

論文の内容の要旨

氏名：白 田 智 彦

専攻分野の名称：博士（医学）

論文題名：3次元 CT 再構成画像によるヒト膝前十字靭帯大腿骨側付着部の検討
－膝関節鏡シミュレーション－

【背景】

近年、スポーツ人口が増加しており、膝関節靭帯損傷のため整形外科を受診する患者が増加する傾向にある。なかでも膝前十字靭帯（Anterior Cruciate Ligament; 以下 ACL）損傷は比較的多くみられ、コンタクトスポーツ、ジャンプや急激なストップ動作を要求される競技では損傷の機会が多い。この靭帯は、いったん損傷されれば治癒しにくく、膝くずれを生じるようになるためスポーツ活動に支障をきたしやすい。また、二次的に半月損傷を合併し、さらに放置すれば数年後には膝関節軟骨の損傷が生じ変形性関節症へと進展する。そのため、膝靭帯損傷の中でも、手術の必要性が高い靭帯である。損傷した際は、保存療法や手術療法など、各種治療方法があるが、近年では、関節鏡を用いた ACL 再建術が積極的にすすめられている。

ACL 再建術において移植腱を通す際に用いる骨孔について、大腿骨側の解剖学的位置への骨孔作成の重要性が指摘されている。非解剖学的位置へ骨孔を作成することで、回旋不安定性が増すことが知られている。

大腿骨骨孔位置はボリュームレンダリング法による 3次元 CT 再構成画像（以下、3DCT）によってはじめて確認することが可能であるが、臨床の現場では多くの場合、関節鏡での視野において骨孔位置を決定している。

過去の報告では大腿骨外顆内側壁 ACL 付着部を Quadrant 法に代表される大腿骨内側壁を真側面から見た像で位置表示している。すなわち膝正面（遠位より近位に向かって膝関節面を見る）より 90°関節鏡を外側に振った真側面からの鏡視像（以下、90°view）に該当する像によって骨孔位置を決めているが、実際に 90°view は解剖学的制約により、その視野を確保出来ない。関節鏡が大腿骨内顆に接触してしまうためである。また、関節鏡での視野は挿入部位による関節鏡の挿入角度の影響により見え方が左右され、一定の骨孔位置を作成することが困難である。関節鏡から見た骨孔位置を再現できるよう、3DCT を用いて関節鏡視シミュレーションを行い、鏡視角度による骨孔位置の相違について検討した報告例は未だない。

【目的】

実際の手術においては、解剖学的 ACL 付着部に再建靭帯を移植できるよう、再建靭帯を設置するために理想の骨孔位置を想定して鏡視下に骨孔作成するが、想定外の骨孔位置となることがある。これは膝前方からの鏡視像と Quadrant 法での骨孔位置イメージとの間にギャップがあるためと考えられる。

本研究の目的は、大腿骨外顆内側壁の ACL 付着部を解剖学的にマーキングし、靭帯付着部の観測角度（視野）の変化によっておこる位置表示の変位を、3次元 CT 再構成画像による膝関節鏡シミュレーションにより明らかにすることである。

【対象と方法】

本研究は日本大学医学部倫理委員会の承認を受け研究を行った(承認番号 24-13-0)。系統解剖用献体 6 体より 12 膝（平均年齢 82.5 歳）を対象とした。

ACL を前内側線維束 (anteromedial bundle; 以下, AMB) と後外側線維束 (posteromedial bundle; 以下, PMB) に分け、ACL 付着部を銅製金属糸でマーキングし 3DCT モデルを作成した。コントロール群としての Quadrant 法に相当する側面像である 90°view を作成した。関節鏡視を想定し、前内側ポータルを想定した膝正面より内側に 30°傾けた像（以下、30°view）と、far antero-medial ポータルを想定した膝正面より 45°傾けた像（以下、45°view）を作成した。それぞれの view で Quadrant 法を膝関節鏡シミュレーションに用いられるよう改良した座標を作成し、外顆内側面－後壁－大腿骨骨幹部後面の交点を 0 点と設定し、Blumensaat's line に平行な線を X 軸とし端は外顆内側面前方軟骨境界、垂直な線を Y 軸とし端は下方軟骨境界とし、各座標位置を(X, Y)(%)と表記した。定量結果は mean ± SD (平均±標準偏差) で表した。90°view、45°view、30°view の 3 群間比較は一元配置分散分析を用い、任意の 2 群間比較は Tukey の多重比較法を用いた。統計学的解析には、統計解析ソフト SAS version 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA) を使用した。有意水準は両側 5%を用いた。

【結果】

各座標位置を(X, Y)(%)と表記すると、AMB 中心位置は、90°view(16.2±5.65, 35.5±9.61)、45°view(14.5±5.53, 32.9±8.12)、30°view(9.10±5.19, 34.9±7.93)、PLB 中心位置は、90°view(31.6±9.68, 67.0±8.31)、45°view(31.2±12.20, 64.2±6.66)、30°view(21.2±11.32, 66.2±8.20)、であった。鏡視角度によるAMB・PLBのX軸・Y軸における座標変位の統計解析結果は下記のとおりである。

(1)%AMB (X)に関する結果

一元配置分散分析では30°view、45°view、そして90°viewの3群間で有意差を認めた(p=0.008)。多重比較法において90°viewと30°viewの2群間に有意差を認め、30°viewで%AMBが低くなっており、つまりdeepとなっていた(p=0.008)。45°viewと30°viewの2群間においては統計学的に有意な差を認めなかったものの、30°viewで%AMBが低くなっており、同様の傾向を認めた(p=0.052)。

(2)%AMB (Y)に関する結果

一元配置分散分析では3群間で有意差を認めなかった(p=0.743)。多重比較法においても30°view, 45°view, そして90°viewの各2群間で有意差を認めなかった。

(3)%PLB (X)に関する結果

一元配置分散分析では30°view、45°view、そして90°viewの3群間で有意差を認めた(p=0.047)。多重比較法において90°viewと30°viewの2群間では統計学的に有意な差はなかったものの、30°viewで%PLB(X)は低い、つまりdeepとなる傾向にあった(p=0.071)。同様に45°viewと30°viewの2群間の比較では統計学的に有意な差は認めなかったものの、30°viewで%PLB(X)は低い、つまりdeepとなる傾向があった(p=0.088)。

(4)%PLB (Y)に関する結果

一元配置分散分析では30°view、45°view、そして90°viewの3群間で有意差を認めなかった(p=0.665)。多重比較法においても30°view, 45°view, そして90°viewの各2群間で有意差を認めなかった。

【考察】

AMBでは30°viewにてX軸(deep-shallow)方向でdeepとなり、90°viewでの位置を当てはめると鏡視でのshallow(解剖学的には遠位)に骨孔が作成されやすいことが分かった。Y軸(high-low)方向に関しては大きな変化はなかった。PLBでは30°viewにてX軸方向でdeepとなり同様の傾向を認めたが、Y軸方向に関しては大きな変化はなかった。すなわち、関節鏡視下ACL再建術時に30°view(前内側ポータルに相当)から鏡視した時に、AMB・PLBともにX軸方向では、術者が思うよりもshallow方向へ骨孔が作られてしまう事が多く、さらに0°viewに近づく前外側ポータルからは骨孔位置がよりshallowに作られやすい事が予想される。臨床の場において、本研究で得られた知見を関節鏡視下ACL再建術に応用することにより、より正確な付着部を想定し、解剖学的位置に骨孔を作成することができ、骨孔作成時のピットフォールを回避する一助となる可能性が明らかとなった。

【結語】

屍体膝のACL付着部を、手術用顕微鏡を用いてindirect insertionとdirect insertionに分け、direct insertionの中心を決定した。鏡視下ACL再建術における大腿骨骨孔作成時、解剖学的付着部位置が鏡視角度によってはAMB、PLBともに遠位方向(鏡視での前方)に変位する傾向にあり、特に鏡視でのdeep-shallow方向で顕著となるため注意が必要である。