

学位論文題名

BIOMECHANICAL COMPARISONS OF ANTERIOR
CRUCIATE LIGAMNT RECONSTRUCTION
PROCEDURES WITH THE FLEXOR TENDON GRAFT

(屈筋腱移植材料を用いた種々の膝前十字靭帯再建手技の生体工学的比較)

学位論文内容の要旨

【はじめに】

前十字靭帯(以下ACL)再建術の術後の後療法は、近年加速化される傾向にあり、そのためには再建靭帯を大腿骨と脛骨のそれぞれに強固に固定する必要がある。ACL再建の方法には、骨付き膝蓋腱を用いる方法と屈筋腱である半腱様筋腱および薄筋腱を用いる方法とがある。骨付き膝蓋腱を用いる方法の初期固定強度に関しては多くの生体工学的研究が報告されてきた。しかし、屈筋腱を用いる方法に関する研究は少ない。従来より存在した再建術式である屈筋腱を直接ステーブルで固定する術式では、その初期固定強度が著しく低いことが指摘されてきた。しかし近年、屈筋腱を種々の人工材料を用いて固定するいくつかの方法が報告されている。例えばYasudaらは屈筋腱にポリエステルテープを直列結合させて後者をステーブルで固定する方法を報告し、またRosenbergは屈筋腱を数本の糸とEndobuttonで固定する方法を、またMorganはループ状の屈筋腱を骨プラグとinterference screwで固定する方法を報告している。これらの新しい術式を用いてACL再建を行った大腿骨-再建材料-脛骨複合体を同一の実験系を用いて生体工学的に比較した報告はない。本研究の目的は、屈筋腱を用いる上述の新しいACL再建術式を生体工学的に比較することである。

【材料と方法】

まず先行した予備研究において、ヒトの膝蓋腱と体重約100kgの成熟豚(LWD種)の膝蓋腱の力学的特性が近似しており、またヒトの膝屈筋腱とその深趾屈筋腱の力学的特性が近似していることを証明した。次いで行った本研究では、体重約100kgの成熟豚(LWD種)の膝関節40関節を用いてACL再建術を行った。再建材料としては、ヒトの骨付き膝蓋腱の代用材料には豚のそれを、ヒトの屈筋腱の代用材料としては豚の深趾屈筋腱を、断面積をヒトのそれと同一にすることによって使用した。膝関節は5関節ずつAからH群の8群に分けた。6群には再建材料として屈筋腱を用い、2群には骨付き膝蓋腱を用いたが、各々の群で異なる固定方法を用いてACL再建を行った。手術器具は臨床で使用している専用の器具を使用し、骨孔は解剖学的靭帯付着部に開孔した。骨孔径は再建材料の径に一致させた。A群では屈筋腱の両端を糸とEndobuttonを用いて固定した。B群では屈筋腱の両端を20mm幅のポリエステルテープとステーブルを用いて固定した。C群ではB群の大腿骨側のみを10mm幅のポリエステルテープとEndobuttonに代えて固定した。D群では屈筋腱の両端を円筒形の骨プラグとinterference screwを用いて固定した。E群で

は屈筋腱の大腿骨側はD群と同様に、脛骨側はC群と同様の方法を用いて固定した。F群では屈筋腱の両端を直接interference screwで固定した。G群とH群は従来の標準的な移植材料である骨付き膝蓋腱を用いる再建方法と比較するために設けた。すなわち、G群では骨付き膝蓋腱の両端をinterference screwを用いて固定し、H群ではそれを糸でスクリュウに締結することにより固定した。ACL再建術を施行された大腿骨一再建材料一脛骨複合体の大腿骨と脛骨を、膝関節30°屈曲位で特製の把持器に固定し、万能試験機を用いて脛骨に前方引き出し力が加わる方向に破断試験を行った。荷重と変位量をX-Yrecorderに記録し、得られた荷重一変位曲線より最大荷重、stiffnessを求め、さらに破断様式についても解析した。統計学的解析には多重比較を考慮(Bonferroni/Dunn test)した分散分析を用い、有意水準を $P < 0.01$ とした。

【結果】

平均最大荷重に関してはB群の893Nが最大で、C群が770Nと二番目に大きく、EおよびA群がこれに続いた。FおよびD群はそれぞれ312Nおよび230Nと低かった。B群の最大荷重は骨付き膝蓋腱をinterference screwで固定したG群のそれよりも有意に高値を示し、C群は骨付き膝蓋腱を糸で固定したH群よりも有意に高値であった。stiffnessに関しては、屈筋腱を用いた群においてはB群の29.4N/mmが最も高く、E群の25.7N/mmがこれに次ぎ、D群とF群はそれぞれ12.5N/mm、12.8N/mmと低値を示した。骨付き膝蓋腱をinterference screwで固定したG群は40.3N/mmと屈筋腱を用いた群の全てより有意に高値を示したが、骨付き膝蓋腱を糸で固定したH群は13.8N/mmとBおよびE群より有意に低値であった。破断様式に関しては、D群では全て屈筋腱と糸の結合部分で、H群では骨と糸の結合部分であったが、その他は用いる代用材料や固定法により異なっていた。

【考察】

本研究においては豚モデルを用いた。したがって、得られた結果の絶対値をそのままヒトに適用することはできない。しかし、本研究の結果の一部は過去に報告されているヒトを材料として行った先人の実験結果と近似しており、我々が使用した豚モデルはヒトモデルに比肩し得ると考えている。一方、ヒトのモデルを用いると、年齢、性、人種、生前の活動などにより材料自体に不均一が生じ、種々の固定強度を比較検討する際には、誤った統計学的結論に達する可能性がある。その点、豚モデルでは実験材料は比較的均一であり、靭帯再建術に関する比較評価には有利であると考えられた。

本研究は、膝靭帯再建術における大腿骨一再建材料一脛骨複合体の生体工学的特性が、それに用いる代用材料や固定方法によって大きく異なることを示した。最大荷重に関しては、過去の文献において、骨付き膝蓋腱をinterference screwで固定するG群の方法が最も強固であると報告されてきた。しかし、本研究においては、屈筋腱を幅20mmのポリエステルテープと結合させステーブルで固定するB群の方法の方がより強固であることが示された。また、この大腿骨側を幅10mmのポリエステルテープとEndobuttonに変えて固定するC群は、B群にはやや劣るがH群よりは強固であった。これらの事実は屈筋腱の固定に関してポリエステルテープの応用が臨床において有用であることを示した。

stiffnessに関しては、屈筋腱を用いた群で、糸を用いるA群よりも、幅20mmのポリエステルテープを用いるB群が明らかに優れていた。これは屈筋腱を用いた靭帯再建術における幅20mmのポリエステルテープとその腱との結合方法の長所である。しかし幅10mmのポリエステルテープとEndobuttonを用いる固定方法でのstiffnessは、糸を用いる固定と同様のstiffnessであり、これは同固定方法の弱点であった。

臨床との関連として、ACL再建術において、屈筋腱をポリエステルテープとEndobuttonで固定する方法は、骨付き膝蓋腱をinterference screwで固定する方法に代わ

る再建術式となる可能性が強く示された。しかし、最近注目されている屈筋腱を interference screwで固定する方法では初期固定強度が不十分であり、その術後の後療法に注意を要すると考えられた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 浪 明 男

副 査 教 授 杉 原 平 樹

副 査 教 授 安 田 和 則

学 位 論 文 題 名

BIOMECHANICAL COMPARISONS OF ANTERIOR CRUCIATE LIGAMNT RECONSTRUCTION PROCEDURES WITH THE FLEXOR TENDON GRAFT

(屈筋腱移植材料を用いた種々の膝前十字靭帯再建手技の生体工学的比較)

近年、前十字靭帯（以下、ACL）再建術において、屈筋腱を種々の人工材料を用いて再建するいくつかの方法が報告されている。しかし、それらの新しい術式を用いてACLを再建した大腿骨一再建材料一脛骨複合体として同一の実験系を用いて生体工学的に比較した報告はない。本研究の目的は、屈筋腱を用いる新しいACL再建術式を生体工学的に比較することである。

まず予備研究において、ヒトの膝蓋腱とブタの膝蓋腱の力学的特性が近似しており、またヒトの膝屈筋腱とブタの深趾屈筋腱の力学的特性が近似していることを証明した。次いで行った本研究では、体重約100kgの成熟豚の膝関節40関節を用いてACL再建術を行った。膝関節は5関節ずつAからH群の8群に分け、6群には再建材料として屈筋腱を用い、2群には骨付き膝蓋腱を用い、各々の群で異なる固定方法を用いてACL再建を行った。手術器具は臨床で使用している器具を使用し、骨孔は解剖学的靭帯付着部に開孔し、骨孔径は移植材料の径に一致させた。A群では屈筋腱を糸とEndobuttonを用いて固定した。B群では屈筋腱を20mm幅のポリエステルテープとステーブルを用いて、C群ではB群の大腿骨側を10mm幅のポリエステルテープとEndobuttonに代えて固定した。D群では屈筋腱を円筒形の骨プラグとinterference screwを用いて固定した。E群では屈筋腱を大腿骨側はD群と同様に、脛骨側はC群と同様の方法を用いて固定した。F群では屈筋腱を直接interference screwで固定した。G群では骨付き膝蓋腱をinterference screwを用いて固定し、H群ではそれを糸でスクリュウに締結することにより固定した。ACL再建術を施行された大腿骨一再建材料一脛骨複合体を、万能試験機を用いて破断試験を行った。荷重と変位量を記録し、最大

荷重, stiffnessを求め, 破断様式についても解析した. 統計学的解析には分散分析を用いた.

その結果, 平均最大荷重に関してはB群の893Nが最大で, C群が770Nと二番目に大きかった. FおよびD群はそれぞれ312Nおよび230Nと低かった. B群の最大荷重はG群のよりも有意に高値を示し, C群はH群よりも有意に高値であった. stiffnessに関しては, 屈筋腱を用いた群ではB群の29.4N/mmが最も高く, E群の25.7N/mmがこれに次ぎ, D群とF群はそれぞれ12.5N/mm, 12.8N/mmと低値を示した. G群は40.3N/mmと屈筋腱を用いた群の全てより有意に高値を示したが, H群は13.8N/mmとBおよびE群より有意に低値であった. 破断様式に関しては, D群では全て屈筋腱と糸の結合部分で, H群では骨と糸の結合部分であったが, その他は用いる代用材料や固定法により異なっていた.

本研究は, 膝靭帯再建術における大腿骨一再建材料一脛骨複合体の生体工学的特性は, それに用いる代用材料や固定方法によって大きく異なることを示した. 最大荷重に関しては屈筋腱を幅20mmのポリエステルテープと結合させ, ステープルで固定するB群の方法の方が, G群の方法より強固であり, 大腿骨側を幅10mmのポリエステルテープとEndobuttonに変えて固定するC群は, H群よりは強固であった. これらの事実は屈筋腱の固定に関してポリエステルテープの応用が臨床において有用であることを示した. stiffnessに関しては, 屈筋腱を用いた群で, 糸を用いるA群よりも, 幅20mmのポリエステルテープを用いるB群が明らかに優れていた. これは屈筋腱を用いた靭帯再建術における幅20mmのポリエステルテープとその腱との結合方法の長所である. しかし幅10mmのポリエステルテープとEndobuttonを用いる固定方法は, 糸を用いる固定と同様のstiffnessであることが, 弱点であった. 屈筋腱をポリエステルテープとEndobuttonで固定する方法は, 骨付き膝蓋腱をinterference screwで固定する方法に代わる再建術式となる可能性が強く示された.

口頭発表にあたり, 副査の杉原平樹教授からは再建材料の骨孔との癒合に関する質問が, 安田和則教授からは豚を実験材料にすることに関する質問が, 主査の三浪明男教授からは破断様式の違いに関する質問があり, これらに対して申請者は自己の研究結果と文献的知識に基づいて概ね妥当な回答を行った. 本研究は屈筋腱を用いる種々のACL再建術式を同一の力学的環境下において比較し, それぞれの力学的長所と短所を明らかにしたもので, 臨床におけるACL再建術の進歩のために有用な多くの情報を与えるものであった.

審査員一同は, これらの成果を高く評価し, 申請者が博士(医学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した.