

楯田公式により数学的に算出した面積と  
実計測した面積の統計学的解析による  
膝前十字靭帯大腿骨側付着部の形状的評価

日本大学大学院 医学研究科 博士課程

外科系 整形外科学専攻

岩間 彦樹

修了年 2021年

指導教員 大幸 英至

## 目次

### 略語

概要	1-4
----	-----

### 緒言

1. 前十字靭帯（以下 ACL）損傷	5
2. ACL の解剖	6,7
3. ACL 損傷の診断	7
4. ACL 損傷に対する治療	7-9
5. 解剖学的 ACL 再建術	9
6. 解剖学的な骨孔作製位置	10,11
7. 解剖学的な骨孔の形状	11,12

目的	13
----	----

仮説	13
----	----

### 対象と方法

1. 倫理的考慮	14
2. 対象	14
3. 解剖手技	14
4. ACL 大腿骨側付着部の面積計測	14,15

5. 統計学的解析	15
6. 形状評価について	15
結果	
1. ACL 大腿骨側付着部の肉眼的評価	16
2. 2つの計測法における面積値	16
3. 2つの計測法における面積の比較	16
4. 2つの計測法における面積の相関	16,17
考察	18-20
まとめ	21
謝辞	22
図	23-32
図説	33-36
引用文献	37-43
研究業績目録	44-47

## 略語

ACL, Anterior Cruciate Ligament

AM, Antero-medial bundle

FE, Fan-like extension fibres

MI, Mid-substance insertion

MRI, Magnetic resonance imaging

NIH, National Institutes of Health

PL, Postero-lateral bundle

## 概要

背景：膝関節前十字靭帯(Anterior Cruciate Ligament; 以下 ACL)は、大腿骨に対し脛骨の前方変位および回旋を制動し、膝関節の安定化に非常に重要な機能を持つ靭帯である。ACL 損傷はスポーツ外傷に多く、若年者やアスリートを含む活動性の高い患者が手術療法の適応となる。自家腱を移植し、正常靭帯を模倣する鏡視下 ACL 再建術が用いられる。ACL 再建術は形態的にも機能的にも生まれ持った靭帯を再現することを目標としている。より正常な靭帯の形態・機能に近づけて再現する方法を解剖学的 ACL 再建術と呼び、様々な術式が考案されている。ACL 再建術においては従来、大腿骨と脛骨にそれぞれ一つの正円形の骨孔が作製されてきたが、移植腱ではそのすべてを埋めることができないことが明らかになっている。また、ACL の線維には屈曲位と伸展位で緊張のかけ方が違う 2 つの線維が存在し、前内側線維束(Antero-medial bundle; 以下 AM)、後外側線維束(Posterior-lateral bundle; 以下 PL)の 2 種類から成ることが認識されてきた。AM は大腿骨側付着部の上方から脛骨側付着部の前方に走行し、PL は大腿骨側付着部の下方から脛骨側付着部の後方に走行する。そして、AM は主に屈曲位で、PL は主に伸展位で緊張することにより常に一定の安定性をもたらしている。Mochizuki らは ACL 大腿骨側付着部には Mid-substance insertion(以下 MI)と Fan-like extension fibres(以下 FE)という付着形態の異なった 2 つの線維があることを報告している。MI は前方に位置し骨に直接的に帯状に付着し、FE は後方の軟骨面まで膜状に広がって付着している。その中でも特に MI が機能的に重要であると報告されている。さらに AM と PL はそれぞれ MI と FE の前方と後方に分かれて付着する。そのため、本邦を中心として大腿

骨、脛骨にそれぞれ AM と PL の機能を模した 2 つの骨孔を作製することで、より ACL の解剖学的な形態を再現できる二重束再建術も行われている。しかし、大腿骨側の骨孔作製位置には決まりがなく施設により位置が異なり一定の見解がない。このように ACL 再建術の成績は向上しているが、解剖学的な形状に近づけたとしても中には再断裂例やスポーツ復帰を果たせない例が存在するのが現状である。そのため、更に詳しい臨床解剖学的研究により正常に近い再建を目指す必要がある。従来、ACL 大腿骨側付着部は楕円形状であるとの報告が多数あり、ACL 再建術の際に移植腱を通す大腿骨側の骨孔を楕円形状やそれに近似した長方形で作製する術式が開発され始めている。しかし、骨孔のみを形状的に楕円にするだけでは機能焦点は移植腱が緊張すると楕円から円形に近づき 1 焦点となり 2 焦点を有する真の楕円とは異なる。ACL 大腿骨側付着部が解剖学的に楕円であることを実証した報告はなく、真に楕円形状を呈するかどうかは定かでないため解明する必要がある。

目的：本研究は屍体膝を用いて ACL 大腿骨側付着部全体、MI および FE の形状の評価をすることで、ACL 再建術の骨孔作製の際に楕円を目指す必要性、至適骨孔位置を検討することにより、より解剖学的な ACL 再建術の確立につなげることを目的とする。

対象と方法：解剖屍体 39 体より 39 膝(男性 15 例、女性 24 例)を用いた(日本大学医学部倫理委員会 承認番号 29-15-1)。死亡時平均年齢は 80 歳(54-96 歳)であった。まず大腿骨、脛骨を切断し、膝関節を摘出した。膝を 90° 屈曲させると、AM は緊張し、PL は弛緩する。肉眼的に AM と PL の線維を同定してから大腿骨を顆間中心で骨軸に平行に縦割し ACL 大腿骨側付着部を露出した。

ACL 大腿骨側付着部周囲の境界をインクでマーキングした。その後同様に、MI、FE 付着部をそれぞれマーキングした。MI、FE は靭帯を折り曲げることにより肉眼にて容易に判別できる。マーキングした部位をデジタルカメラで撮影した。Siebold らの方法に準じ、ACL 大腿骨側付着部全体と MI、FE の長軸の長さ(L)、幅(W)を定義した。計測された長軸と幅を用いて楕円公式  $0.25\pi(L \times W)$  で数学的に楕円面積を算出した。同様の手法を用いて MI と FE の面積も算出した。次に Image J(National Institutes of Health, NIH)を用いて ACL 大腿骨側付着部全体、MI および FE の面積を実計測した。その後、数学的楕円公式を用いて算出した面積(以下 数学的楕円面積)と Image J を用いて実計測した面積(以下 実測楕円面積)を統計学的に比較し(Mann-Whitney's U test)、相関を検討した(Spearman の順位相関係数)。

結果：ACL 大腿骨側付着部を肉眼学的に検討すると ACL 大腿骨側付着部全体と FE は様々な形態が存在し、楕円でない形状が大半を占めていたが、MI は楕円に近い形状を呈するものが多く存在した。しかし、個々において幅や傾きがそれぞれ異なっていた。数学的楕円面積は ACL 大腿骨側付着部全体が  $113.9 \pm 4.5 \text{ mm}^2$ 、MI が  $58.4 \pm 3 \text{ mm}^2$ 、FE が  $61 \pm 14.3 \text{ mm}^2$  であった。実測楕円面積は ACL 大腿骨側付着部全体が  $127.6 \pm 41.7 \text{ mm}^2$ 、MI が  $61 \pm 20.2 \text{ mm}^2$ 、FE が  $67 \pm 27.3 \text{ mm}^2$  であった。数学的楕円面積と実測楕円面積は ACL 大腿骨側付着部全体、MI および FE とともに有意な差を認めた( $p < 0.05$ )。ACL 大腿骨側付着部全体では数学的楕円面積と実測楕円面積の間に相関を認めなかったが(ACL 大腿骨側付着部全体: 相関係数=0.247,  $p=0.134$ 、FE: 相関係数=0.207,  $p=0.206$ )、MI では強い相関を認めた(相関係数=0.846,  $p < 0.05$ )。

考察：本研究において、ACL 大腿骨側付着部全体と FE の付着部形状にはバリエーションが多く、従来言われていた楕円形状ではなかった。これらの結果から、ACL 大腿骨側付着部全体または FE を再現するために楕円形状での骨孔で再現する ACL 再建は真の解剖学的 ACL 再建とはならないと考える。しかし、MI は楕円形状に類似していることからその中には 2 つの焦点が存在し、その焦点に骨孔を作製することで MI の本来の機能を再現する骨孔作製が術後の機能改善の重要な鍵となるのではないかと考える。現状の手術技術では、移植腱では ACL 付着部のすべてを再現することは難しい。しかしながら、MI に解剖学的 ACL 二重束再建術を用いて楕円の 2 つの焦点に骨孔を作製する方法が、最も解剖学的再建である可能性があると考え。本研究にて MI は楕円形状に類似した形状だが個々により傾きが異なり、症例に応じた骨孔作製が必要であると考え。

結語：本研究は初めて ACL 大腿骨側付着部を肉眼だけでなく面積測定にて解剖学的に検討した。ACL 大腿骨側付着部全体と FE は楕円ではないこと、MI が楕円に類似していることを明らかにした。ACL 大腿骨側付着部と FE は形態的なバリエーションが多く存在し、ACL 大腿骨側付着部全体、FE をすべての症例に一定の形状の骨孔を作製していく ACL 再建術は真の解剖学的再建術とはならないと考える。しかし、MI は楕円形状に類似していることから機能的中心である MI の本来の機能を再現するために楕円形状だけでなく機能的中心点を意識した骨孔作製が術後の機能改善の重要な鍵となるのではないかと考える。今後、形態的にも楕円形状を再現する方法を確立する必要がある。



## 緒言

### 1. 前十字靭帯（Anterior Cruciate Ligament; 以下 ACL）損傷

ACL 損傷はスポーツ外傷に多く、ラグビー、アメリカンフットボールを中心としたコリジョンスポーツや、ターンなどのピボット動作、カット、ジャンプ、ストップ動作などが多く存在するサッカー、バスケットボール、スキー、バレーボールなどの競技で発生する。日本では若年アスリートの 8.4/10000 人に発生している<sup>1)</sup>。また受傷機転は非接触型と接触型に大別され、非接触型はジャンプの着地、急なストップ動作などで膝を内側に捻ることで ACL に間接的外力が加わり損傷する。また接触型は外側からのタックルや交通外傷など直達外力が加わることで損傷する。約 70%が非接触型で軽微な外力により発生する。急性期の症状は、膝関節の腫脹、関節内血腫、可動域制限、疼痛が生じる。急性期を過ぎると疼痛は消失する。慢性化すると踏み込みやスポーツ動作で膝崩れを起こし、スポーツ活動の継続や日常生活に支障をきたす<sup>2)</sup>。また、半月板損傷や軟骨損傷を二次的に合併し、受傷後 10 年で約半数の患者が変形性膝関節症へと進行するため<sup>3)</sup>、ACL 損傷に対する治療はできるだけ早期に行うことが勧められている<sup>4,5)</sup>。更に関節外の靭帯とは異なり、ACL は関節内であるため血流が乏しく ACL の自然治癒の見込みはない<sup>6)</sup>。そのため、日常生活やスポーツ活動に影響する膝崩れや半月板損傷、軟骨損傷、変形性膝関節症の予防のため、多くは手術が必要となる。

## 2. ACL の解剖

ACL は、膝関節の中心に位置する靭帯で、大腿骨外顆の内側壁後上方から起始し、脛骨顆間中央部に付着する(図 1)。膝関節の構成要素の中でも特に重要な組織の 1 つである。ACL 全体の長さは約 30~40 mm、中央実質部の幅は約 10 mm と報告されている<sup>7)</sup>。ACL の線維は大腿骨顆間窩背側から起始する滑膜組織により被覆される。血流の多くは膝窩動脈と中膝動脈から供給されており、遠位部においては内・外側下降膝動脈から分枝し、脂肪体を通る動脈から供給されている。しかし、ACL 中心部の血流は乏しく、ACL 損傷における自然治癒の可能性はほとんどない<sup>6,7)</sup>。ACL 脛骨側付着部は内・外側半月板前角の間に存在し、面積は大腿骨側付着部より大きい。脛骨側付着部は膜状に広がり、骨に面で付着する部分が後方に存在し、付着部の大部分を占める。また、形状は楕円や円、三角形など報告により様々である<sup>8)</sup>。そして ACL 大腿骨側付着部の解剖学的観察でも、形態、サイズ、付着位置は様々であることが多く報告されている<sup>9,10)</sup>。ACL の線維は屈曲位と伸展位で緊張のかかり方が違う 2 つの線維が存在し、前内側線維束(Antero-medial bundle; 以下 AM)、後外側線維束(Posterior-lateral bundle; 以下 PL)の 2 種類から成る。AM は大腿骨側付着部の上方から脛骨付着部の前方に走行し、PL は大腿骨付着部の下方から脛骨側付着部の後方に走行する。そして、AM は主に屈曲位で、PL は主に伸展位で緊張することにより常に一定の安定性をもたらしている<sup>11-14)</sup>。また、Mochizuki らは ACL 大腿骨側付着部には Mid-substance insertion(以下 MI)と fan-like extension fibres(以下 FE)という付着形態の異なった 2 つの線維があることを報告している<sup>15)</sup>。MI は前方に位置し骨に対して直接、帯状に付着しており、FE は後方の軟骨面まで膜状に広がって付着している(図 2a,b)。さらに AM と PL はそれぞれ MI と FE の前方、後方から分かれて起始する。ACL は膝関節において、大腿骨

に対し脛骨の前方変位および回旋を制動し、膝関節の安定化のために非常に重要な機能を持つ靭帯である。また、AM、PL の 2 つの線維が機能することにより、あらゆる膝関節の角度で安定性を保っている<sup>6,12)</sup>。また大腿骨側付着部の線維においては、膝関節安定性に関して、MI が約 80%と FE に比べ機能の大半を占めていることが報告されており、機能再建は MI の再現が重要な鍵となる<sup>16)</sup>。

### 3. ACL 損傷の診断

ACL 損傷の初期診断は、患者を仰臥位とし膝関節を軽度屈曲させ、下腿を大腿に対して前方に引き出すように動かし、下腿の前方移動量と end point の健患差を比較する Lachman test<sup>17)</sup>、膝関節に外反および内旋力を加えて、膝関節の脛骨前方亜脱臼と内旋転位を誘発する N test、Pivot shift test、Jerk test<sup>18)</sup>などの徒手的な診察で診断される。しかし、受傷初期は動作時の疼痛が強いことが多く、正確に膝関節の不安定性を徒手的に判断することが困難な場合が多い。そのため、magnetic resonance imaging(以下 MRI) を中心とした画像検査を行い診断する。ACL 損傷における画像検査は MRI が最も有用で、感度 90-95%、特異度 95-100%と報告されている<sup>19,20)</sup>。

### 4. ACL 損傷に対する治療

ACL 損傷直後の新鮮例に対する応急処置は疼痛・腫脹を軽減する目的で、迅速に RICE 療法を行う。RICE 療法は Rest(安静)、Ice(冷却)、Compression(圧迫)、Elevation(挙上) の頭文字を取り名づけられている<sup>21)</sup>。安静目的で受傷早期にはシーネ固定やギプス固定などの外固定を行う。疼痛が強い受傷初期に短期間で外固定を施行することは効果的であるが、長期間の外固定は皮膚障害や

関節拘縮を起こす可能性もあり、痛みが軽快すれば早急に外固定を外す必要がある。症状軽快後の治療選択肢として保存療法と手術療法の2つに分けられる。保存療法は装具を装着することで脛骨の前方移動の抑制を行う。また、ACL 損傷の急性期では痛み、恐怖心、関節腫脹、伸展制限、廃用などにより大腿四頭筋の活動低下や萎縮が生じやすいため、大腿四頭筋訓練を中心としたリハビリテーションで筋力強化を図る。ハムストリングスは膝関節の屈曲作用により下腿を後方へ引き込み、さらに下腿の回旋作用もあり膝関節の制動にも寄与している。また、ハムストリングスを効率的に働かせるためには、拮抗筋である大腿四頭筋の筋力も重要である<sup>22)</sup>。しかし、筋による制動性だけでは前方不安定性または回旋不安定性は完全には制御できない。そのため、保存療法は、高齢者や活動性の低い患者、ハイリスク患者などに適応となる。手術療法は移植腱を用いた鏡視下 ACL 再建術が最も一般的で、若年者、活動性の高い患者、アスリートが適応となる。当初は断裂した ACL を直接縫合する手術などが行われていたが、ACL 中心部は血流が乏しいことにより自己収縮能が低い。そのため再断裂の割合が高く成績が不良であった。現在では手術の手技向上により大腿骨および脛骨に骨孔を作製し、自家腱を移植する ACL 再建術が標準的治療として行われている。ACL 再建術は長期的に良好な成績を得ていること、また、ACL 損傷を放置すると半月板損傷、軟骨損傷、変形性膝関節症のリスクが高まることから近年積極的に手術療法が勧められ、年齢は関係なく活動性の高い患者には手術適応があると考えられてきている<sup>23)</sup>。移植腱のドナー部位は様々であり、以前は腸脛靭帯を自家腱として使用した術式もあったが、解剖学的に機能再建ができないことがわかり、さらに成績も良好ではなかったため、現在ではほとんど行われていない<sup>24)</sup>。現在はハムストリング腱、もしくは膝蓋腱を使った自家腱移植の ACL 再建術の成績が良好であり、移植

腱のドナー部位として第一選択となっている<sup>25,26)</sup>。それに加えて同種腱移植や人工靭帯を使った ACL 再建術も存在する。同種腱の場合はウイルス感染の可能性があり懸念されている。また、人工靭帯の場合には劣化が起こる可能性もあり、そのため近年では施行されることが少なくなっている<sup>27)</sup>。手術術式に関しては、かつては関節切開で行われていたが、関節を大きく露出するため侵襲が大きく、また正確に手技を行うことが難しいことから、現在では関節鏡を使用した鏡視下 ACL 再建術が行われている<sup>28)</sup>。手術成績に関しては、これまで多くの研究が行われており、術式の開発や改善、また、リハビリテーションの向上などにより臨床成績はより良好なものになっている。しかし、治療成績は未だ完全に満足できるものではなく、依然として約 10%に再断裂を生じ、約 20%はスポーツ復帰を満足に果たせずにいる<sup>29,30)</sup>。

## 5. 解剖学的 ACL 再建術

ACL 再建は形態的にも機能的にも生まれ持った靭帯を再現することが成績向上につながると報告されており、本来の靭帯機能にできるだけ近づけた ACL 再建術を解剖学的 ACL 再建術と呼んでいる。しかし、正常な靭帯を再現することで術後成績を更に良好なものにするためには、実際の ACL がどのような形態で付着しているかを検討する必要がある。正常な ACL を完璧に再現することは不可能かもしれないが、外科医はそれに少しでも近づくよう努力すべきであると言われている<sup>31)</sup>。そのため、より解剖学的な ACL 再建術を施行するために現在でも多くの臨床解剖学的な研究が行われており、ACL 線維の走行や太さ、長さ、また ACL の骨への付着部の位置、形態、面積などが検討されている<sup>31)</sup>。

## 6. 解剖学的な骨孔作製位置

解剖学的 ACL 再建術においては骨孔の位置やサイズ、形態が重要な要素となる。以前の ACL 再建術では再断裂を防止する目的で、膝関節の屈伸角度がどの角度であっても移植腱への張力の大きさが変化しない位置である *isometric point* に骨孔を作製することが主流となっていた<sup>32)</sup>。しかし、実際には正常な ACL には *isometric* な線維はほとんど存在せず、膝関節を伸展していくにつれて緊張する *over the top pattern* であり、*isometric point* への骨孔作製は非解剖学的再建であると報告されている<sup>33)</sup>。ACL 大腿骨側付着部の *isometric point* は顆間窩の天井と近く高い位置になり、そこに骨孔を作製し再建を行うと、膝関節の過伸展で移植腱が顆間窩の天井と衝突し、ACL 再断裂の原因となることが明らかとなっている<sup>32)</sup>。また移植腱の衝突を防止するための顆間の骨を削る顆間窩形成術や、脛骨側の骨孔を通常より後方に作製する方法が開発されたが、ますます非解剖学的な ACL 再建術となる。また、生体力学的研究でも *isometric point* に比べ、解剖学的な骨孔位置では回旋を中心とした制動性も上回っていることが明らかにされているため<sup>34)</sup>、現在では移植腱の顆間窩の天井への衝突が起こりにくく<sup>35)</sup>、より正常な ACL に近い線維走行を再現できる解剖学的な位置に骨孔を作製することが理想となっており、その中でも特に大腿骨孔の位置は重要であると考えられている<sup>36)</sup>。現在の ACL 再建術の標準的な手術手技は大腿骨と脛骨の骨孔の中に移植腱を通す方法である。しかし、ACL 大腿骨側付着部は広く、移植腱でそのすべてを埋めきることはできないため、MI、FE のどちらか、もしくは部分的に再建することしかできない<sup>36,37)</sup>。そのことから最も解剖学的で機能的な骨孔の作製位置に関しては未だ議論の余地がある(図 3a,b)。その中で、FE に比べ、MI が機能的に大半を占め<sup>16)</sup>、MI の位

置に骨孔を作製することが重要と考えられている。しかし一方、ACL 大腿骨側付着部全体の中心に骨孔を作製する方がより解剖学的であるという意見もあり統一された見解はない<sup>31)</sup>。2004年に発表された解剖学的 ACL 二重束再建術は AM、PL の 2 つの線維を大腿骨、脛骨それぞれに 2 つ骨孔を作製することで再現した術式であり<sup>38)</sup>、未だ標準的術式ではないが現在まで広く普及している。また ACL 大腿骨側付着部のより多くを移植腱でカバーできるという利点もあるが、大腿骨、脛骨それぞれに 1 つの骨孔で再現する ACL 一重束再建術との明らかな成績の違いは報告されておらず、ACL 一重束再建術の方が多く行われているのが現状である。また、ACL 二重束再建術の至適な大腿骨側の骨孔位置には決まりがなく施設により骨孔作製位置が異なり一定の見解がない。

## 7. 解剖学的な骨孔の形状

現在の ACL 再建術では使用する術式を術前に決定するため、作製する骨孔の形状を術中に決定することは現在では行われていない。ハムストリング腱法には楕円骨孔、正円骨孔の術式があり(図 4a,b)、膝蓋腱法には長方形骨孔、正円骨孔の術式がある(図 4a,c)。またハムストリング腱法は術中に採取した移植腱を計測することにより、骨孔のサイズ、つまり面積が決定される。まず初めに、腱を引き裂いて移植腱の採取を行い、それを 2 つ折りにしてから、その術式に合った専用のサイジングチューブに通すことにより太さを計測する。それにより、ドリルのサイズが決定する。その後大腿骨と脛骨にドリルを用いて骨孔を作製し、そこに、移植腱に縫合した糸を引っ張ることにより移植腱を誘導していく(図 5a)。その後、両端を専用のプレートで固定する。大腿骨外側から引っ張り出したプレートは引き戻すことにより骨に引っ掛けて固定され、脛骨側のプレートはスクリューなどで固定する(図 5b)。従来 ACL 一重束再建術にお

ける骨孔の形状に関しては、正円形の骨孔が作製されてきた(図 4a)。しかし、現在まで ACL 大腿骨側付着部は楕円形状であると多く報告されている<sup>39-42)</sup>。また、正円とは平面上のある 1 定点からの距離が一定となるような点の集合から作られる曲線で、楕円とは平面上のある 2 定点からの距離の和が一定となるような点の集合から作られる曲線である。楕円には基準となる 2 焦点がある。逆に正円の場合には焦点は 1 つである(図 6a,b)。それ故に正円骨孔ではその形状を再現できないことが明らかとなってきた<sup>39)</sup>。そのため、より解剖学的な再建を行うために大腿骨側の骨孔を楕円形状やそれに近似した長方形で作製する術式が開発され(図 4b,c)、現在も一部の施設で行われている<sup>40-42)</sup>。より解剖学的に骨孔を作製することにより正常と同様の線維機能分担となり良好な成績となるのではないかとされている<sup>43)</sup>。しかし、骨孔のみを形状的に楕円にするだけでは、機能焦点は移植腱が緊張すると楕円から円形に近づき 1 焦点となり 2 焦点を有する真の楕円とは異なる。今までに ACL 大腿骨側付着部が真に楕円であることを実証した報告はなく、また、ACL 大腿骨側付着部の形態にはバリエーションが多く、かつ様々な形態が存在するとの報告があり、真に楕円形状を呈するかどうかは定かではなく解明する必要がある。



## 目的

本研究は屍体膝を用いて ACL 大腿骨側付着部全体、MI および FE の形状的評価をすることで、ACL 再建術における骨孔作製の際に、骨孔形状を楕円にすることを目指す必要性、また至適骨孔位置を検討することにより、更なる解剖学的な ACL 再建術の確立につなげることを目的とする。

## 仮説

ACL 大腿骨側付着部は楕円であると報告されているため<sup>39-42</sup>、ACL 大腿骨側付着部全体、MI と FE の楕円形の相関が見られた場合、楕円の焦点を中心とした骨孔作製が有効となる可能性があると考えられる。そこで以下の仮説を立てた。

- 1) ACL 大腿骨側付着部全体、MI と FE が楕円形状であり、数学的楕円公式を用いて算出した面積と実測した面積が正確に一致する。
- 2) ACL 大腿骨側付着部全体、MI と FE が楕円形状なら、そこには2つの焦点が存在する。

# 対象と方法

## 1. 倫理的考慮

解剖屍体の使用に際して、日本大学医学部倫理委員会・臨床研究審査委員会の承認(承認番号 29-15-1)を受けた。

## 2. 対象

ホルマリン固定を行った屍体膝の 39 例 39 膝(男性 15 例、女性 24 例)を用いた。形態の類似を避けるため、一献体につき、片膝のみを対象とした。死亡時平均年齢は 80 歳(54-96 歳)で重度の関節症性変化を認めるものは除外した。

## 3. 解剖手技

まず膝関節を摘出し、ACL 以外の軟部組織を切除した。膝屈曲 90° で緊張する線維を AM、弛緩する線維を PL として同定した。その後 ACL を横切し、大腿骨を縦割した(図 7a)。つづいて、ACL 大腿骨側付着部全体を同定し、折れ曲がるところで MI、FE を同定した(図 2a,b)。ACL 大腿骨側付着部を切除し、ACL 大腿骨側付着部全体と MI、FE の境をインクでマーキングした(図 7b)。ACL 大腿骨側付着部全体をデジタルカメラで撮影した。

## 4. ACL 大腿骨側付着部の面積計測

2 つの方法で ACL 大腿骨側付着部全体、MI と FE の面積を計算した。1 つ目の方法は、過去の Siebold らの方法に準じ、長軸(L)とそれに直行する線で幅(W)を計測し、楕円公式  $0.25\pi(L \times W)$  で数学的に楕円面積(以下 数学的楕円面積)を算出した(図 8a,b)<sup>44)</sup>。2 つ目の方法は、画像解析ソフトの Image J

(National Institutes of Health, NIH) を用いて面積の実計測(以下 実測楕円面積)を行った(図 8c)。

## 5. 統計学的解析

ACL 大腿骨側付着部全体および MI、FE をそれぞれの数学的楕円面積と実測楕円面積を統計学的に比較し、更に相関関係を検討した。得られたデータは平均および標準偏差を算出した。数学的楕円面積と実測楕円面積との比較は Mann-Whitney's U test を用いて行い、相関関係は Spearman の順位相関係数を用いて検討した。すべてのデータは SPSS 19.0(SPSS Inc., Chicago,IL, USA)を用いて  $p < 0.05$  を有意差ありとして算出した。

## 6. 形状評価について

楕円とは、平面上のある 2 焦点から距離の和が一定となるような点の集合から作られる曲線であり、面積は  $0.25 \pi$  (長径×短径)を用いて求めることができる。数学的楕円公式を用いて ACL 大腿骨側付着部、MI と FE の面積を正確に算出することができれば、楕円であると言えるため、正確に測れているかどうかを ImageJ で実計測することにより検証した。数学的楕円面積と実測楕円面積に有意差がなければ楕円であると言えるが、逆に有意差があれば楕円とは言えない。相関関係は、相関性が高ければ数学的楕円面積が増加すれば実測楕円面積も増加する。楕円に大きく肉付けした形状(図 9a)と楕円の一部を大きくくり抜いた形状(図 9b) のような両極端な形状がそれぞれ多く存在するようなことはなく、常にある程度一定の形状が存在し、楕円に少し肉付けされた形や楕円から少しくり抜いた形が多く存在するということを意味する。

# 結果

## 1. ACL 大腿骨側付着部の肉眼的評価

ACL 大腿骨側付着部を肉眼的に検討すると(図 10)、ACL 大腿骨側付着部全体はさまざまな形態を認め、楕円ではないものが大半を占めていた(図 11)。MI は楕円に近い形状を示すものが多く認められた。しかし、個々において幅や傾きがそれぞれ異なっていた(図 12)。また FE はさまざまな形態が存在したが、三日月状の形態を多く認めた(図 13)。

## 2. 2つの計測法における面積値

面積は平均値±標準偏差で示した。数学的楕円面積は ACL 大腿骨側付着部全体が  $113.9 \pm 4.5 \text{ mm}^2$ 、MI が  $58.4 \pm 3 \text{ mm}^2$ 、FE が  $61 \pm 14.3 \text{ mm}^2$ であった。実測楕円面積は ACL 大腿骨側付着部全体が  $127.6 \pm 41.7 \text{ mm}^2$ 、MI が  $61 \pm 20.2 \text{ mm}^2$ 、FE が  $67 \pm 27.3 \text{ mm}^2$ であった。

## 3. 2つの計測法における面積の比較

Mann-Whitney's U test を用いて数学的楕円面積と実測楕円面積を比較すると、ACL 大腿骨側付着部全体および MI、FE ともに数学的楕円面積と実測楕円面積との間に有意な差を認めた( $P < 0.05$ ) (図 14a,b,c)。このことから ACL 大腿骨側付着部全体および MI、FE は正確には楕円ではないことが示唆された。

## 4. 2つの計測法における面積の相関

Spearman の順位相関係数を用いて数学的楕円面積と実測楕円面積との間の相関を調べると、ACL 大腿骨側付着部全体と FE では数学的楕円面積と実測楕円

面積との間に明らかな相関を認めなかったが(ACL 大腿骨側付着部全体: 相関係数=0.247,  $p=0.134$ 、FE: 相関係数=0.207,  $p=0.206$ ) (図 15a,c)、MI は強い相関を認めた(相関係数=0.846,  $p<0.01$ ) (図 15b)。このことから MI はある程度一定の形をとっており、橢円に少し肉付けした形や橢円を少しくり抜いた形が多く存在することがわかり、橢円に類似していることが明らかとなった。

## 考察

現在多く行われている解剖学的 ACL 再建術にはハムストリング腱を用いた一重束再建法／二重束再建法、膝蓋腱を用いた再建法がある。膝蓋腱法とハムストリング腱法では脛骨前方移動量、術後スコア、再断裂率、可動域、スポーツ復帰率に差はなかったと報告されている<sup>45)</sup>。また、ハムストリング腱一重束法と二重束法では回旋安定性が一重束で弱い傾向にあったが、脛骨前方移動量、術後スコア、再断裂率、固有感覚に差はなかったと報告されている<sup>46)</sup>。手術成績に関しては、これまで多くの研究が行われており、術式の開発や改善、また、リハビリテーションの向上などにより臨床成績はより良好なものになっている。しかし、ACL 再建術の術後成績は未だ完全に満足できるものではなく、現在でも再断裂を起こす例やスポーツ復帰を果たせない例もあるのが現状である。術後5年間で再断裂は約10%存在すると言われており<sup>29)</sup>、約20%は完全なスポーツ復帰ができないと言われている<sup>30)</sup>。成績不良因子として年齢、半月板損傷や軟骨損傷の合併、早い競技復帰、不十分な筋力回復、骨孔の位置不良などが報告されている<sup>47)</sup>。特に骨孔位置に関しては解剖学的位置に作製できなければ、回旋不安定性の残存の可能性や再断裂率が上昇することが報告されている<sup>32,48)</sup>。手術手技を改善し、その課題を埋めるためには、更なる臨床解剖学的な研究を行い、より正常人体の機能に近い解剖学的な再建を目指すことが成績の向上へつながる可能性がある。ACL 大腿骨側付着部全体は楕円形状であると従来から報告されていることをもとに<sup>39-42)</sup>、より解剖学的な再建を目指して楕円骨孔を用いた ACL 再建術が報告されはじめている<sup>47-49)</sup>。また2004年から行われている解剖学的 ACL 二重束再建術は AM、PL の再現を目的

としており、今後の成績向上が期待される。これまでに ACL 大腿骨側付着部は楕円であると言われてきたが<sup>39-42</sup>、一概に楕円かどうか詳細に検討したものはない。また、肉眼的評価で ACL 大腿骨側付着部の形態を検討した報告では、個々において形態学的に大きなバリエーションがあると述べられているだけで<sup>9)</sup>、楕円形状の有無ならびに MI および FE についての検討は行われていない。しかし本研究で ACL 大腿骨側付着部全体、FE の形態は肉眼的評価だけでなく面積測定にて楕円形ではないことが明らかとなった。また、MI は真の楕円ではないが、楕円に類似した形状をしていることも明らかとなった。楕円に類似した形状ならば焦点は 2 つ存在する。その焦点は機能中心点であるため、そこに骨孔を作製することで正常な靭帯機能を獲得できる可能性があると考えられる。現在ある術式では、移植腱を用いて MI および FE を含む ACL 大腿骨付着部全体を再現することはできない。ACL の大腿骨側の MI が機能的に重要であると報告されて楕円に類似した形状を示すことから正常機能の ACL を完全に再現するためには、MI の楕円の 2 焦点を把握し、そこに骨孔を作製する必要があると考える。骨孔の形だけ楕円形状にしたとしても移植腱は緊張とともに楕円から円に近づき焦点は 1 焦点となり機能的に改善するとは考えにくく、楕円に類似した MI は 2 焦点を有するため二重束で再建することで真に解剖学的 ACL 再建術となる可能性がある。しかし個々の症例により MI の形状、傾きが異なるため今後臨床での応用のためにはさらなる検討が必要となってくる。その対策として、術前の臨床的、画像的評価として、3 DCT を用いることにより ACL 大腿骨側付着部の面積をある程度予測できる可能性があるが<sup>49)</sup>、ACL 大腿骨側付着部全体、MI もしくは FE の形態の評価方法、および術中の膝形態、レムナント形態などの評価方法についての検討も必要となり、今後の課題に挙げられる。

本研究の Limitation としては、第一に実際の手術は関節鏡視下で行うため、今後は ACL 大腿骨側付着部の形態を術中に評価する方法なども含め、関節鏡と照らし合わせた検討が必要となる。第二に、献体の平均年齢が極めて高齢である点である。実際の ACL 再建術は活動性の高い患者に対して行う手術であり、若年者が多い。また、本研究では高度な関節症性変化を認めたものは除外しているが、加齢に伴う骨や靭帯の変性のため形態に変化が起きている可能性がある。第三に、検体数が少ない点である。本研究では 39 体 39 膝であり多くの解剖研究とは検体数は大きく変わりはないが、ACL 大腿骨側付着部の形態的バリエーションを考慮すると更に検体数を増やしていく必要がある。第四に、本研究は二次元のみの評価という点である。実際の ACL の線維は角度を持って骨に付着している。また実際の手術では骨孔を開けるドリルは骨に対して垂直に当ててはならず、ある程度角度が浅く、斜めに骨に当てているため、正確にはドリルの形を反映できてはいない。第五に、骨孔作製位置に関して、近年では大腿骨外側顆内側壁の骨性隆起と大腿骨側付着部の関係性について重要視されているが、本研究ではそれについては検討していない点である。第六に楕円に類似した MI は 2 焦点を有するため二重束で再建することで機能的に真に解剖学的 ACL 再建術となるか機能解剖学的に検証されていないことである。第七に FE の詳細な機能については検討していない点である。MI が機能的に重要であるとの報告が多いが、完全な解剖学的 ACL 再建術を目指すためには、今後更なる FE の検討が必要となる可能性がある。



## まとめ

本研究は初めて ACL 大腿骨側付着部を肉眼だけでなく面積測定することで解剖学的に検討した研究である。ACL 大腿骨側付着部全体と FE の形態は肉眼的評価だけでなく面積測定にて楕円形ではないことを明らかにした。また、MI は真の楕円形ではないが、楕円に類似した形状をしていることも明らかにした。楕円に類似した形状のため焦点は 2 つ存在する。MI の本来の機能を再現するためには、その焦点に骨孔作製する方法が術後の機能改善の重要な鍵となるのではないかと考える。すべての症例に一定の形状の骨孔を作製していく ACL 再建術は真に解剖学的再建術とはならない。今後は個々の ACL 大腿骨側付着部の形態とくに MI の形態に応じた再建方法を検討していく必要があることが示唆された。

## 謝辞

本研究を終えるにあたり、研究の機会を与えていただき、熱心なご指導、ご校閲を賜った日本大学医学部整形外科学講座 中西一義教授、徳橋泰明前教授、に心より厚く御礼申し上げます。また指導教員として研究に対する姿勢や学位論文をまとめるにあたりご指導賜りました大幸英至准教授に謹んで感謝の意を表します。また研究に際して適切なご指導をいただいた洞口敬准教授、日本大学医学部機能形態学系生体構造医学分野 相澤信教授およびスタッフの方々、上牧温泉病院 入内島崇紀先生に心より深謝いたします。そして日常の臨床業務において様々な御支援をいただいた日本大学医学部整形外科学講座の医局員の皆様に心より厚く御礼申し上げます。



图 1:

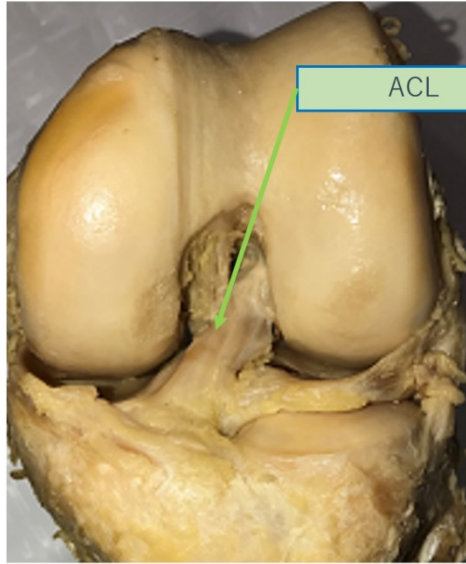


图 2:

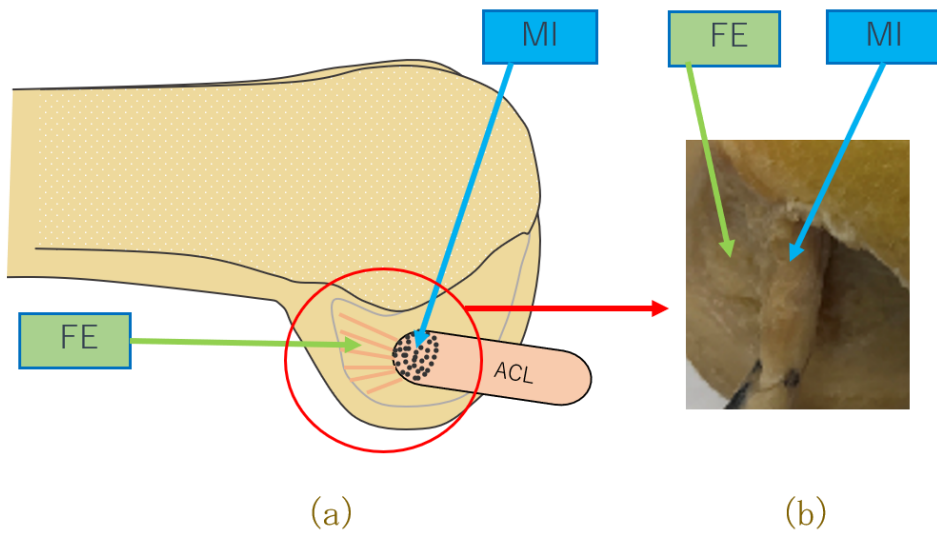
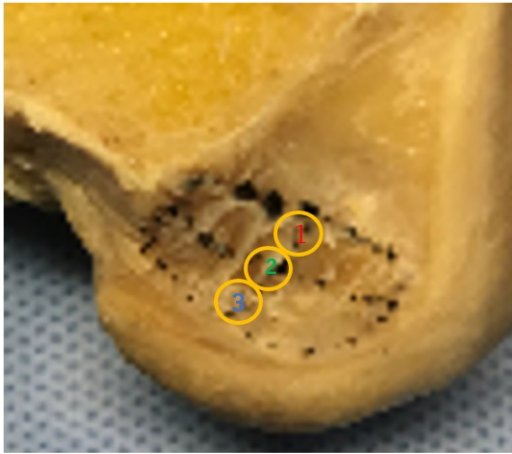
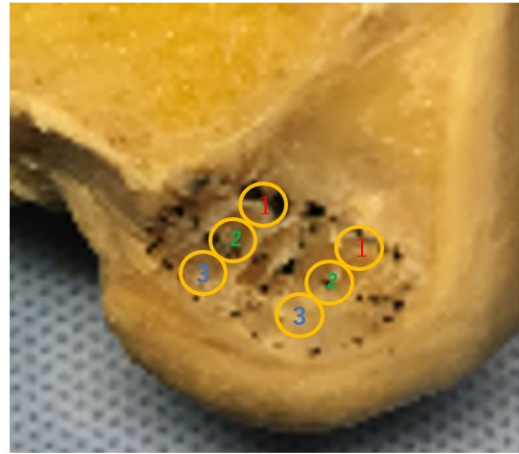


图 3:

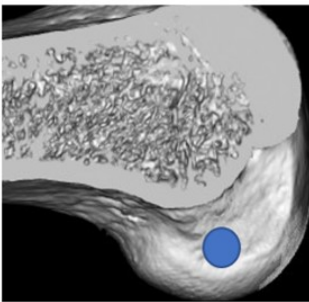


(a)

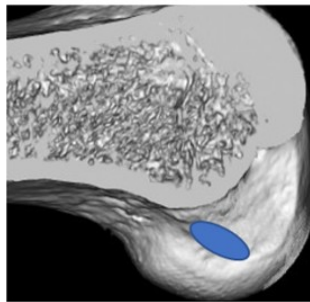


(b)

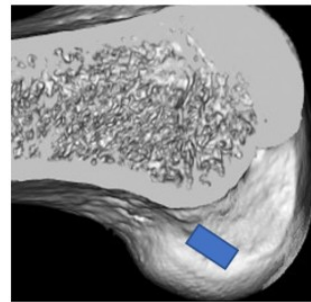
图 4:



(a)

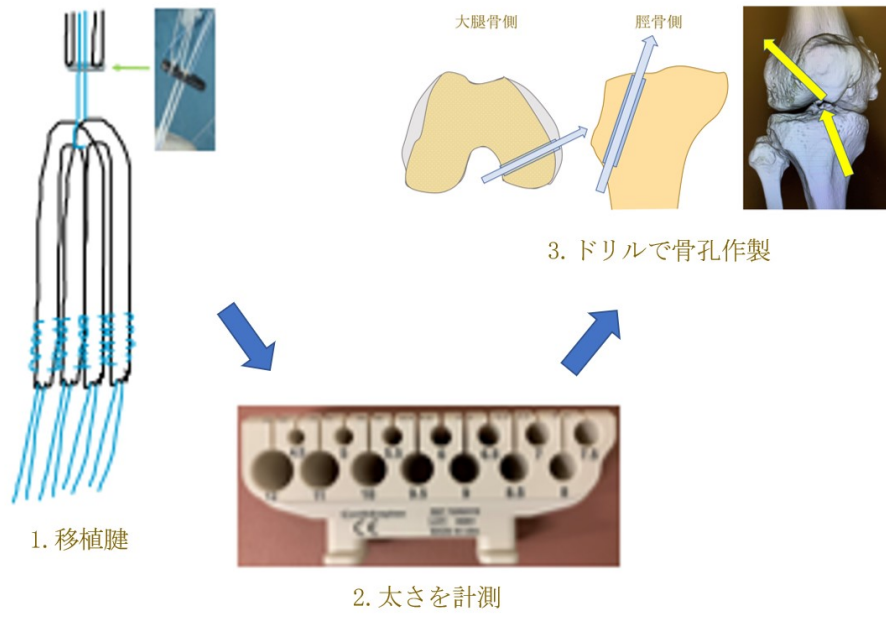


(b)

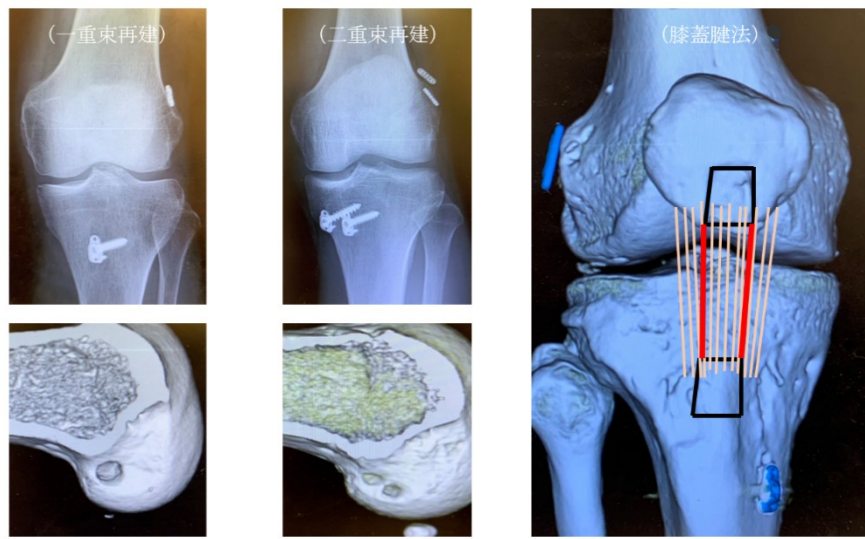


(c)

図 5:



(a)



(b)

图 6:

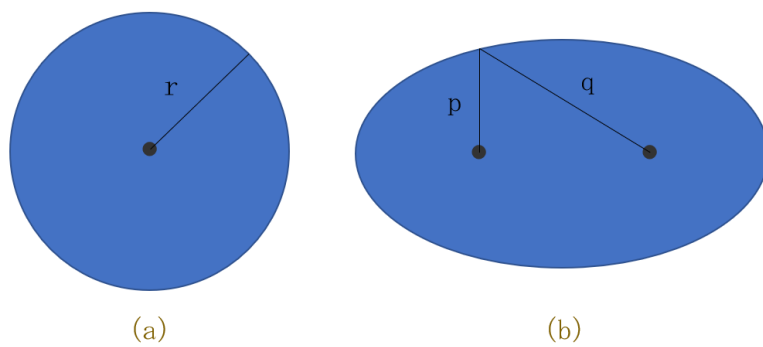


图 7:

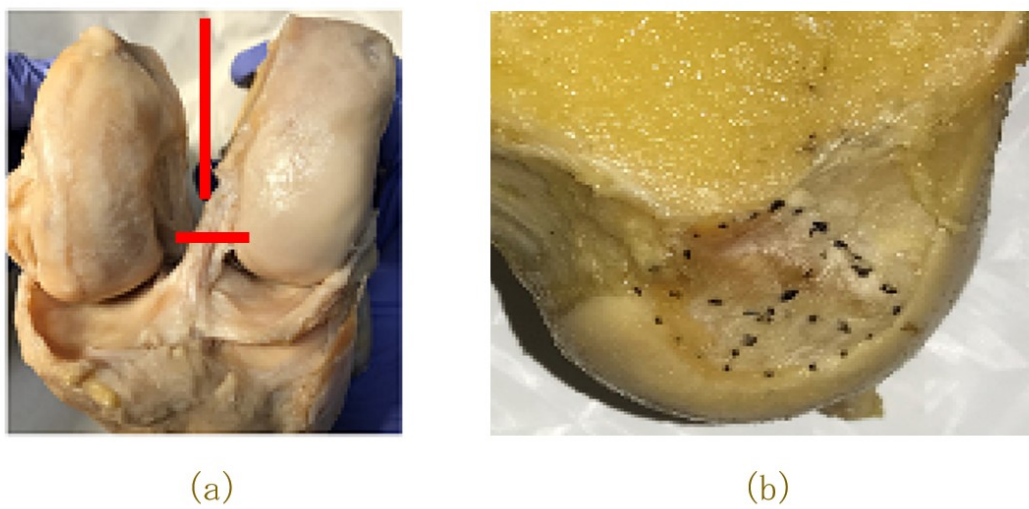


图 8:

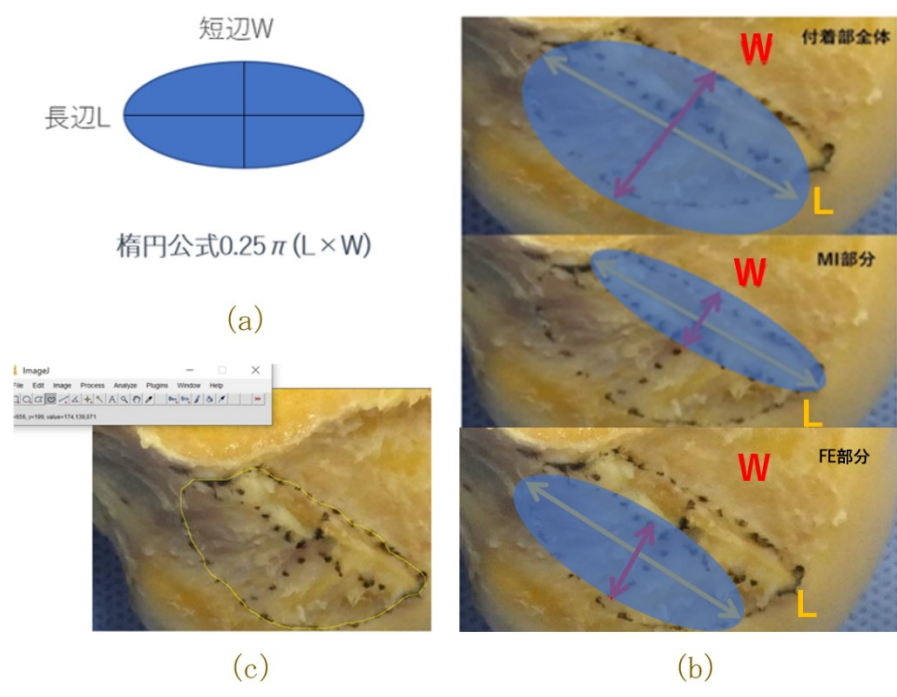


图 9:

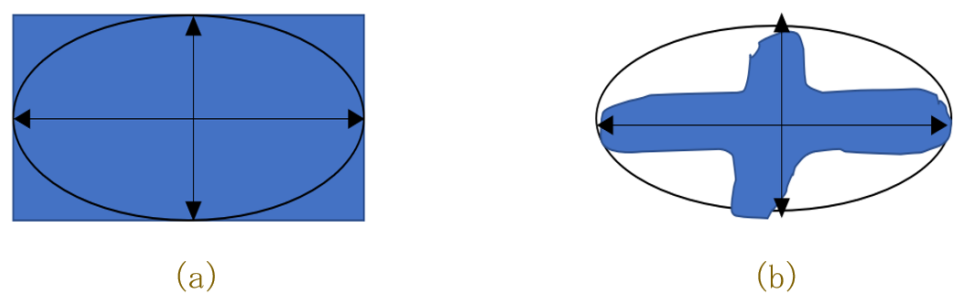


图 10:



11



图 11:

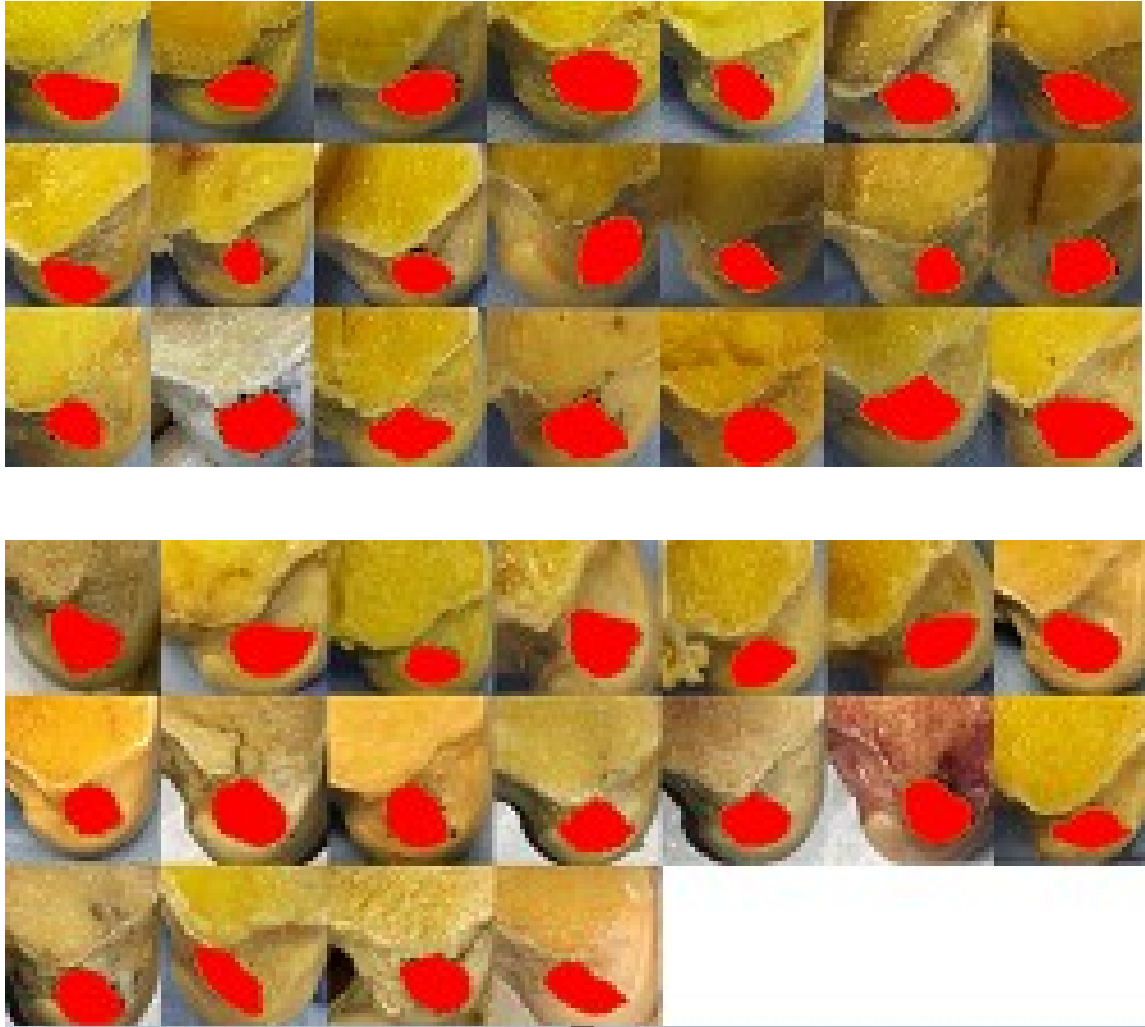


图 12:



图 13:

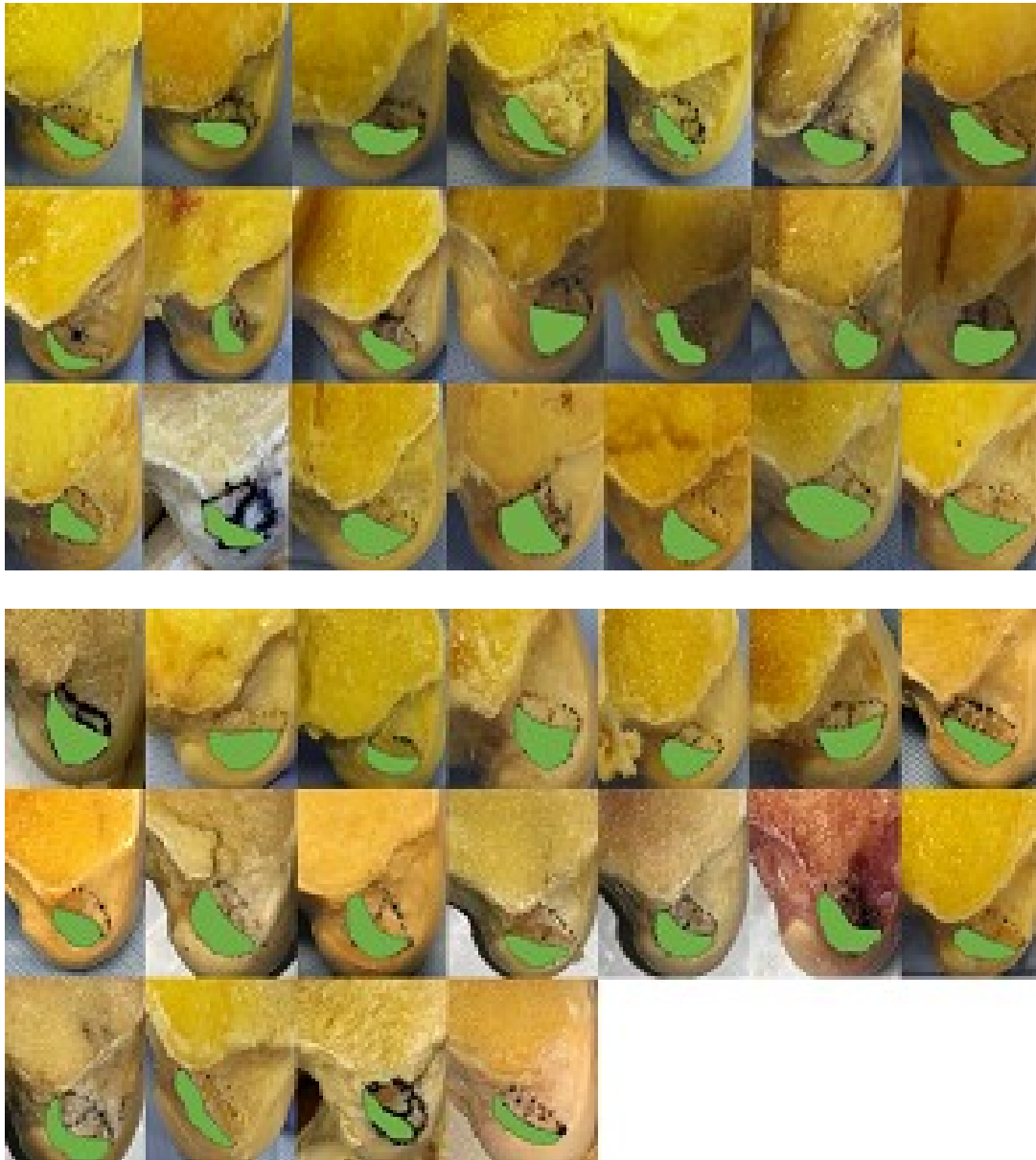


図 14:

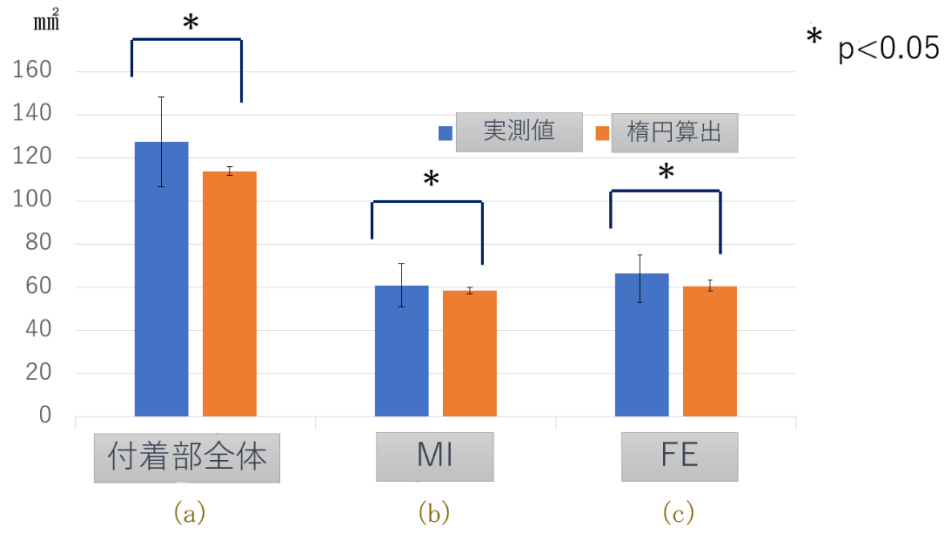
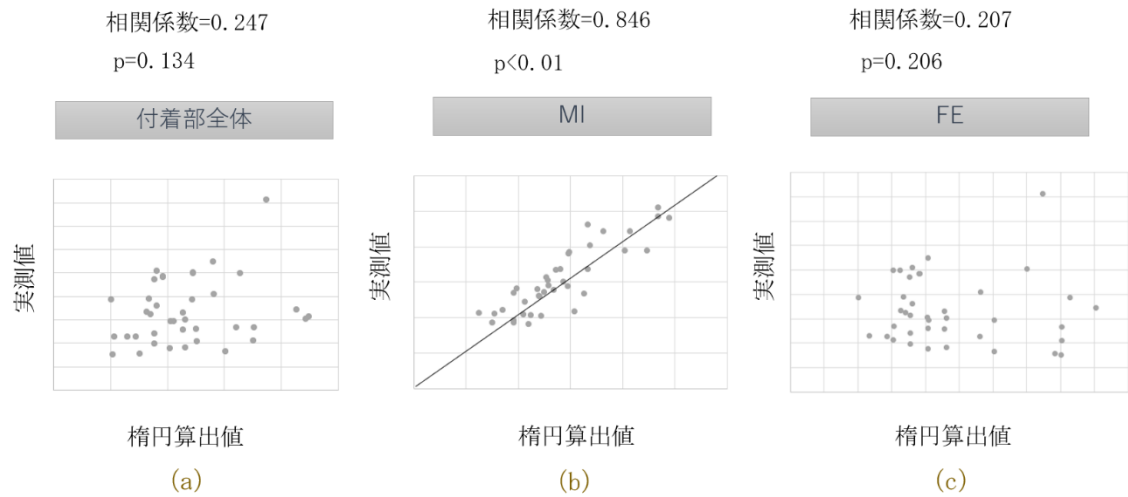


図 15:



## 図説

### 図 1: 正面から見た ACL

ACL は矢印の様に膝関節の中心に位置する靭帯で、大腿骨外顆の内側壁後上方から起出し、脛骨顆間中央部に付着している。

### 図 2: MI と FE の大腿骨側付着部

a: ACL 大腿骨側付着部の模式図である。MI は前方に位置し骨に対して直接、帯状に付着しており、FE は後方の軟骨面まで膜状に広がって付着している。b: 赤い部分を拡大した実際の写真である。MI の線維を折り曲げると MI と FE の境界が容易に判断できる。

### 図 3: 骨孔の作製位置

a: ACL 一重束再建。b: ACL 二重束再建。1: MI、2: 中心部、3: FE のうち最も解剖学的で機能的な骨孔の作製位置に関しては未だ議論されている。

### 図 4: 術式による骨孔の形状

a: 正円骨孔、b: 楕円骨孔、c: 長方形骨孔。ハムストリング腱法には a、b の術式があり、膝蓋腱法には a、c の術式がある。

### 図 5: ACL 再建術の仕組み

a: 1. 移植腱に誘導糸を縫合し上方に大腿骨に引っ掛けるプレートを装着。2. 移植腱の太さを測定。3. 測定した太さのドリルで大腿骨と脛骨に骨孔を作製。

b: 一重束再建、二重束再建の大腿骨へ引っ掛けるプレートと移植腱の下方の糸を結びつける脛骨側のプレート、また骨孔位置を表した。膝蓋腱法は移植腱を赤線の位置で採取する。

### 図 6: 円と楕円

a: 円とはある 1 焦点からの距離  $r$  が一定となるような点の集合から作られる曲線である。b: 楕円とは平面上のある 2 焦点からの距離の和  $p+q$  が一定となるような点の集合から作られる曲線である。楕円なら必ず平面上に 2 焦点を有する。

### 図 7: 解剖手技の写真

a: ACL 以外の軟部組織を除去し、摘出した膝関節である。赤線: ACL を横切し、大腿骨を縦割した。b: インクでマーキングした部位は ACL 大腿骨側付着部全体の境界と AM と PL、MI と FE の境界である。

### 図 8: 面積の計算方法

a: 数学的楕円公式、b: 数学的楕円面積の算出方法、c: 実測楕円面積の算出方法

### 図 9: 形状評価の例

a: 楕円に肉付けした形状、b: 楕円の一部をくり抜いた形状。

### 図 10: ACL 大腿骨側付着部の肉眼的評価

ACL 大腿骨側付着部全体、MI、FE の付着部をマーキングした図である。それぞれ個々に大きさ、形状が異なる。

### 図 11: ACL 大腿骨側付着部全体の肉眼的評価

ACL 大腿骨側付着部全体は様々な形態を認め、楕円ではないものが大半を占めている。

### 図 12: MI の肉眼的評価

MI は楕円に近い形状のものを多く認める。しかし、個々において幅や傾きが異なっている。

### 図 13: FE の肉眼的評価

FE は様々な形態を認め、三日月状の形態を多く認める。

### 図 14: 統計学的比較 (Mann-Whitney's U test)

Mann-Whitney's U test を用いた数学的楕円面積(オレンジ) と実測楕円面積(青) の比較を表したグラフである。a: ACL 大腿骨側付着部全体、b: MI、c: FE。いずれも数学的楕円面積と実測楕円面積の間に有意な差を認める。

### 図 15: 相関関係の検討 (Spearman の順位相関係数)

Spearman の順位相関係数を用いて数学的橢円面積と実測橢円面積との間の相関関係を調べたグラフである。a : ACL 大腿骨側付着部全体は明らかな相関を認めない。b : MI は有意な相関を認める。c : FE は明らかな相関を認めない。



## 引用文献

1. 奥脇透. 中高生の部活動における外傷統計. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2012;20:415-7.
2. Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R, Krosshaug T. Mechanisms for Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Am J Sports Med.* 2010;11:2218-25.
3. Lie M, Risberg MA, Storheim K, Engebretsen L, Oiestad BE. What's the rate of knee osteoarthritis 10 years after anterior cruciate ligament injury? An updated systematic review. *Br J Sports Med.* 2019;53:1162-7.
4. Matava MJ, Arciero RA, Baumgarten KM, Carey JL, Deberardino TM, Hame SL, Hannafin JA, Miller BS, Nissen CW, Taft TN, Wolf BR, Wright RW. Multirater agreement of the causes of anterior cruciate ligament reconstruction failure: a radiographic and video analysis of the Mars cohort. *Am J Sports Med.* 2015;43:310-19.
5. Nebelung W, Wuschech H. Thirty-five years of follow-up of anterior cruciate ligament-deficient knees in high-level athletes. *Arthroscopy.* 2005;21:696-702.
6. Toy BJ, Yeasting RA, Morse DE, McCann P. Arterial supply to the human anterior cruciate ligament. *J Athl Train.* 1995;30:149-52.
7. Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;172:19-25.
8. Siebold R, Ellert T, Metz S, Metz J. Tibial insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament: morphometry, arthroscopic landmarks, and orientation model for bone tunnel placement. *Arthroscopy.* 2008;24:154-61.

9. Edwards A, Bull AM, Amis AA. The attachments of the anteromedial and posterolateral fibre bundles of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16:29-36.
10. Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski T. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg.* 1997;10:14-22.
11. Ferretti M, Ekdahl M, Shen W, Fu F. Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: An anatomic study. *Arthroscopy.* 2007;23:1218-25.
12. Bach JM, Hull ML, Patterson HA. Direct measurement of strain in the posterolateral bundle of the anterior cruciate ligament. *J Biomech.* 1997;30:281-3.
13. Zantop T, Herbort M, Raschke M, Fu F, Petersen W. The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med.* 2007;35:223-7.
14. Girgis F, Marshall J, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 1975;106:216-31.
15. Mochizuki T, Fujishiro H, Nimura A, Mahakkanukrauh P, Yasuda K, Muneta T, Akita K. Anatomic and histologic analysis of the mid-substance and fan-like extension fibres of the anterior cruciate ligament during knee motion, with special reference to the femoral attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;2:336-44.
16. Kawaguchi Y, Kondo E, Takeda R, Akita K, Yasuda K, Amis A. The role of fibers in the femoral attachment of the anterior cruciate ligament in resisting tibial displacement. *Arthroscopy.* 2015;3:435-44.

17. Torg JS, Conrad W, Kalen V. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med.* 1976;4:84-93.
18. Kitamura N, Yokota M, Kondo E, Miyatake S, Nagamune K, Yasuda K. Biomechanical characteristics of 3 pivot-shift maneuvers for the anterior cruciate ligament-deficient knee: in vivo evaluation with an electromagnetic sensor system. *Am J Sports Med.* 2013;41:2500-6.
19. Kijowski R, Roemer F, Englund M, Tiderius CJ, Sward P, Frobell RB. Imaging following acute knee trauma. *Osteoarthr Cartil.* 2014;22:1429-43.
20. Klass D, Toms AP, Greenwood R, Hopgood P. MR imaging of acute anterior cruciate ligament injuries. *Knee.* 2007;14:339-47.
21. 清家渉. RICE 療法の意義について. *臨床スポーツ医学.* 1997;5:561-5.
22. 谷埜予士次. 膝関節不安定性に対する理学療法を考える. *関西理学.* 2006;6:27-30.
23. Kato Y. Clinical Management of Anterior Cruciate Ligament. *J Nihon Univ Med Ass.* 2013;2:81-5.
24. 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会,ACL 損傷ガイドライン策定委員会: 前十字靭帯 (ACL)損傷診療ガイドライン. *ACL 再建法の工夫*, 南江堂, 157-8, 2006.
25. Aglietti P, Buzzi R, Zaccherotti G, De Biase P. Patellar tendon versus doubled semitendinosus and gracilis tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1994;22:211-7.
26. Lewis PB, Parameswaran AD, Rue JP, Bach BR Jr. Systematic review of single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction outcomes: a baseline assessment for consideration of double-bundle techniques. *Am J Sports Med.* 2008;36:2028-36.

27. Shino K, Nakata K, Horibe S, Inoue M, Nakagawa S. Quantitative evaluation after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. Allograft versus autograft. *Am J Sports Med.* 1993;21:609-16.
28. Cameron SE, Wilson W, St Pierre P. QA prospective, randomized comparison of open vs arthroscopically assisted ACL reconstruction. *Orthopaedics.* 1995;18:249-52.
29. Feller J, Webster KE. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction. *International Orthopaedics.* 2013;37:285-90.
30. Failla M, Arundale A, Logerstedt D, Snyder-Mackler L. Controversies in knee rehabilitation: anterior cruciate ligament injury. *Clin Sports Med.* 2015;2:301-12.
31. van Eck C, Martins C, Vyas S, Celentano U, van Dijk C, Fu F. Femoral intercondylar notch shape and dimensions in ACL-injured patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;9:1257-62.
32. Howell S, Clark J, Farley T. A rationale for predicting anterior cruciate graft impingement by the intercondylar roof. A magnetic resonance imaging study. *Am J Sports Med.* 1991;19:276-82.
33. Wang J, Kato Y, Ingham S, Maeyama A, Linde-Rosen M, Smolinski P, Fu F. Measurement of the end-to-end distances between the femoral and tibial insertion sites of the anterior cruciate ligament during knee flexion and with rotational torque. *Arthroscopy.* 2012;28:1524-32.
34. Kato Y, Maeyama A, Lertwanich P, Wang JH, Ingham Sheila J. M., Kramaer S, Martins C, Smolinski P, Fu F. Biomechanical comparison of different graft positions for single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21:816-23.

35. Iriuchishima T, Tajima G, Ingham S, Shen W, Smolinski P, Fu F. Impingement pressure in the anatomical and nonanatomical anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaver study. *Am J Sports Med.* 2010;38:1135-46.
36. Kato Y, Ingham SJ, Kramer S, Smolinski P, Saito A, Fu F. Effect of tunnel position for anatomic single-bundle ACL reconstruction on knee biomechanics in a porcine model. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18:2-10.
37. Suruga M, Horaguchi T, Iriuchishima T, Genki I, Yoshiyuki Y, Yasuaki T, Shin A. Morphological size evaluation of the mid-substance insertion areas and the fan-like extension fibers in the femoral ACL footprint. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137:1107-13.
38. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Kitamura N, Tanabe Y, Tohyama H, Minami A. Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy.* 2004;20:1015-25.
39. Sasaki N, Ishibashi Y, Tsuda E, Yamamoto Y, Maeda S, Mizukami H, Toh S, Yagihashi S, Tonosaki Y. The femoral insertion of the anterior cruciate ligament : discrepancy between macroscopic an histological observations. *Arthroscopy.* 2012;28:1135-46.
40. Petersen W, Forkel P, Achtnich A, Metzloff S, Zantop T. Technique of anatomical footprint reconstruction of the ACL with oval tunnels and medial portal aimers. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133:827-33.
41. 中瀬順介, 土屋弘行. 解剖学的前十字靭帯再建術-楕円形ダイレーターを用いた前十字靭帯再建術. *MB Orthop.* 2016;5:105-10.

42. Noh J, Yang B, Roh Y, Kim S, Kim W. Anterior cruciate ligament reconstruction using 4-strand hamstring autograft: Conventional single-bundle technique versus oval-footprint technique. *Arthroscopy*. 2011;27:1502-10.
43. Mae T, Shino K, Matsumoto N, Nakata K, Nakamura N, Iwahashi T. Force sharing between two grafts in the anatomical two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14:505-9.
44. Siebold R, Ellert T, Metz S, Metz J. Femoral insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament: Morphometry and arthroscopic orientation models for double-bundle bone tunnel placement – A cadaver study. *Arthroscopy*. 2008;24:585-92.
45. Xie X, Liu X, Chen Z, Yu Y, Peng S, Li Q. A meta-analysis of bone-patellar tendon-bone autograft versus four-strand hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee*. 2015;2:100-10.
46. Chen G, Wang S. Comparison of single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction after a minimum of 3-year follow-up: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Clin Exp Med*. 2015;9:14604-14.
47. Clare L, Nicholas F, Julian A, Kate E W. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery:an update sustematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med*. 2014;48:1543-52.
48. Zantop T, Diermann N, Schumacher T, Schanz S, Fu F, Petersen W. Anatomical and nonanatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: importance of femoral tunnel location on knee kinematics. *Am J Sports Med*. 2008;36:678-85.

49. Suruga M, Horaguchi T, Iriuchishima T, Genki I, Yoshiyuki Y, Yasuaki T, Shin A. The correlation between the femoral anterior cruciate ligament footprint area and the morphology of the distal femur: three-dimensional CT evaluation in cadaveric knees. *Europ J Orthop Surg & Traumatol.* 2019;29:849-54.

## 研究業績目録

岩間 彦樹

I 発表 ①一般発表 2 (共 0)

②特別発表 1 (共 0)

II 論文 ①原著論文 1 (共 0)

②症例報告 なし

③総説 なし

III 著書 なし

以上



# I 発表

## ① 一般発表

- 1、岩間彦樹、入内島崇紀、矢作善之、駿河誠、洞口敬、徳橋泰明、相澤信  
解剖学的二重束再建術後の大腿骨孔と膝周囲骨形態が形成する角度の  
検討  
第 45 回関東膝を語る会 東京都 2018 年 11 月
- 2、岩間彦樹、洞口敬、永井悠、佐藤仁、矢作善之、大島洋平、駿河誠、吉  
田明生、小松太一、平良勝章、森本祐介  
PCL 損傷を伴った外側変形性膝関節症に対して PCL 再建術と大腿骨内反  
骨切り術を施行した 1 例  
第 10 回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会 福岡県 2018 年 6 月

## ② 特別発表

- 1、Genki Iwama, Takanori Iriuchishima, Takashi Horaguchi, Shin Aizawa.  
Measurement of the Whole and Midsubstance Femoral Insertion of the Anterior  
Crusiate Ligament: The Comparison with the Elliptically Calculated Femoral  
Anterior Cruciate Ligament Footprint Area  
Orthopaedic Research Society Annual Meeting America, Austin, Feb, 2019

## Ⅱ 論文

### ① 原著論文

Genki Iwama, Takanori Iriuchishima, Takashi Horaguchi, Shin Aizawa.

Measurement of the Whole and Midsubstance Femoral Insertion of the Anterior Cruciate Ligament: The Comparison with the Elliptically Calculated Femoral Anterior Cruciate Ligament Footprint Area

Indian Journal of Orthopaedics. 2019 August;53(6):727-731

### ② 症例報告

なし

### ③ 総説

なし

### Ⅲ 著書

なし