

論文の内容の要旨

論文題目 解剖学的前十字靭帯再建術の大腿骨孔設置に関する研究
—3次元透視画像を基にしたナビゲーションによる解剖学的設置への工夫とその術後成績および骨孔拡大について—
氏名 武富修治

膝前十字靭帯（ACL）損傷は、損傷によって生じる膝関節の前方回旋不安定性のため、ストップ動作や着地、方向転換時の膝くずれによりスポーツ活動が制限されるだけでなく、放置することで半月や関節軟骨の障害を併発して、膝関節機能の低下、さらに長期的には2次性の変形性膝関節症に至るスポーツ外傷であり、その治療は重要である。ACLは膝関節の大腿骨外側顆の内側壁と脛骨の顆間隆起内側とに付着する靭帯であり、多くの細い線維が束状になって靭帯を構成しているが、その構成成分は、大きく前内側束（AMB）と後外側束（PLB）の2つに分けられると考えられている。ACL損傷の治療は、自家腱による再建術が標準的な治療である。これまでのACL再建術は骨付き膝蓋腱（BTB）または膝屈筋腱を用いた1重束再建が中心であった。1重束ACL再建術の成績はある程度良好であることが報告されているものの、再建後の膝不安定性の残存や、半月損傷や軟骨損傷、さらには2次性の変形性関節症をきたす例も少なからず報告されている。近年、膝関節の正常なキネマティクスを再現すべく、膝屈筋腱を用いた2重束ACL再建術や、ACLの正常解剖を模倣する骨付き膝蓋腱を用いた長方形骨孔ACL再建術が行われるようになってきている。

ACL再建術の成功に非常に重要と考えられる大腿骨孔設置位置を解剖学的にするための工夫と大腿骨孔に関する3つの研究を本論文にまとめた。ACL再建術における大腿骨孔作成を解剖学的にまた再現性をもって行うための工夫として3次元透視画像を基にしたフルオロスコーピーナビゲーションを用いている。本ナビゲーションは、術中に取得した透視画像を元に3次元骨モデルを作成し、その骨モデルと骨孔作成に使用するガイドを同期させることで、骨孔作成位置を骨モデル上に投影させることができるイメージベースナビゲーションである。研究Ⅰでは本ナビゲーションを用いて行ったACL再建術において、大腿骨孔が実際に解剖学的位置に作成されているかを検証し、研究Ⅱでは本ナビゲーションを用いたACL再建術の臨床成績を調査した。研究Ⅲでは術後変化として広く知られているものの、その程度や方向がわかっていない骨孔拡大について、解剖学的ACL再建術後の大腿骨孔拡大の程度・方向を、膝屈筋腱を用いた再建術とBTBを用いた再建術間で比較した。

研究Ⅰ

膝屈筋腱を用いた解剖学的2重束ACL再建術(DBR)を行った34例およびBTBを用いた解剖学的長方形骨孔ACL再建術(BTBR)を行った20例を対象とした。術後1週で撮像した3次元computed tomography(CT)を用い、Quadrant法を用いた座標系を設定し、大腿骨孔中心位置を測定した。DBRでは円に近似したAMB骨孔、PLB骨孔中心を、BTBRでは楕円に近似した大腿骨孔中心位置を定量的に評価した。DBRではAMB骨孔中心位置は水平方向に後方より平均 $21.0\% \pm 4.1\%$ 、垂直方向にBlumensaat線より平均 $30.5\% \pm 9.3\%$ 、PLB骨孔中心位置は水平方向に後方より平均 $31.3\% \pm 5.8\%$ 、垂直方向にBlumensaat線より平均 $57.2\% \pm 7.7\%$ であった。BTBRでは骨孔中心位置は水平方向に後方より平均 $26.6\% \pm 4.4\%$ 、垂直方向にBlumensaat線より平均 $48.1\% \pm 6.0\%$ であった。

研究II

ACL単独再建術を行った100例を対象とした。このうちDBRを行った群は83例、BTBRを行った群は17例である。術後臨床成績として、KT-2000 arthrometer (MEDmetric社)による前方動揺性評価、N-testによる回旋不安定性評価、International Knee Documentation Committee (IKDC) Knee Examination Form 2000による膝靭帯手術後の客観的機能評価、Cybex® (Lumex社)による筋力評価、患者立脚型の主観的膝関節機能評価としてのLysholm scoreおよび、術後合併症として再断裂率を評価した。KT-2000患健差はBTBR群 $0.3\text{ mm} \pm 1.5\text{ mm}$ 、DBR群 $0.8\text{ mm} \pm 1.1\text{ mm}$ と有意差はないもののBTBR群で前方制動が優れている傾向があった。(p=0.085)IKDCはBTBR群でA:82%、B:18%、C・D:0%、DBR群でA:67%、B:33%、C・D:0%、N-test陰性率はBTBR群88.2%、DBR群86.7%、術後1年の筋力は伸展が健側比BTBR群 $84.8\% \pm 17.7\%$ 、DBR群 $84.0\% \pm 16.7\%$ 、屈曲はBTBR群 $95.2\% \pm 10.8\%$ 、DBR群 $90.9\% \pm 14.4\%$ であった。Lysholm scoreはBTBR群 98.2 ± 2.6 、DBR群 97.2 ± 3.7 、再断裂がDBR群で2例2%にあった。すべての項目で有意差はなかった。

研究III

ACL再建術を行った52例(うちDBR群は26例、BTBR群は26例)を対象とした。研究Iと同様のプロトコールで術後1週および1年で撮像した3次元CTモデルを使用した。3次元モデル上に研究Iと同様にQuadrant法を用いて座標系を設定した。骨孔径については前述の座標上で、垂直方向の径と水平方向の径とを測定し、術後1年の骨孔径を術後1週の骨孔径で除し、1を引いた値を%表示し、骨孔拡大率とした。術後骨孔拡大率はDBR群においては、AMB骨孔が水平方向に $34.0\% \pm 30.7\%$ 、垂直方向に $28.2\% \pm 30.2\%$ 、PLB骨孔がそれぞれ、 $58.2\% \pm 46.0\%$ 、 $73.4\% \pm 39.8\%$ であり、BTBR群においては水平方向に $22.0\% \pm 26.1\%$ 、垂直方向に $17.1\% \pm 23.4\%$ であった。PLB骨孔の骨孔拡大率は、BTBR群のそれより有意に大きかった。(各方向:P<0.001)一方、AMB骨孔の拡大率とBTBR群の骨孔拡大率に有意差はなかった。(水平方向:P=0.14、

垂直方向：P=0.15) 術後1週と術後1年での大腿骨孔中心の平均位置を解析したところ、すべてのパラメータは術後1週と術後1年で有意に変化しており、大腿骨孔中心が移動していること、つまり骨孔拡大は同心円状でなく方向性を持っていることがわかった。大腿骨孔移動方向はDBR群におけるAMB骨孔、PLB骨孔、BTBR群における大腿骨孔とも水平方向では遠位(関節鏡視において手前方向)、垂直方向では前方(関節鏡視では上方)であった。AMB骨孔とPLB骨孔の垂直方向の移動はBTBR群の大腿骨孔のそれに対し、有意に大きかった。

研究Ⅰの結果を、諸家の解剖学的研究と比較してみると、膝屈筋腱を用いた2重束再建術、BTBを用いた長方形骨孔再建術ともに、大腿骨孔はほぼ解剖学的位置に設置できていた。術中に関節鏡視像のみならず、大腿骨のACL付着部全体をナビゲーションモニター上で3D画像として可視化することによって、再現性をもって骨孔が作成され、解剖学的な骨孔設置が可能となったと考えられる。

研究Ⅱでは、解剖学的ACL再建術の臨床成績を移植腱別に調査したところ、BTB、膝屈筋腱を用いた術式とも、短期臨床成績は満足すべきものであった。2群間に各調査項目では有意差はなかったものの、膝関節前方制動性でBTBを用いた術式がやや優れている傾向があり、今後、症例を積み重ねて検討する必要があると考えられた。研究Ⅱでの臨床成績を文献上のACL再建術後の臨床成績と比較してみると、膝屈筋腱を用いた2重束再建術においては当科の成績は過去の報告とはほぼ同様に良好であり、BTBを用いた再建術においては、過去の報告に比べて他覚的所見、自覚的所見とも優れていた。これまでの報告では骨孔設置位置は定量的に評価されていないため、骨孔位置の違いが臨床成績に影響しているかは不明である。一方BTBを用いた再建術において当科の成績が他に比べ優れている理由としては、諸家の術式が従来の円柱形骨孔を用いた非解剖学的な再建術であるのに対し、当科での術式がACLの付着部内に骨孔を作成する解剖学的再建術であることと関係があると考えられた。今後はACL再建術の臨床成績を調査する際に、同時に骨孔位置を定量的に評価することで、ACL再建術における至適骨孔位置が明らかになっていくと思われる。

研究Ⅲでは3つの重要な知見が得られた。1つ目は、2重束ACL再建術において、PLB骨孔はAMB骨孔に比べ、有意に拡大していたことである。これはAMBとPLBのキネマティクスの違いや骨孔の解剖学的位置の違いに原因があると考えられた。2つ目は、膝屈筋腱を用いた解剖学的2重束ACL再建術の大腿骨孔は、特にPLB骨孔で、BTBを用いた解剖学的再建術に比べ大きく拡大したことである。解剖学的な再建術で膝屈筋腱とBTBとで比較した先行研究はない。本研究により解剖学的付着部内に大腿骨孔を作成する術式においても、膝屈筋腱を用いた再建術では、BTBを用いた再建術よりもより大きな骨孔拡大が起こることが明らかになった。3つ目の重要な知見は、ACL再建術後の大腿骨孔拡大は同心円状ではなく、方向性を持っており、特に、

膝屈筋腱を用いた再建術では BTB よりも大腿骨孔開口部中心が大きく移動していたということである。つまり、ACL 再建時に設置した移植腱は経時的に移動している可能性があり、このことは特に膝屈筋腱を用いた再建術における大腿骨孔作成の位置決めの際に考慮に入れるべきであると考えられた。

本研究には限界がいくつか存在する。1つ目は研究 I、II、IIIとも後ろ向き研究であり、術式選択を術者が行っているため、患者選択に偏りが存在する。したがって、移植腱の違いによる臨床成績をそのまま比較してよいかどうかには疑問が残る。2つ目は臨床成績が短期成績であるため、膝靭帯再建術後の変形性膝関節症の発症率など長期予後については不明である点が挙げられる。また、本研究では脛骨骨孔の位置や拡大は評価していない。今後、大腿骨同様、脛骨骨孔についても評価することが必要と考えている。

3次元透視画像を基にしたナビゲーションを用いることで、骨付き膝蓋腱または膝屈筋腱を移植腱とした前十字靭帯再建術において、大腿骨孔は解剖学的位置に設置が可能であった。またこれらの解剖学的前十字靭帯再建術の臨床成績は良好であった。術後大腿骨孔は術後1年で有意に拡大し、その拡大方向は遠位前方であった。膝屈筋腱を用いた2重束再建術における後外側束骨孔の拡大は前内側束骨孔および膝蓋腱を用いた再建術の大腿骨孔より大きかった。