



Radial Meniscal Tears Are Best Repaired by a Modified “Cross” Tie-Grip Suture Based on a Biomechanical Comparison of 4 Repair Techniques in a Porcine Model

中西, 雄太

(Degree)

博士 (医学)

(Date of Degree)

2023-09-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8722号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100485906>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(課程博士関係)

学位論文の内容要旨

Radial Meniscal Tears Are Best Repaired by a Modified “Cross” Tie-Grip Suture Based on
a Biomechanical Comparison of 4 Repair Techniques in a Porcine Model

半月板横断裂に対する Cross Tie Grip Suture と従来縫合法の
力学試験による比較

神戸大学大学院医学研究科医科学専攻
整形外科学
(指導教員：黒田 良祐 教授)

中西 雄太

【背景】

変形性膝関節症の予防のため、近年可能な限り断裂した半月板を修復することが一般的になっている。半月板損傷の様々な断裂形態のうち、横断裂は無血管野に及んだり、hoop stress が破綻したりするため、その治癒は困難とされている。また、完全な横断裂は半月板の全切除と同等とも報告されており、その修復は膝関節機能温存のために重要である。

横断裂に対する縫合法は様々報告されている。平行に 2 本の縫合糸で端端縫合を行う double horizontal suture や 2 本の縫合糸を交差させて端端縫合を行う cross suture が一般的で技術的に容易であるが、半月板の circumferential fiber の線維方向に縫合を行うため、縫合糸が半月板組織を裂くように抜け、縫合部の破断を来すことがある。Nakata らは断裂の両端に（断裂部と平行に）2 本の vertical suture で縫合し、vertical suture を跨ぐように、2 本の horizontal suture をかける tie grip suture を考案した。Vertical suture は circumferential fiber を束ね、更に horizontal suture が繊維方向に裂けていくことを阻止するという利点があるものの、vertical suture をかけた際に断裂部が閉じる方向に縫合されないという欠点がある。そこで我々は、tie grip suture の vertical suture を交差させることにより vertical suture の縫合でも断裂部が閉じるように改良された cross tie grip suture を考案した。

【目的】

本研究の目的は、ブタ膝半月板を用いて我々が考案した cross tie grip suture について、原法である tie grip suture と従来法である double horizontal suture と cross suture の 4 縫合法を比較し、半月板横断裂に対する強度試験を施行することである。Cross tie grip suture の縫合部の開大距離は他群と比較して短く、最大破断強度が強いという仮説を検証した。

【研究デザイン】

Controlled laboratory study

【方法】

本研究では新鮮凍結ブタ膝 40 膝を使用し、内・外側半月板 80 体を採取した。採取した半月板を double horizontal suture、cross suture、tie grip suture、cross tie grip suture の 4 群に分け、それぞれ 20 体ずつ（内側 10 体、外側 10 体）とした。次に半月板横断裂を半月板中節部に内縁部より辺縁 2 mm の箇所まで作製。縫合はまず Matsubara らの報告に従い、double horizontal suture は平行に 2 本の縫合糸で端端縫合を行った。一方 cross suture は 2 本の縫合糸を交差させて端端縫合を行った。次に Nakata らの報告に沿って tie grip suture の原法はまず 2 本の vertical suture を断裂の両側に平行に通した後、それを跨ぐように 2 本の horizontal suture を追加した。Cross tie grip と tie grip suture の相違点は cross tie grip suture では vertical suture を交差させ、対側に抜くことにより、断裂部を閉鎖していること

である。力学試験は Lee らの報告を参考に、preconditioning、submaximal loading、破断試験の順番で施行した。Submaximal loading の際に 100 サイクル、250 サイクル、500 サイクル時に一時停止し、5N 下で計測用の写真を撮影した。それぞれ開大距離・最大破断強度・破断様式を計測した。統計学的検討には One-way ANOVA を用い、Post hoc test として Tukey-Kramer post-hoc test を用いた。 $p < 0.05$ を有意水準として統計学的解析を行った。

【結果】

500 cycle 後の縫合部の開大距離は cross tie grip 群 (1.3 ± 0.7 mm) が tie grip 群 (2.1 ± 0.8 mm)、double horizontal 群 (2.9 ± 1.5 mm)、cross 群 (3.8 ± 1.6 mm) と比較して統計学的に有意に短かった ($p < 0.05$)。最大判断強度は cross tie grip 群 (154.9 ± 29.0 N) と tie grip 群 (145.2 ± 39.1 N) で両群間に有意差は認めなかったが ($p = 0.71$)、両群共に統計学的有意に double horizontal 群 (81.2 ± 19.9 N) と cross 群 (87.3 ± 17.7 N) より高値であった ($p < 0.05$)。破断様式は tie grip 群 1 例で縫合部での破断を認めたが、他は全例組織の破断であった。

【考察】

力学試験の結果より cross tie grip 群は tie grip 群と同等の破断強度であり、double horizontal 群、cross 群より破断強度は高かった。また、cross tie grip 群は他群より縫合部の開大が少なく、仮説は証明された。

過去の報告では tie grip suture、double horizontal suture、cross suture の力学試験は報告されているが、すべての縫合法を同じ条件で比較した研究はない。本研究では今回考案した cross tie grip suture に加え、現状幅広く用いられている縫合法を同一条件の力学試験によって比較検討している。そのため、本研究は力学的観点から術者が縫合法を選択する際に非常に有用であると考えられる。

半月板横断裂に対する従来法での縫合術による術後臨床成績は未だ限定的である。良好な短期成績が報告される一方で、縫合術後の関節鏡検査で 90% の治癒率を認めたものの軟骨損傷は進行していたという報告など、半月板横断裂に対する治療は未だ確立していない。その中で tie grip suture は、半月板をできる限り解剖学的に修復するという観点からも合理的であり、強固な固定を実現している。しかしながら、半月板横断裂で特に治癒困難な箇所は内縁部であり、tie grip suture で縫合後も内縁部の開大が散見された。そこで我々は cross tie grip suture を考案し、縫合により断裂部を更に閉じる方向に応力が働くように改良した。その結果、本研究では 500 回の cyclic loading 後の断裂部の開大は tie grip suture と比較して有意に少ないことが示された。

近年は hashtag、cross tag、rebar repair など tie grip suture や cross tie grip suture と同様、rip stop suture といわれる 2 本の vertical suture を用いた縫合法が報告されている。Rip stop suture は線維方向に対して垂直に縫合する vertical suture のことであり、それを跨いで縫合する（線維方向となる）horizontal suture の縫合糸による線維方向の組織破断を防止す

ることが可能である。Massey らは rebar repair という tie grip suture に類似した縫合法について報告しているが、rebar repair による最大破断強度は 124.1 ± 27.1 N であり、本研究での cross tie grip suture と同等であった。また、Massey らは rip stop suture のない double horizontal suture と cross suture の最大判断強度を報告しているが、それぞれ 85.5 ± 22.0 N、 76.2 ± 28.8 N と本研究の結果に相当する結果であり、本研究の整合性が認められた。現在 rip stop suture を用いた縫合法は様々な亜型が報告されているが、どれも同等の最大破断強度が報告されている。本研究において cross tie grip suture は tie grip suture と有意差のない最大破断強度を認めており、従来法 (double horizontal suture、cross suture) よりも有意に高い最大破断強度を認めている。そのため、我々が考案した cross tie grip suture は現状では半月板横断裂に対する縫合法として最も強固な縫合法の一つであることが示唆された。

本研究の限界は、まずブタ半月板を用いているため力学試験結果はヒト半月板と異なる可能性がある。しかし、各縫合法の相対評価を行う場合、ヒト屍体膝では献体が高齢である場合や変性が進んでいる可能性があるため、本研究のように全て 6 か月のブタ膝を使用することで検体のばらつきを最小限にすることが可能であると考ええる。次に、本実験は生体内半月板のように延伸・圧縮・剪断の力を加えていない。しかし、断裂部に対して垂直方向に引張することで、縫合部には最大の応力を生じさせている。そのため、縫合部における開大量を評価する本研究では本引張法は最適な方法であると考ええる。最後に、実際の手術では関節鏡視下に縫合術を施行するが、本研究では再現性、正確性を優先するため、直視下に縫合を行ったことである。

【結論】

Cross tie grip suture と tie grip suture は従来法の cross suture、double horizontal suture と比較して最大破断強度は高く、cross tie grip suture は他の縫合法と比較して縫合後の開大量が少なかった、以上より、我々が考案した cross tie grip 法はより強固で開大量の少ないことが求められる半月板縫合術に有用である可能性が示唆された。

論文審査の結果の要旨			
受 付 番 号	甲 第 3311 号	氏 名	中西 雄太
論 文 題 目 Title of Dissertation	Radial Meniscal Tears Are Best Repaired by a Modified “Cross” Tie-Grip Suture Based on a Biomechanical Comparison of 4 Repair Techniques in a Porcine Model 半月板横断裂に対する Cross Tie Grip Suture と従来縫合法の 力学試験による比較		
審 査 委 員 Examiner	主 査 小 谷 穠 治 Chief Examiner 副 査 岡 田 建 次 Vice-examiner 副 査 上 田 経 秀 Vice-examiner		

（要旨は1，000字～2，000字程度）

変形性膝関節症への進行を防ぐため、近年、可能な限り断裂した半月板を修復することが重要とされている。半月板をしっかりと双方するには、強固に固定し、縫合部ができる限り開大しないことが大切である。半月板損傷には様々な断裂形態があるが、中でも横断裂の治癒は困難とされている。

横断裂に対する最も強固な縫合法として tie grip suture (TG) がある。TG は断裂の両端に（断裂部と平行に）2本の vertical suture で縫合し、vertical suture (VS) を跨ぐように、2本の horizontal suture (HS) をかける方法である。しかし、VS をかけた際に断裂部が圧着する方向に縫合されないという欠点がある。そこで研究者らは、TG の VS を交差させることにより VS の縫合でも断裂部が閉じるように改良された cross tie grip suture (CTG) を考案した。

本研究の目的は、研究者らが考案した CTG について、原法である TGS と従来法である double horizontal suture (DHS) と cross suture (CS) の4縫合法を比較し、半月板横断裂に対する強度試験を施行することである。

方 法

本研究は、新鮮凍結ブタ膝 40 膝を使用し、内・外側半月板 80 体を採取した。採取した半月板を DHS 群、CS 群、TG 群、CTG 群の4群に分類し、それぞれ 20 体ずつとした。次に半月板横断裂を半月板中節部に作製。DHS は平行に2本の縫合糸で端端縫合を行った。一方 CS は2本の縫合糸を交差させて端端縫合を行った。次に TG の原法はまず2本の VS を断裂の両側に平行に通した後、それを跨ぐように2本の HS を追加した。CTG と TG の相違点は CTG で VS を交差させ、対側に抜くことにより、断裂部を閉鎖していることである。力学試験は preconditioning、submaximal loading、破断試験の順番で施行した。Submaximal loading の際に 100 サイクル、250 サイクル、500 サイクル時に一時停止し、5N 下で計測用の写真を撮影した。それぞれ開大距離・最大破断強度・破断様式を計測した。統計学的検討には One-way ANOVA を用い、Post hoc test として Tukey-Kramer test を用いた。 $p < 0.05$ を有意水準として統計学的解析を行った。

結 果

500 cycle 後の縫合部の開大距離は、CTG 群 (1.3 ± 0.7 mm) が TG 群 (2.1 ± 0.8 mm)・DHS 群 (2.9 ± 1.5 mm)・CS 群 (3.8 ± 1.6 mm) と比較して統計学的に有意に短かった ($p < 0.05$)。最大判断強度は CTG 群 (154.9 ± 29.0 N) と TG 群 (145.2 ± 39.1 N) で両群間に有意差を認めなかったが ($p = 0.71$)、両群共に有意に DHS 群 (81.2 ± 19.9 N) と CS 群 (87.3 ± 17.7 N) より高値であった ($p < 0.05$)。破断様式は TG 群 1 例で縫合部での破断を認めた。

考察および結論

本研究において、CTG は TG と有意差のない最大破断強度を認めており、従来法 (DHS、CS) よりも有意に高い最大破断強度を認めていることが証明された。また、CTG は他群より縫合部の開大が有意に少なかった。そのため、CTG は、現状では半月板横断裂に対する縫合法として最も強固な縫合法の一つであることが示唆された。

本研究は、研究者らが考案した CTG を従来法と比較し強度試験を施行したものであるが、今回考案した CTG に加え、現状幅広く用いられている縫合法を同一条件の力学試験によって比較検討した初めての報告である。本研究は力学的観点から術者が縫合法を選択する際に非常に有用であり、さらに、CTG はより強固で開大量の少ないことが求められる半月板縫合術に有用である可能性が示唆された点で価値ある業績であると認める。よって、本研究者は、博士（医学）の学位を得る資格があると認める。