

氏 名	福 原 徹 太 郎
(ふりがな)	(ふくはら てつたろう)
学位の種類	博士(医学)
学位授与番号	乙 第 号
学位審査年月日	平成30年1月17日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題名	Bridging suture makes consistent and secure fixation in double-row rotator cuff repair (ブリッジングスーチャーは腱板修復部を均一な緊張に保つことができる)
論文審査委員	(主) 教授 佐 浦 隆 一 教授 上 田 晃 一 教授 植 野 高 章

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

【背景と目的】

肩腱板断裂手術の目的は、腱板を修復して肩関節の機能を改善し症状を緩和することである。術後に腱板が修復された状態に保たれていることと肩関節の術後成績には関連がある。そのため、再断裂しにくい腱板修復の方法が考案され、最近の腱板修復術では、内側および外側に2列にスーチャーアンカーを配した重層固定法が用いられるようになっている。重層固定法の原法は内側および外側で腱板の縫合を行うので、単層固定法よりも固定力が強く、また、腱板と骨の接触面積が広いので、腱板修復術後の再断裂率が低いことが報告されている。さらに、内側および外側にスーチャーアンカーとプッシュロックを配し、内外側間に橋渡し縫合（以下、ブリッジングスーチャー）を追加するスーチャーブリッジ法が考案され、ブリッジングスーチャーのない重層固定原法との比較で再断裂率のさらな

る改善が報告された。

重層固定法のコンセプトは、より広い接触面で腱板を修復することである。しかし、重層固定法で腱板を修復しても、特定のスーチャーアンカーに応力集中すると再断裂を起こす可能性が高まるので、応力を分散させることが再断裂を起こしにくくする要素になり得ると考えた。そこで、3種類の重層固定法の縫合部にかかる応力の分布を比較検討した。

【対象と方法】

ブタ新鮮凍結肩（月齢6か月）、42肩を使用した。腱板損傷モデルを3種類の腱板修復術、内側および外側で腱板を縫合するブリッジングスーチャーのない重層固定法（以下、原法）、ブリッジングスーチャーによる重層固定法（以下、スーチャーブリッジ法）、従来の重層固定法を行いさらにブリッジングスーチャーを追加した重層固定法（以下、コンプレッション重層固定法）で修復し、応力分布を比較検討した。また、各群を2グループに分けて術後の肩関節固定角度（外転0°と40°）を想定した引っ張り角度で力学試験を行い、角度の影響も検討した。

繰り返し負荷試験として1分間10Nの前負荷後、20mm/minの速さで30サイクルの負荷（5～30N）を加え、上方および下方のギャップ形成と歪みを1サイクルと30サイクルで計測した。ギャップ形成は腱板断端と骨表面のマーカー間の距離を、歪みは腱板断端とその内側5mmの腱板表面につけたマーカー間の距離を試験中の動画から動画解析ソフトを用いて計測した。均一性は上方と下方でのギャップ形成の差、歪みの差から評価した。3群間比較ではOne way ANOVA、角度間の比較ではStudent T-testを用いて統計学的に検討した。

【結果】

1) 外転0°でのギャップ形成の有無とその差の比較

1サイクルおよび30サイクルのギャップ形成は、スーチャーブリッジ法およびコンプレッション重層固定法で原法より有意に小さかった。また、上下における1サイクルでの

ギャップ形成の差は、スーチャーブリッジ法で原法より有意に小さかった。30 サイクルでのギャップ形成の差は、スーチャーブリッジ法およびコンプレッション重層固定法で原法より有意に小さかった。

2) 外転 40°でのギャップ形成の有無とその差の比較

1 サイクルでのギャップ形成は、原法と比べてスーチャーブリッジ法で有意に小さかった。1 サイクルおよび 30 サイクルでのギャップ形成の差は、上方、下方ともに 3 群間で有意な差はなかった。

3) 外転角度によるギャップ形成の比較

原法でのギャップ形成は外転 0°に比べ外転 40°では有意に小さかった。

4) 歪みの差の比較

外転 0°では 30 サイクルでの歪みの差は、コンプレッション重層固定法に比べて原法で有意に大きかった。

【考察】

これまで、腱板修復部にかかる応力分布に関する報告はない。そこで、上方と下方でのギャップ形成の差、および歪みの差を計測して修復腱板にかかる応力分布を検討した。

外転 0°でのギャップ形成の差は、原法に比べてブリッジングスーチャーを併用するスーチャーブリッジ法およびコンプレッション重層固定法で有意に小さかった。このことから、ブリッジングスーチャーには緊張状態を均一に保つ（応力分散）効果があることが示された。上方と下方のギャップ形成の差が大きいことは縫合部の一部に応力が集中していることを示しているが、応力集中すると再断裂を起こし易いので、ブリッジングスーチャーによる応力分散は修復腱板の治癒に有利に働くと考えられる。

一方、術後の肩関節固定角度を想定した引っ張り角度で行った結果では、原法でのギャップ形成は外転 0°に比べて外転 40°で有意に小さかった。さらに、外転 40°でのギャップ形成の差は従来法とスーチャーブリッジ法およびコンプレッション重層固定法では差がなかった。このことから、腱板修復術の方法にかかわらず、固定肢位外転 40°は、応力集中

を軽減して再断裂を起こしにくくする固定角度である可能性が示された。

【結語】

ブリッジングスーチャーを併用するスーチャーブリッジ法およびコンプレッション重層固定法は、上方と下方のギャップ形成および歪みが重層固定原法より小さかったことから、腱板修復部の緊張状態を均一に保つ（応力分散）といったブリッジングスーチャーの新しい生体力学的特性が明らかとなった。また、術後の固定肢位外転 40°は、応力集中を軽減して再断裂を起こしにくくする固定角度である可能性が示された。

(様式 乙9)

論文審査結果の要旨

肩腱板断裂手術の目的は、腱板を修復して肩関節の機能を改善し症状を緩和することである。術後に腱板が修復された状態に保たれていることと肩関節の術後成績には関連がある。そのため、再断裂しにくい腱板修復の方法が考案されている。しかし、広く行われている重層固定法で腱板を修復しても、一部のスーチャーアンカーに応力集中すると再断裂の危険性が高まる。そこで、著者は3種類の重層固定法による腱板修復を行い、縫合部にかかる応力分布を比較検討した。

ブタ新鮮凍結肩、42肩の腱板断裂モデルを重層固定原法、スーチャーブリッジ法、コンプレッション重層固定法の3種類の縫合で修復し、力学試験により縫合部の応力分布を調べた。また、2種類の術後固定肢位（外転0°と40°）を模した状態で、繰り返し負荷試験を行い、腱板付着部の上下方向へのギャップ形成と歪みを動画および動画解析ソフトを用いて計測して上方と下方でのギャップ形成の差、および歪みの差から腱板修復部の応力分布を評価した。

結果、ブリッジングスーチャーを併用しているスーチャーブリッジ法およびコンプレッション重層固定法では、上方と下方のギャップ形成および歪みの差が重層固定原法より小さかったことから、著者らはブリッジングスーチャーに腱板修復の緊張状態を均一に保つ（応力分散）効果があることを明らかにした。また、術後の固定肢位外転40°が、応力集中を軽減して再断裂を起こしにくくする固定角度である可能性も示した。

本研究は、ブリッジングスーチャーの腱板修復術での新しい生体力学的特性と術後の至適な固定角度を明らかにしており、臨床における腱板修復術のさらなる発展の一助になると考えられる。

以上により、本論文は本学学位規程第3条第2項に定めるところの博士（医学）の学位を授与するに値するものと認める。

(主論文公表誌)

Journal of Orthopaedic Science 22(5): 852-857, 2017