for patellar tendinopathy (jumper's knee): a critical review of exercise programmes. *Br J Sports Med.* 2007;41(4):217-23.
13. Breda SJ, Oei EHG, Zwerver J, Visser E, Waarsing E, Krestin GP, de Vos R-J. Effectiveness of progressive tendon-loading exercise therapy in patients with patellar tendinopathy: a randomised clinical trial. *Br J Sports Med.* 2021;55(9):501-9.

14. 宗田 大, 望月 智之. 【スポーツ整形外科 最新の治療】薬物・注射 ヒアルロン酸注射によるスポーツ障害の治療. 整・災外. 2016;59(6):669-77.
15. Wang CJ, Ko JY, Chan YS, Weng LH, Hsu SL. Extracorporeal shockwave for chronic patellar tendinopathy. *Am J Sports Med.* 2007;35(6):972-8.
16. Furia JP, Rompe JD, Cacchio A, Del Buono A, Maffulli N. A single application of low-energy radial extracorporeal shock wave therapy is effective for the management of chronic patellar tendinopathy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(2):346-50.
17. Mani-Babu S, Morrissey D, Waugh C, Screen H, Barton C. The effectiveness of extracorporeal shock wave therapy in lower limb tendinopathy: a systematic review. *Am J Sports Med.* 2015;43(3):752-61.
18. 西田 雄亮, 金森 章浩, 田中 健太, 梶原 将也, 西野 衆文, 山崎 正志. 【スポーツ傷害の予防・診断・治療】新しい治療機器・薬剤 難治性ジャンパー膝に対する体外衝撃波治療. 別冊整形外科. 2018;73:67-71.
19. Vetrano M, Castorina A, Vulpiani MC, Baldini R, Pavan A, Ferretti A. Platelet-rich plasma versus focused shock waves in the treatment of jumper's knee in athletes. *Am J Sports Med.* 2013;41(4):795-803.

20. Gosens T, Den Oudsten BL, Fievez E, van't Spijker P, Fievez A. Pain and activity levels before and after platelet-rich plasma injection treatment of patellar tendinopathy: a prospective cohort study and the influence of previous treatments. *Int Orthop*. 2012;36(9):1941-6.
21. Dupley L, Charalambous CP. Platelet-Rich Plasma Injections as a Treatment for Refractory Patellar Tendinosis: A Meta-Analysis of Randomised Trials. *Knee Surg Relat Res*. 2017;29(3):165-71.
22. Coleman BD, Khan KM, Kiss ZS, Bartlett J, Young DA, Wark JD. Open and arthroscopic patellar tenotomy for chronic patellar tendinopathy. A retrospective outcome study. Victorian Institute of Sport Tendon Study Group. *Am J Sports Med*. 2000;28(2):183-90.
23. Bahr R, Fossan B, Løken S, Engebretsen L. Surgical treatment compared with eccentric training for patellar tendinopathy (jumper's knee): a randomized, controlled trial. *JBJS*. 2006;88(8):1689-98.
24. Muccioli GMM, Zaffagnini S, Tsapralis K, Alessandrini E, Bonanzinga T, Grassi A, Bragonzoni L, Villa SD, Marcacci M. Open versus arthroscopic surgical treatment of chronic proximal patellar tendinopathy. A systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(2):351-7.

25. Lang G, Pestka JM, Maier D, Izadpanah K, Südkamp N, Ogon P. Arthroscopic patellar release for treatment of chronic symptomatic patellar tendinopathy: long-term outcome and influential factors in an athletic population. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):1-10.
26. 西田 雄亮, 西野 衆文, 金森 章浩, 坂根 正孝. 腱部分切除術とラジオ波焼灼術を併用した膝蓋腱炎の 1 例. *整スポ会誌.* 2013;33(3):327-31.
27. Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med.* 2005;39(6):324-9.
28. Backman LJ, Danielson P. Low range of ankle dorsiflexion predisposes for patellar tendinopathy in junior elite basketball players: a 1-year prospective study. *Am J Sports Med.* 2011;39(12):2626-33.
29. Visnes H, Aandahl HÅ, Bahr R. Jumper's knee paradox--jumping ability is a risk factor for developing jumper's knee: a 5-year prospective study. *Br J Sports Med.* 2013;47(8):503-7.
30. de Vries AJ, van der Worp H, Diercks RL, van den Akker-Scheek I, Zwerver J. Risk factors for patellar tendinopathy in volleyball and basketball players: A survey-based prospective cohort study. *Scand J Med Sci Sports.* 2015;25(5):678-84.

31. Hägglund M, Zwerver J, Ekstrand J. Epidemiology of patellar tendinopathy in elite male soccer players. *Am J Sports Med.* 2011;39(9):1906-11.
32. van der Worp H, van Ark M, Roerink S, Pepping GJ, van den Akker-Scheek I, Zwerver J. Risk factors for patellar tendinopathy: a systematic review of the literature. *Br J Sports Med.* 2011;45(5):446-52.
33. 中瀬 順介, 虎谷 達洋, 小坂 正裕, 大橋 義徳, 北岡 克彦, 土屋 弘行. ジャンパー膝の危険因子 高校女子スポーツ選手の前向き研究. *臨スポ会誌.* 2013;21(1):17-9.
34. Witvrouw E, Bellemans J, Lysens R, Danneels L, Cambier D. Intrinsic risk factors for the development of patellar tendinitis in an athletic population. A two-year prospective study. *Am J Sports Med.* 2001;29(2):190-5.
35. 甲斐 健悟, 越智 英輔, 森田 淳悟, 平沼 憲治. 大学男子バレーボール選手におけるジャンパー膝の発症因子に関する研究. *臨スポ会誌.* 2009;17(3):522-30.
36. Visnes H, Bahr R. Training volume and body composition as risk factors for developing jumper's knee among young elite volleyball players. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23(5):607-13.
37. Bahr MA, Bahr R. Jump frequency may contribute to risk of jumper's knee: a study of interindividual and sex differences in a total of 11,943 jumps video



- recorded during training and matches in young elite volleyball players. Br J Sports Med. 2014;48(17):1322-6.
38. Cook JL, Khan KM, Kiss ZS, Purdam CR, Griffiths L. Prospective imaging study of asymptomatic patellar tendinopathy in elite junior basketball players. J Ultrasound Med. 2000;19(7):473-9.
39. Gisslén K, Alfredson H. Neovascularisation and pain in jumper's knee: a prospective clinical and sonographic study in elite junior volleyball players. Br J Sports Med. 2005;39(7):423-8.
40. Visnes H, Tegnander A, Bahr R. Ultrasound characteristics of the patellar and quadriceps tendons among young elite athletes. Scand J Med Sci Sports. 2015;25(2):205-15.
41. 小坂 正裕, 中瀬 順介, 虎谷 達洋, 大橋 義徳, 五嶋 謙一, 高橋 竜平, 土屋 弘行. 超音波装置を用いた Osgood-Schlatter 病検診. JOSKAS. 2013;38(2):350-1.
42. 中瀬 順介, 高田 泰史, 下崎 研吾, 浅井 一希, 土屋 弘行. 【スポーツ傷害の予防・診断・治療】 部位別各論 膝 Osgood-Schlatter 病に対する運動器超音波診療. 別冊整形外科. 2018;73:175-8.
43. Abate M, Silbernagel KG, Siljeholm C, et al. Pathogenesis of tendinopathies: inflammation or degeneration? Arthritis Res Ther. 2009;11(3):235.

44. Cook JL, Purdam CR. Is tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. *Br J Sports Med.* 2009;43(6):409-16.
45. Cook JL, Rio E, Purdam CR, Docking SI. Revisiting the continuum model of tendon pathology: what is its merit in clinical practice and research? *Br J Sports Med.* 2016;50(19):1187-91.
46. Fritschy D, de Gautard R. Jumper's knee and ultrasonography. *Am J Sports Med.* 1988;16(6):637-40.
47. Pfirrmann CW, Jost B, Pirkl C, Aitzetmüller G, Lajtai G. Quadriceps tendinosis and patellar tendinosis in professional beach volleyball players: sonographic findings in correlation with clinical symptoms. *Eur Radiol.* 2008;18(8):1703-9.
48. el-Khoury GY, Wira RL, Berbaum KS, Pope TL Jr, Monu JU. MR Imaging of Patella Tendinitis. *Radiology.* 1992;184(3):849-54.
49. Johnson DP, Wakeley CJ, Watt I. Magnetic resonance imaging of patellar tendonitis. *J Bone Joint Surg Br.* 1996;78(3):452-7.
50. Schmid MR, Hodler J, Cathrein P, Duewell S, Jacob HA, Romero J. Is impingement the cause of jumper's knee? Dynamic and static magnetic

- resonance imaging of patellar tendinitis in an open-configuration system. *Am J Sports Med.* 2002;30(3):388-95.
51. Golman M, Wright ML, Wong TT, et al. Rethinking Patellar Tendinopathy and Partial Patellar Tendon Tears A Novel Classification System. *Am J Sports Med.* 2020;48(2):359-69.
52. Lian O, Holen KJ, Engebretsen L, Bahr R. Relationship between symptoms of jumper's knee and the ultrasound characteristics of the patellar tendon among high level male volleyball players. *Scand J Med Sci Sports.* 1996;6(5):291-6.
53. Gisslèn K, Gyulai C, Söderman K, Alfredson H. High prevalence of jumper's knee and sonographic changes in Swedish elite junior volleyball players compared to matched controls. *Br J Sports Med.* 2005;39(5):298-301.
54. Warden SJ, Kiss ZS, Malara FA, Ooi AB, Cook JL, Crossley KM. Comparative accuracy of magnetic resonance imaging and ultrasonography in confirming clinically diagnosed patellar tendinopathy. *Am J Sports Med.* 2007;35(3):427-36.
55. Reiff DB, Heenan SD, Heron CW. MRI appearances of the asymptomatic patellar tendon on gradient echo imaging. *Skeletal Radiol.* 1995;24(2):123-6.

56. 土肥 美智子. 【スポーツにおける筋・腱付着部損傷の診療】筋・腱付着部損傷のMRI. *Orthopaedics*. 2014;27(9):27-33.
57. Khan KM, Bonar F, Desmond PM, Cook JL, Young DA, Visentini PJ, Fehrmann MW, Kiss ZS, O'Brien PA, Harcourt PR, Dowling RJ, O'Sullivan RM, Crichton KJ, Tress BM, Wark JD. Patellar tendinosis (jumper's knee): findings at histopathologic examination, US, and MR imaging. Victorian Institute of Sport Tendon Study Group. *Radiology*. 1996;200(3):821-7.
58. McLoughlin RF, Raber EL, Vellet AD, Wiley JP, Bray RC. Patellar tendinitis: MR imaging features, with suggested pathogenesis and proposed classification. *Radiology*. 1995;197(3):843-8.
59. Cook JL, Khan KM, Kiss ZS, Purdam CR, Griffiths L. Reproducibility and clinical utility of tendon palpation to detect patellar tendinopathy in young basketball players. *Br J Sports Med*. 2001;35(1):65-9.
60. Cook JL, Khan KM, Kiss ZS, Coleman BD, Griffiths L. Asymptomatic hypoechoic regions on patellar tendon ultrasound: A 4-year clinical and ultrasound followup of 46 tendons. *Scand J Med Sci Sports*. 2001;11(6):321-7.
61. Gisslén K, Gyulai C, Nordström P, Alfredson H. Normal clinical and ultrasound findings indicate a low risk to sustain jumper's knee patellar

tendinopathy: a longitudinal study on Swedish elite junior volleyball players. Br J Sports Med. 2007;41(4):253-8.

62. McAuliffe S, McCreesh K, Culloty F, Purtill H, O'Sullivan K. Can Ultrasound Imaging Predict the Development of Achilles and Patellar Tendinopathy? A Systematic Review and Meta-Analysis. Br J Sports Med. 2016;50(24):1516-23.
63. Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Holme I, Bahr R. Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. Bmj. 2005;330(7489):449.
64. Reeser JC, Verhagen E, Briner WW, Askeland TI, Bahr R. Strategies for the prevention of volleyball related injuries. Br J Sports Med. 40(7), 594-600.

## 学会発表

### 1. 第30回 日本臨床スポーツ医学会学術集会

2019年11月16日-17日 パシフィコ横浜(横浜市)

疼痛の有無による膝蓋腱超音波所見の比較

西田雄亮, 西野衆文, 田中健太, 大西信三, 金森章浩, 山崎正志

### 2. 第35回 日本整形外科学会基礎学術総会

2020年10月15日-11月16日 オンライン開催

超音波およびMRIによる膝蓋腱の厚さの基準に関する検討

西田雄亮, 西野衆文, 田中健太, 大西信三, 金森章浩, 山崎正志

### 3. 第94回 日本整形外科学会学術総会

2021年5月20日-21日 東京国際フォーラム (6月10日-7月12日 オンデマンド配信)

超音波およびMRIによる大学生アスリートの膝蓋腱の厚さの基準に関する検討

- 何mm以上が「腱の肥厚」か -

西田雄亮, 西野衆文, 田中健太, 大西信三, 金森章浩, 山崎正志

## 謝辞

本研究と論文作成にあたり、御指導、御高閲を賜りました西野衆文先生（筑波大学医学医療系講師）、山崎正志教授（筑波大学医学医療系整形外科教授）に心から感謝致します。また、研究実施に多大なる御協力を頂きました金森章浩先生（筑波大学医学医療系講師）、大西信三先生（筑波大学附属病院病院講師）、田中健太先生（野上病院整形外科）に厚く御礼申し上げます。さらに、研究に関する御指導、御助言を賜りました奥脇透先生（国立スポーツ科学センター メディカルセンター長）、平野篤先生（水戸協同病院 スポーツ医学センター長）に深謝致します。

そして、研究に参加して頂きました筑波大学男子バレーボール部 秋山央監督、女子バレーボール部 中西康巳監督、男子ハンドボール部 藤本元監督、女子ハンドボール部 山田永子監督、男子バスケットボール部 吉田健司監督、女子バスケットボール部 柏倉秀徳監督と、すべての選手、チーム関係者に改めて御礼申し上げます。

## 出典

本学位論文では Journal of Clinical Medicine. 10(18): 4092, 2021.

([doi.org/10.3390/jcm10184092](https://doi.org/10.3390/jcm10184092))に掲載された論文の内容を、

MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute) 社の規定にしたがって再利用

している。