（ 様式D－２ ）
（ 別　　紙 ）

令和５年度　海外派遣研究員研究報告書

令和　６年４月５日

日本大学理事長　　殿
日 本 大 学 学 長　　殿

所　　属　　医　学部
資格・氏名　　助教　矢作善之
■本報告書の内容を公表することは了承しております。
（公表可の場合，チェック■すること）

令和　５　年度海外派遣研究員（　長期　）の研究実績を，下記のとおり報告いたします。

記

１　区　　分　　長期

２　研 究 課 題

ブルメンザッツライン形状が前十字靭帯再建時骨孔位置に与える影響に関する研究

３　派 遣 期 間　　西暦　2023　年　4　月　2　日　～　2024　年　3　月　26 日

４　派　遣　先　　アメリカ　ペンシルベニア州ピッツバーグ

５　研 究 目 的

① 前十字靭帯再建術には正確な大腿骨前十字靭帯付着部への骨孔作成が重要である。実際の前十字靭帯再建術の際には残存している前十字靭帯付着部の位置や前十字靭帯の付着する大腿骨外側顆部内側壁の骨形状などから判断して骨孔を作成している。Blumensaat’s lineは大腿骨顆間部天蓋を表しているがBlumensaat’s lineの形状によって前十字靭帯再建術の際の骨孔位置が影響を受けているかどうかに関して研究することが目的である。

② 前十字靭帯損傷における膝関節の解剖学的な危険因子として様々な報告があり、脛骨顆間隆起の高さや幅が小さいことが前十字靭帯損傷の危険因子との報告があるが脛骨顆間隆起全体の体積を計測した報告はない。本研究の目的は、脛骨顆間隆起全体の体積と大腿骨顆部顆間窩の体積が前十字靭帯損傷の危険因子であるかどうかに関して研究することが目的である。

（ 様式D-２ ）

海外での研究の必要性、渡航の必要性

ピッツバーグ大学整形外科のスポーツ医学分野は世界的にも膝スポーツ関連のバイオメカニクスや解剖に関して優れた研究発表を多くしており、私の大学院での研究も膝関節の解剖に関するものであり、過去にピッツバーグ大学に留学した医師にもサポートして頂いておりました。また、 3DCT,3DMR1 の装置があり、かつ毎年安定して多くの前十字靭帯再建術の症例が施行されおり、膝のバイオメカニクス研究をするための膝部のみの固定用の装置及び加速度計や解析装置、統計ソフトもあり、解析装置や統計ソフトを使用可能な助手もいるなど私の研究を行う上での必要な物品や人材がすべてそろっているのはピッツバーグ大学であるため、膝スポーツ関連の研究を継続してぃくためにはピッツバーグ大学整形外科スポーツ医学分野に留学することが最適であると考え渡航させていただきました。

６ 研 究 概 要

① 研究の学術的背景として、本研究に関しては元々Blumensaat’s line は直線として報告されていたが、共同研究者である Iriuchishima らが Blumensaat’s line の形状にバリエーションがあることを報告し、前十字靭帯再建術時の大腿骨骨孔位置を計測する方法として広く用いられている quadrant 法を用いた屍体膝の前十字靭帯付着部の位置に関する研究で Blumensaat’s line の形状によって前十字靭帯付着部の計測位置が異なることを報告した（Yahagi et al. Knee Ssurg Sports Traumatol Arthrosc, 2018）。われわれのこれまでの研究で Blumensaat’s line の形状によって前十字靭帯の付着部の計測位置が変わることを証明してきたが、実際の前十字靭帯再建術時に Blumensaat’s line の形状によって影響を受けるかに関しては一重束前十字靭帯再建術においては報告があるが、解剖学的二重束前十字靭帯再建術において、大腿骨骨孔の位置が Blumensaat’s line の形態学的変異によって影響を受けるかどうかについては、報告がまだされていない。前十字靭帯再建術時の大腿骨骨孔位置は術後成績にも影響するため、前十字靭帯再建術の際の Blumensaat’s line の形状が前十字靭帯再建時の大腿骨骨孔開口部の位置に影響を与えるかどうかを研究することは前十字靭帯再建術の成績向上につながると考える。本研究の目的は、解剖学的二重束前十字靭帯再建術において、Blumensaat’s line の形状のバリエーションが大腿骨骨孔位置に及ぼす影響を明らかにすることである。本研究の仮説は、大腿骨骨孔の位置は Blumensaat’s line の形状のバリエーションに影響されるということである。

本研究は解剖学的二重束前十字靭帯再建術を受けた 53 名（女性 29 名、男性 24 名、年齢中央値：27.4 歳）を対象とした。解剖学的二重束前十字靭帯再建術は、移植腱はハムストリング自家腱を用いてインサイドアウト法を用いて、大腿骨骨孔位置は後外側束は、膝関節屈曲 90 度における外側顆の最下点を目印にその直上に作成した。Blumensaat’s line のバリエーションは 3D-CT 画像における大腿骨外側顆間内側壁の画像を用いて、入内島らの分類に従い、Blumensaat’s line の形

状を、straight type と hill type に分類した。大腿骨骨孔位置の測定は、3D-CT の同一画像を用いて quadrant 法を用いて行った。
Man-Whitney *U* 検定を用いて straight type と hill type の前内側束と後外側束の大腿骨骨孔位置を比較した。

② 研究の学術的背景として前十字靭帯損傷には解剖学的な素因が危険因子の１つとして挙げられる。前十字靭帯に関連した解剖学的な研究としては、大腿骨側では、大腿骨前十字靭帯付着部の形態に関して多くの報告がされており、前十字靭帯損傷の危険因子としては大腿骨顆部顆間窩の幅や形状が前十字靭帯損傷の発生と関連することが報告されている。大腿骨顆部顆間窩については、システマティックレビューで、前十字靭帯損傷群は非損傷群より大腿骨顆間窩の体積が小さいとの報告もあるが、体積は関連しないとの報告もいくつかあり、大腿骨顆部顆間窩の体積が前十字靭帯損傷の危険因子で あるかどうかはまだ議論の余地がある。脛骨側では、前十字靭帯損傷の危険因子として脛骨高原の後方傾斜は前十字靭帯損傷の発生と相関することが報告されているが、そのほかにも脛骨顆間隆起の幅や高さが前十字靭帯損傷の危険因子と関連しているという報告もある。しかし、3D-CT を用いた研究で脛骨顆間隆起全体を計測した報告はなく、脛骨顆間隆起全体のサイズが前十字靭帯損傷の危険因子として関連しているか調査することは有用であると考えた。本研究の目的は、顆間隆起全体の体積と大腿骨顆部顆間窩の体積が前十字靭帯損傷の危険因子であるかどうかを調査することである。仮説は、k 脛骨顆間隆起全体の体積と大腿骨顆部顆間窩の体積は、前十字靭帯損傷群の方が正常膝群よりも小さいということである。
本研究の参加者は前十字靭帯損傷群として解剖学的前十字靭帯再建術を受けた 51 名のアスリート（女性 17 名、男性 34 名：平均年齢 22.0±7.5 歳）と、非損傷群として膝に受傷歴のない健常な大学アスリート 19 名（女性 8 名、男性 11 名：平均年齢 20.1±1.3 歳）である。CT 評価として被験者全員の両膝 CT を取得し、Mimics 画像処理ソフトを用いて被験者固有の 3D 骨モデルを作成した。作成した 3D 骨モデルから顆間隆起全体の体積と大腿骨顆部顆間窩の体積を測定した。脛骨顆間隆起全体の体積と大腿骨顆部顆間窩の体積、脛骨顆間隆起全体の体積を脛骨高原面積で標準化したもの、大腿骨顆部顆間窩を脛骨高原面積で標準化したものを、Man-Whitney *U* 検定を用いて 前十字靭帯損傷群と非損傷群間で比較した。

７　研究結果・成果

①　結果

Blumensaat’s line 形状のバリエーションは straight type18 例、hill type35 例であった。大腿骨骨孔の位置は straight type では、大腿骨骨孔の位置は shallow-deep 方向で前内側束が 21.7±7.0%、後外側束が 33.6±10.5%、high-low 方向で前内側束が 42.1±11.1%、後外側束が 72.1±8.5%であった。hill type の膝では、大腿骨骨孔の位置は shallow-deep 方向で前内側束が 21.3±

5.8%、後外側束が 36.9±7.1%、high-low 方向で前内側束が 44.6±10.7、後外側束が 72.1±9.7%であった。前内側束および後外側束の大腿骨骨孔の位置は、straight type と hill type の間に有意差は認められなかった（前内側束 shallow-deep[p=0.985]、後外側束 shallow-deep[p=0.430]、前内側束 high-low[p=0.430]、後外側束 high-low[p=0.693]）。
考察　本研究の主な知見は、前内側束および後外側束の大腿骨骨孔の位置は、straight type と hill type の間で有意差が検出されなかったことである。Iriuchishima らの報告によると、前十字靭帯一重束再建術では、straight type と hill type で大腿骨骨孔の位置に有意差が認められた。hill type では、Blumensaat’s line の骨孔の近辺に hill が存在するため、大腿骨骨孔が意図せず浅く低い位置に誘導される可能性があると報告されている。Farrow らも、前十字靭帯再建術における大腿骨骨孔の形成は、Blumensaat’s line の形状に影響されると報告している。これらの報告はいずれも、大腿骨骨孔の位置を決める際に、Blumensaat’s line の形状を術前に評価することの重要性を指摘している。本研究は、前内側束、 後外側束ともに大腿骨骨孔の位置に straight type と hill type の間で有意差がなかったという点で、以前の報告とは異なっている。大腿骨骨孔の作成方法とその位置の決め方も、われわれの研究における結果の違いの原因の可能性がある。入内島ら は、resident’s ridge と bifurcate ridge を用いて大腿骨骨孔の位置を決定した一重束前十字靭帯再建術において、Blumensaat’s line の形状のバリエーションによって大腿骨骨孔の位置に有意差が認められたと報告している。しかし、resident’s ridge と bifurcate ridge の有無は患者ごとで異なることがあり、大腿骨骨孔の位置を決定するためにこれらを使用する際には 注意が必要である。本研究では、大腿骨外顆内側面の最下点を目印とし、大腿骨骨孔はその上部に形成した。この手技は、すべての症例に適応でき、resident’s ridge と bifurcate ridge に依存せず、Blumensaat’s line の形状を考慮する必要がない点で有用である。
結論　解剖学的二重束前十字靭帯再建術における前内側および後外側大腿骨骨孔の位置は、Blumensaat’s line の形状のバリエーションに影響されなかった。

この研究結果は Journal of Knee Surgery に掲載されています。
Yahagi Y, Iriuchishima T, Iwama G, Suruga M, Nakanishi K. Femoral Tunnel Position in Anatomical Double-bundle ACL Reconstruction is not Affected by Blumensaat’s Line Morphology. J Knee Surg. 2024 Mar 4. doi: 10.1055/a-2265-9586. Online ahead of print. PMID: 38336111

② 結果
脛骨顆間隆起全体の体積は、前十字靭帯損傷群（2.1±0.5cm^3） 、前十字靭帯非損傷群（2.7±0.7 cm^3）より 20.7%小さかった（p=0.005）。脛骨顆間隆起全体の体積を脛骨高原面積で標準化すると、前十字靭帯損傷群（0.6±0.1mm^3/mm^2） の値

は、前十字靭帯非損傷群（0.8±0.2 mm^3/mm^2）より 23.4％小さかった（$p<0.001$）。

大腿骨顆部顆間窩の体積は、前十字靭帯損傷群（9.5±2.1 cm^3）と前十字靭帯非損傷群（8.7±2.8 cm^3）の間に有意差はなかった。大腿骨顆部顆間窩の体積を脛骨高原面積で標準化すると、前十字靭帯損傷群（2.6±0.4 mm^3/mm^2）と前十字靭帯非損傷群（2.4±0.4 mm^3/mm^2）の間に有意差はなかった。

本研究の主な知見は、前十字靭帯損傷群の脛骨顆間隆起全体の体積は、前十字靭帯非損傷群よりも有意に小さかったということである。この結果は、脛骨棘の高さ、幅、面積、および部分的な体積について、脛骨顆間隆起の形態と前十字靭帯損傷のリスクとの間に相関関係を見出した過去の報告を反映している。Lansdownらは、脛骨顆間隆起は大腿骨顆と一部関節を形成しており、脛骨顆間隆起の形状の違いによって膝の動きが異なる可能性があり、脛骨顆間隆起が小さい患者は膝の運動学に異常がある可能性があると報告している。

結論　前十字靭帯損傷群の脛骨顆間隆起全体の体積は前十字靭帯非損傷群よりも小さかったが、大腿骨顆部顆間窩の体積には群間差はなかった。脛骨顆間隆起が小さいことは、アスリートが前十字靭帯損傷に陥りやすい解剖学的危険因子のリストに加えることができる。

この報告はKnee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy に掲載されています。

Yahagi Y, Gale T, Nukuto K, Irrgang J, Musahl V, Anderst W.
Tibial spine volume is smaller in ACL-injured athletes compared to healthy athletes. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2024 Mar 26. doi: 10.1002/ksa.12161. Online ahead of print.PMID: 38529659

以　上