

岩手医科大学
審査学位論文
(博士)

研 究

イヌの実験モデルにおける屈筋腱縫合後の 癒着に対する腱剥離術の検討

松尾有三, 西田 淳, 赤坂俊樹,
川村竜平, 鈴木 忠, 嶋村 正
岩手医科大学医学部, 整形外科科学講座

(Received on February 18, 2013 & Accepted on February 27, 2013)

要旨

屈筋腱損傷における腱縫合後の癒着による影響および腱剥離術の時期を検討するため, 肉眼的な腱・腱鞘間の癒着評価と滑走抵抗値を測定した. 癒着評価は Rothkopf ら, 滑走抵抗測定は An らの方法に従った. 深指屈筋腱を横切後腱縫合し, 3 週間固定後に自動運動の自動運動群, 3 週間固定後に腱剥離の tenolysis 1 群, 6 週間固定後に剥離術の tenolysis 2 群, 腱縫合のみの

in vitro 群, 無処置の control 群を設定し, 比較検討した. control 群と *in vitro* 群に比し, その他の 3 群で癒着を認めた. 滑走抵抗は control 群とその他の群間で有意差を認め, 自動運動群が最も高く, tenolysis 2 群が最も低かった. Tenolysis 1 群と *in vitro* 群に有意差はなかった. 腱縫合 3 週間よりも 6 週後に腱剥離術を行う方が滑走抵抗の観点からは有効であると考えられた.

Key words : tenosuture, tenolysis, gliding resistance, *in vivo* model, adhesion

I. 緒 言

手指屈筋腱断裂の治療において, 治療成績不良な部位として, 中手指節間関節 (metacarpophalangeal joint, 以下 MCP 関節と略す) から近位指節間関節 (proximal interphalangeal joint, 以下 PIP 関節と略す) までの領域が挙げられる. 線維性あるいは靱帯性腱鞘の限られた解剖学的構造の中を, 基節骨レベルでは浅指屈筋腱と深指屈筋腱 (flexor digitorum profundus, 以下 FDP と略す) が走行し, 中節骨レベルに至ると交叉して走行するため, 腱と周囲組織との間に癒着が生じやすいためとされている. 癒着により腱の滑走が損なわれるため, しばしば腱剥離術が必要となる. しかし, 腱・腱鞘間の滑走抵抗の観点から腱剥離効果の評価を行った研究は少ない.

そこで, われわれはビーグル犬を用いて生体内腱縫合モデルを作成し, 腱剥離術後の癒

着評価と滑走抵抗の変化を確認する目的で本研究を行った. なお, 本研究は岩手医科大学動物実験指針に基づき実施した.

II. 研究材料及び方法

1. 研究材料

生後 8 ~ 10 ヶ月のビーグル犬 (体重 9.85 ~ 11.20 kg, 平均 10.65 kg) オス 6 頭の前肢の第 2 ~ 5 指の計 24 指を対象とした. 腱縫合 3 週後に非荷重下での自動運動を行った群 (自動運動群: $n = 8$), 腱縫合 3 週後に腱剥離を行った群 (tenolysis 1 群: $n = 8$), 腱縫合 6 週後に腱剥離を行った群 (tenolysis 2 群: $n = 8$) は右前肢の 24 指のうち第 2 ~ 5 指の各 2 指ずつを選んだ. 安楽死後に腱縫合を行った群 (*in vitro* 群: $n = 8$), 処置を行っていない群 (control 群: $n = 8$) は左前肢の 24 指のうち at random に 16 指を選んだ. 腱縫合, 腱剥離はイソフルランの気化麻酔下に行



図1. 腱縫合後のギプス装用
腱縫合後は、患肢の安静のため、指は軽度屈曲位、手関節、肘関節は90°屈曲位とし、プラスチックギプスによる固定を3週間行った。



図2. 自動運動を可能としたギプス装用
腱縫合3週間後に手関節より遠位の自動運動が可能なギプス装用とした。

うとともに、各指に対して1%メピバカイン塩酸塩の局所麻酔下に同一術者が行った。

1) 自動運動群

腱鞘幅 $3.4 \pm 0.3\text{mm}$ 、腱鞘長 $3.5 \pm 0.2\text{mm}$ (平均値 \pm 標準偏差)。

PIP関節の直上掌側に縦切開を加え、皮下を鈍的に展開して腱鞘とFDPを同定後、FDPのみを鋭的に横切断した。切断後、4-0 ナイロン糸 (crownjun, 河野製作所) を用いて主縫合として modified Kessler 法で縫合を行い¹⁾、補助縫合として5-0 ナイロン糸 (crownjun, 河野製作所) を用いて断端縁を2針単結節縫合した。腱縫合後は、患肢の安静のため、指は軽度屈曲位、手関節、肘関節は90°屈曲位とし、プラスチックギプスによる固定を3週間行った(図1)。術後にはセファクロル0.3gを1日1回5日間内服投与とした。腱縫合3週後に患指の自動運動が可能なギプス装用下に非荷重下の運動を開始させた(図2)。腱縫合6週後にペントバルビタールナトリウム10ml 静脈注射で安楽死させ、右前肢を肘関節で離断し-80℃で冷凍保存、約1週間後に常温解凍後、肉眼的癒着の評価を行った後、滑走抵抗を測定した。

2) tenolysis 1 群

腱鞘幅 $3.4 \pm 0.3\text{mm}$ 、腱鞘長 $3.6 \pm 0.2\text{mm}$ (平均値 \pm 標準偏差)。

自動運動群と同様に腱縫合した後、3週間

ギプス固定を行い、3週後に肉眼的癒着の評価と腱剥離を行った。腱縫合で用いた皮切に沿って切開し、まずFDPと腱鞘の肉眼的癒着の評価を行った。次にFDPと腱鞘間および腱と周囲組織に存在する癒着を可及的に剥離した後、腱が円滑に滑走することを確認し閉創、覚醒直後から自動運動が可能なギプス装用下に非荷重下の運動を開始させた。各術後にはセファクロル0.3gを1日1回5日間内服投与とした。腱縫合6週後(腱剥離3週後)に安楽死させ冷凍保存した後、約1週間後に常温解凍後、肉眼的癒着の評価を行った後、滑走抵抗を測定した。

3) tenolysis 2 群

腱鞘幅 $3.3 \pm 0.3\text{mm}$ 、腱鞘長 $3.7 \pm 0.2\text{mm}$ (平均値 \pm 標準偏差)。

自動運動群と同様に腱縫合した後、6週間ギプス固定を行い、腱縫合6週後に肉眼的癒着の評価と腱剥離を行った。腱縫合で用いた皮切に沿って切開し、まずFDPと腱鞘の肉眼的癒着の評価を行った。次にFDPと腱鞘間および腱と周囲組織に存在する癒着を可及的に剥離した後、腱が円滑に滑走することを確認し閉創、覚醒直後から自動運動が可能なギプス装用下に非荷重下の運動を開始させた。各術後にはセファクロル0.3gを1日1回5日間内服投与とした。腱縫合9週後(腱剥離3週後)に安楽死させ冷凍保存した後、

表 1. Rothkopf らの Macroscopic adhesion rating scale²⁾

0: None	there is no adhesion between tendon and surrounding tissue
1: Few	tendon can be very easily separated from surrounding tissue
2: Moderate	tendon can be easily separated from surrounding tissue despite of some fibrous bundles between tendon and surrounding tissue
3: Severe	tendon can separated from surrounding tissue with difficulty because of many fibrous bundles between tendon and surrounding tissue
4: Severe and dense	tendon can separated from surrounding tissue only a scalpel because of hard and dense fibrous tissue between tendon and surrounding tissue

約 1 週間後に常温解凍後、肉眼的癒着の評価を行った後、滑走抵抗を測定した。

4) *in vitro* 群

腱鞘幅 3.4 ± 0.2 mm, 腱鞘長 3.6 ± 0.1 mm (平均値 \pm 標準偏差)。

自動運動群, tenolysis 群の対側である左前肢を肘関節で離断し、同様に腱縫合を行い、冷凍保存した後、約 1 週間後に常温解凍後、滑走抵抗を測定した。

5) control 群

腱鞘幅 3.4 ± 0.1 mm, 腱鞘長 3.8 ± 0.1 mm (平均値 \pm 標準偏差)。

自動運動群, tenolysis 群の対側である左前肢を肘関節で離断し、冷凍保存した後、約 1 週間後に常温解凍後、滑走抵抗を測定した。

2. 研究方法

1) 肉眼的癒着評価

肉眼的癒着の状態を Rothkopf ら³⁾ の adhesion rating scale 0～4 点の 5 段階 (表 1) で評価し、自動運動群の 6 週後, tenolysis 1 群の 3 週後・6 週後, tenolysis 2 群の 6 週後・9 週後, *in vitro* 群と control 群とのスコアを比較した。有意差検定には Kruskal-Wallis test によるノンパラメトリックアナリシスを行い、post hoc test として Bonferroni test を使用し、p 値 0.05 未満を医学生物学的に有意とした。

2) 腱・腱鞘間滑走抵抗測定

腱・腱鞘間滑走抵抗測定は An ら⁴⁾ の方法に従った (図 3, 4)。腱と腱鞘の関係を機械

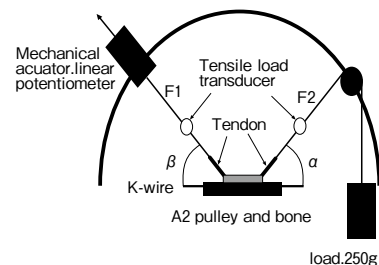


図 3. 滑走抵抗測定器の概略図
文献 4 より引用。

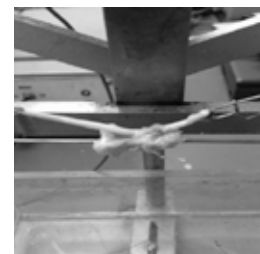


図 4. 実際の滑走抵抗測定状況

工学的にベルトと滑車の関係にみたて、ベルトの両端にかかる張力を電位変換して測定し、それぞれを F1, F2 とし、F1 側をベルトで滑走させ、ベルトと滑車間の F1 - F2 で表される張力差を滑走抵抗 R とした。直径 1.5 mm のキルシュナー鋼線を中節骨の長軸に沿って直線状に刺入し、腱の近位端をアクチュエーターと連結し、遠位端は 250 g 重錘に連結した。腱近位部および遠位部が pulley 近位端および遠位端で水平面となす角 α , β で滑走させ、角 α と β の和を pulley と腱の接触角度とした。接触角度は、 20° , 30° , 40° , 50° , 60° の 5 種とした。腱の近位

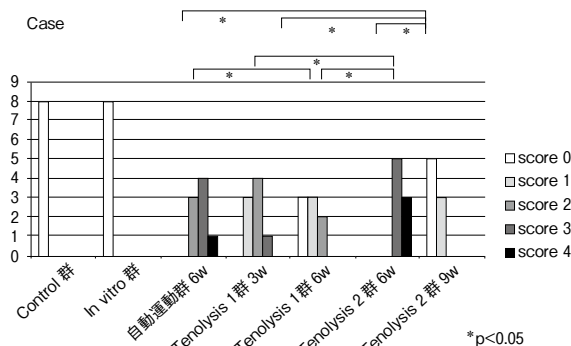


図5. 肉眼的癒着の評価

control 群と in vitro 群に癒着は認めなかった. tenolysis 2 群の 9 週後は自動運動群の 6 週後, tenolysis 1 群の 3 週後, tenolysis 2 群の 6 週後に比しスコアが低かった ($p < 0.05$). tenolysis 1 群の 6 週目は, 自動運動群の 6 週目, tenolysis 2 群の 6 週目に比しスコアが低かった ($p < 0.05$).

方向にはアクチュエーターで, 遠位方向には重錘でそれぞれ 2.0mm/秒の速度で滑走させた. F1, F2 を連結したコンピューターにより 10Hz で記録した. F1 と F2 を 3 回計測し, 安定した滑走が得られると考えられる後(あと)の 2 回目と 3 回目の計測値の平均を R 値とした. 各群間の R 値の有意差検定には Kruskal-Wallis test によるノンパラメトリックアナリシスを行い, post hoc test として Nemenyi test を行い, p 値 0.05 未満を医学生物学的に有意とした.

III. 結 果

1. 肉眼的癒着評価

自動運動群では, 腱縫合部は肉芽組織に覆われ, 周囲の組織と癒着していた. tenolysis 1 群では, 腱剥離前の腱縫合部は薄い肉芽組織に覆われ軽度周囲組織と癒着を認めたが, 腱剥離後の腱縫合部に周囲組織との癒着は確認できなかった. tenolysis 2 群では, 腱剥離前の腱縫合部は肉芽組織で覆われ周囲組織との癒着を認めたが, 腱剥離後の縫合部に周囲組織との癒着は確認できなかった. また, すべての群において皮膚の縫合不全や感染は認めなかった.

肉眼的癒着を評価したスコアを示す(図 5).

control 群, in vitro 群では 8 例全例が 0 点であった.

自動運動群の 6 週後では 2 点が 3 例, 3 点が 4 例, 4 点が 1 例で平均値 \pm 標準偏差は 2.8 ± 0.67 点であった.

tenolysis 1 群の 3 週後では 1 点が 3 例, 2 点が 4 例, 3 点が 1 例で平均値 \pm 標準偏差は 1.8 ± 0.7 点, 6 週後では 0 点が 3 例, 1 点が 3 例, 2 点が 2 例で平均値 \pm 標準偏差は 0.9 ± 0.8 点であった.

tenolysis 2 群の 6 週後では 3 点が 5 例, 4 点が 3 例で平均値 \pm 標準偏差は 3.4 ± 0.5 点, 9 週後では 0 点が 5 例, 1 点が 3 例で平均値 \pm 標準偏差は 0.4 ± 0.5 点であった.

control 群と in vitro 群はその他の 3 群に比し癒着スコアが低かった ($p < 0.05$). tenolysis 2 群の 9 週後は自動運動群の 6 週後, tenolysis 1 群の 3 週後, tenolysis 2 群の 6 週後に比しスコアが低かった ($p < 0.05$). tenolysis 1 群の 6 週後は, 自動運動群の 6 週後, tenolysis 2 群の 6 週後に比しスコアが低かった ($p < 0.05$). tenolysis 1 群の 3 週後は, tenolysis 2 群の 6 週後に比しスコアが低かつ

表 2. 5 群間の滑走抵抗値

Angle (°)	Mean \pm standard deviation of the excursion resistance ($\times 10^{-2}$ N)				
	Control 群	<i>in vitro</i> 群	自動運動群	Tenolysis 1 群	Tenolysis 2 群
20°	4.20 \pm 1.01	19.85 \pm 0.81	24.49 \pm 1.89	19.53 \pm 1.04	16.81 \pm 1.83
30°	7.49 \pm 2.04	24.68 \pm 1.18	28.94 \pm 2.41	23.05 \pm 3.11	17.83 \pm 3.28
40°	9.40 \pm 2.09	28.96 \pm 2.09	33.10 \pm 2.01	27.16 \pm 1.04	22.50 \pm 3.27
50°	11.49 \pm 0.91	32.35 \pm 2.18	39.32 \pm 4.21	31.18 \pm 3.58	24.72 \pm 3.47
60°	44.55 \pm 2.60	36.57 \pm 1.62	44.55 \pm 3.69	35.92 \pm 1.58	28.33 \pm 2.78

た ($p < 0.05$)。腱剥離前と腱剥離後3週後の癒着スコアの低減はtenolysis 1 群では確認できなかったが、tenolysis 2 群では確認された ($p < 0.05$)。腱剥離3週後の癒着スコアはtenolysis 1 群とtenolysis 2 群に有意差は認めなかった。

2. 滑走抵抗値

各群の滑走抵抗の結果を示す (表 2)。

control 群の滑走抵抗値の平均値 \pm 標準偏差は、20°で $4.20 \pm 1.01 \times 10^{-2}$ N, 30°で $7.49 \pm 0.81 \times 10^{-2}$ N, 40°で $9.39 \pm 1.04 \times 10^{-2}$ N, 50°で $11.49 \pm 1.82 \times 10^{-2}$ N, 60°で $14.55 \pm 1.89 \times 10^{-2}$ N であった。

in vitro 群の滑走抵抗値の平均値 \pm 標準偏差は、20°で $19.85 \pm 5.48 \times 10^{-2}$ N, 30°で $24.68 \pm 1.18 \times 10^{-2}$ N, 40°で $28.96 \pm 2.29 \times 10^{-2}$ N, 50°で $32.35 \pm 2.18 \times 10^{-2}$ N, 60°で $36.57 \pm 1.62 \times 10^{-2}$ N であった。滑走抵抗値はcontrol 群と比べすべての角度において高かった ($*p < 0.05$) (図 6)。

自動運動群の滑走抵抗値の平均値 \pm 標準偏差は、20°で $24.49 \pm 1.89 \times 10^{-2}$ N, 30°で $38.94 \pm 2.41 \times 10^{-2}$ N, 40°で $33.10 \pm 4.74 \times 10^{-2}$ N, 50°で $39.32 \pm 4.21 \times 10^{-2}$ N, 60°で $45.55 \pm 3.69 \times 10^{-2}$ N であった。滑走抵抗値はcontrol 群と比べすべての角度において高かった ($*p < 0.05$) (図 7)。

tenolysis 1 群の滑走抵抗値の平均値 \pm 標準偏差は、20°で $19.53 \pm 1.04 \times 10^{-2}$ N, 30°で $23.05 \pm 3.11 \times 10^{-2}$ N, 40°で $27.16 \pm 1.04 \times 10^{-2}$ N, 50°で $31.18 \pm 3.58 \times 10^{-2}$ N, 60°で $35.92 \pm 1.58 \times 10^{-2}$ N であった。滑走抵抗値はcontrol 群と比べすべての角度において高かった ($*p < 0.05$) (図 8)。

tenolysis 2 群の滑走抵抗値の平均値 \pm 標準偏差は、20°で $16.81 \pm 1.82 \times 10^{-2}$ N, 30°で $17.83 \pm 3.28 \times 10^{-2}$ N, 40°で $22.50 \pm 3.27 \times 10^{-2}$ N, 50°で 24.72

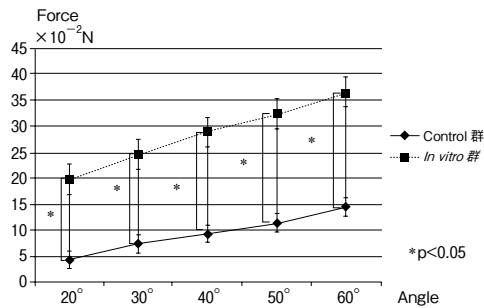


図 6. control 群と in vitro 群の滑群走抵抗値
control 群の滑走抵抗値は in vitro 群に比し
低かった ($p < 0.05$) .

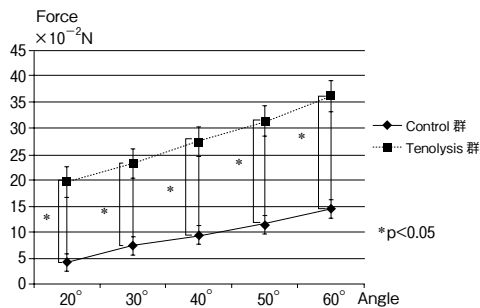


図 8. control 群と tenolysis 1 群の滑群走抵抗値
control 群の滑走抵抗値は tenolysis 1 群に比し
低かった ($p < 0.05$) .

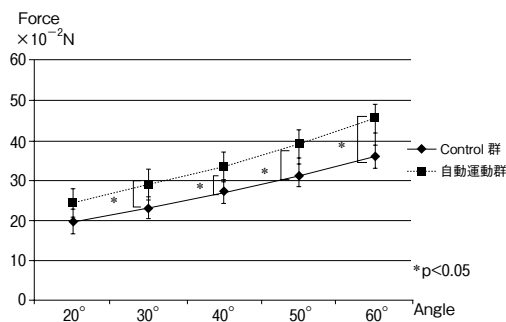


図 10. 自動運動群と tenolysis 1 群の滑群走抵抗値
自動運動群は tenolysis 1 群と比べ 30°, 40°,
50°, 60° の角度において滑走抵抗値が高
かった ($p < 0.05$) .

$\pm 3.47 \times 10^{-2} \text{N}$, 60° で $28.33 \pm 2.78 \times 10^{-2} \text{N}$ であった. 滑走抵抗値は control 群と比べすべての角度において高かった ($*p < 0.05$) (図 9).

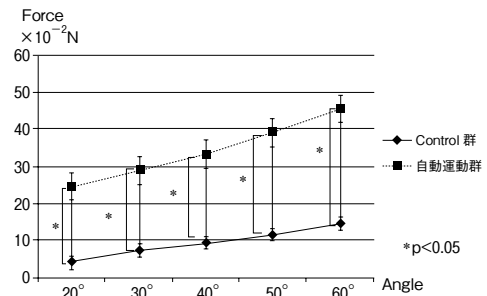


図 7. control 群と自動運動群の滑群走抵抗値
control 群の滑走抵抗値は自動運動群に比し低
かった ($p < 0.05$) .

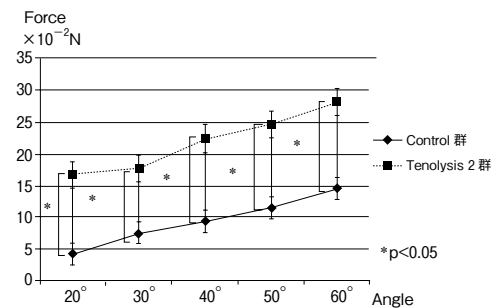


図 9. control 群と tenolysis 2 群の滑群走抵抗値
control 群の滑走抵抗値は tenolysis 2 群に比し
低かった ($p < 0.05$) .

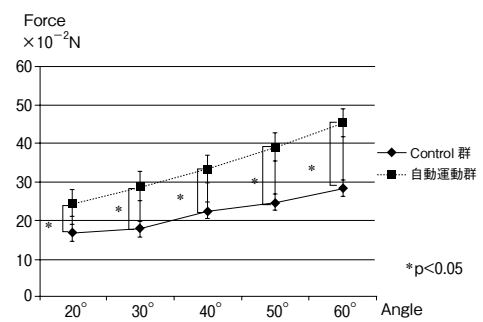


図 11. 自動運動群と tenolysis 1 群の滑群走抵抗値
自動運動群の滑走抵抗値は tenolysis 2 群と
比べすべての角度で高かった ($p < 0.05$) .

自動運動群は tenolysis 1 群と比べ 30°, 40°, 50°, 60° において滑走抵抗値は高く ($*p < 0.05$) (図 10), tenolysis 2 群と比べすべての角度において滑走抵抗値は高かった

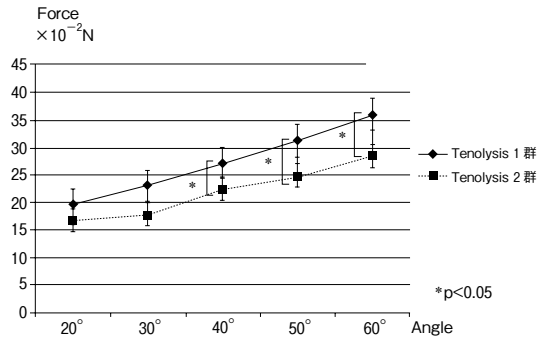


図 12. tenolysis 2 群と tenolysis 1 群の滑走抵抗値
tenolysis 2 群は tenolysis 1 群と比べ 40°, 50°, 60° の角度において
滑走抵抗値が低かった ($p < 0.05$).

(* $p < 0.05$) (図 11) .

tenolysis 2 群は tenolysis 1 群と比べ 40°, 50°, 60° の角度において滑走抵抗値は低かった (* $p < 0.05$) (図 12).

control 群に比べ、他のすべての群において滑走抵抗値は高かった ($p < 0.05$). 手術による侵襲を与えた control 群以外の 4 群間では、滑走抵抗は tenolysis 2 群で最も低く、自動運動群が最も高かった ($p < 0.05$). tenolysis 1 群と *in vitro* 群の間に有意差は認めなかった. すべての群で角度が増すにつれて滑走抵抗値の上昇を認めた ($p < 0.05$).

IV. 考 案

手指屈筋腱損傷の治療として腱縫合や腱移植術などが行われるが、MCP 関節から PIP 関節までの Zone II では、解剖学的に癒着しやすく、しばしば治療が困難となる. 腱の治療過程としては、縫合部周囲組織からの血管の進入により治療していく外的環境による治療過程 (extrinsic healing) と、腱内部の血行路の再開により治療していく過程 (intrinsic healing) がある⁵⁻¹⁰⁾. 実験的には、周囲組織との癒着が起こらない intrinsic healing のみでの腱修復が可能とされているが、臨床的には intrinsic healing と extrinsic

healing の治療機転が併存することから、腱と周囲組織の癒着が避けられない. そのため、良好な手術成績を獲得するには、extrinsic healing を少なくすることが好条件であると考えられ、腱縫合法などの手術手技のみならず、腱滑走を促す術後の後療法も重視されてきた^{11, 12)}.

現在、後療法として主に 3 週間固定法、早期運動療法である Kleinert 変法が行われている. 3 週間固定法に関しては、人の腱縫合部の破断張力は縫合糸の通過部の腱細胞壊死のため 1 週間後に著明に低下し、その後細胞レベルでの腱組織の回復に伴い 3 週間で慎重な自動運動に耐えうる 2000 g 以上の強度になるとした Urbaniak ら¹³⁾ の研究を理論的根拠とし行われている. しかし、腱縫合部の離解張力を減じるための指を屈曲位で固定する 3 週間固定法は、extrinsic healing が優勢となることで腱縫合部での腱と周囲組織との癒着が高度となり、屈曲拘縮が発生しやすいことが問題とされている¹⁴⁾. また、屈筋を弛緩させた状態での 3 週間固定法は、筋萎縮を助長するとされている¹⁵⁾. 一方、Kleinert 変法は術後に自動運動を開始し、腱と周囲組織との癒着を可及的に低減する方法である. 臨床上是 3 週間固定法よりも Kleinert 変法で腱癒

着に対する優位性が明らかとなっている¹⁵⁾。人の腱癒合の修復過程においては、線維芽細胞の増殖が2～3週でピークとなり、3週以降減弱し、腱縫合6週で腱縫合部の線維芽細胞の配列が長軸方向に配列することにより、破断張力が強くなり、滑走能も改善されることが報告されている^{2, 16)}。犬やニワトリにおいても、腱縫合法による腱縫合部の破断張力や組織学的癒着の評価がされており、人に類似した腱の修復過程が報告されている¹⁷⁻¹⁹⁾。

そこで本研究では、慎重な自動運動に耐えうるとされる腱縫合3週後、破断張力が強くなるとされる腱縫合6週後に腱剥離術を施行し、剥離時期の影響を検討するため、肉眼的癒着の評価および滑走抵抗の測定を行った。自動運動群、3週ギプス装用後および6週ギプス装用後に腱剥離を追加したtenolysis各群では手術侵襲を加えることにより肉眼的に癒着が確認された。腱縫合後3週間のギプス装用を行うと、腱と腱鞘間に癒着スコア平均 1.8 ± 0.7 点と軽度の癒着が形成され、6週間のギプス装用を行うと癒着スコア平均 3.4 ± 0.5 点と、癒着スコアが高くなっていた。腱縫合6週後の評価では、3週後に腱剥離を行ったtenolysis 1群の癒着スコアが最も低く、自動運動群と腱剥離術前のtenolysis 2群間では有意差はなかった。これにより、自動運動よりも腱剥離の方が癒着を低減することが考えられる。

滑走抵抗は、手術による侵襲のためもあり、control群に比し、全ての群で滑走抵抗値の上昇を認め、tenolysis 2群が最も低く、自動運動群が最も高く、tenolysis 1群と*in vitro*群間に有意差は認めなかった。滑走抵抗値の上昇は、*in vitro*群では縫合糸やそのknotによる摩擦や縫合部の形態変化が主要因と考えられる。自動運動群では癒着スコアが高かったことから、群・腱鞘間の癒着が主要因と考えられる。また、本研究では中節骨と腱・腱鞘のみを摘出しており、滑走抵抗測定

時の関節拘縮による滑走抵抗への影響は少ないと考えられる。

前田らは²⁰⁾、腱鞘を温存し腱縫合を行ったニワトリを用いた実験において、肉眼的所見では縫合後1～2週で腱縫合部は肉芽組織が縫合部を覆いかけ、腱縫合3～4週で正常腱との縫合部の識別が困難となり、腱縫合8週で健常部と同じ様相を呈すると報告している。また、組織学的所見では腱縫合1～2週で縫合部表面と断端に線維芽細胞の増殖がみられ、腱縫合3週で線維芽細胞は腱の長軸方向に対して垂直に配列し、腱縫合5週で膠原線維が発達してきて腱縫合部の線維芽細胞および膠原線維の配列が腱の長軸方向に平行に配列し、腱縫合8週で腱縫合部の癒合はより強固となると報告している。

本研究においては、3週間のギプス装用をしたtenolysis 1群と6週間のギプス装用をしたtenolysis 2群の腱剥離前の癒着スコアはtenolysis 2群が有意に高かった。これは、より長期のギプス装用による影響と考えられる。しかし、腱・腱鞘間および腱と周囲組織の剥離を行い自動運動が可能なギプス装用をした結果、tenolysis 1群とtenolysis 2群の滑走抵抗測定時である腱剥離3週後の癒着スコアに有意差は認めず、腱縫合部はともに肉芽組織で覆われ肉眼的所見に明らかな違いはなかったが、滑走抵抗はtenolysis 2群の方が低かった。腱・腱鞘間、腱縫合部および腱と周囲組織の肉眼的所見に明らかな差が確認できなかったことから、組織学的な違いから滑走抵抗に有意差が生じたと考えられる。つまり、線維芽細胞の増殖が強い時期とされる腱縫合3週後と、線維芽細胞の増殖が減弱し膠原線維とともに長軸方向に配列するとされる腱縫合6週後に腱剥離を行ったことによる時期の違いによって、腱・腱鞘間および腱縫合部に組織反応的レベルでの滑走抵抗への影響が及ぼされている可能性が考えられる。しかし、本研究では同じ指だけではなく第2～

5 指の各 2 指ずつで評価したため、各指のわずかな可動域の違い、腱や腱鞘幅の違いが癒着や滑走抵抗に影響を及ぼした可能性も考えられる。また、犬の組織学的観点から腱剥離術を行った報告は少なく、これらは今後の研究課題と考えている。以上より、腱・腱鞘間および腱と周囲組織の癒着剥離は縫合腱がより正常腱に近い状態に修復されてから行う方が滑走抵抗の観点からは有効であると考えられた。

近年、腱縫合後 1 週以内からの早期に自動運動を開始する方が⁸、3 週間固定法、Kleinert 変法と比べ良好な成績を得ることができると報告されている²¹⁻²³⁾。今回の犬の実験モデルにおいては 3 週間のギプス装用では癒着を低減するのに十分な自動運動を犬が行うことは困難であることが考えられ、早期自動運動を行った実験モデルにおいても今後の研究が必要である。しかし、早期運動療法を行うにあたっては、腱の再断裂の可能性が懸念される。破断張力が上昇していない早期から自動運動を行うことによって、腱縫合部の再断裂が起こることも報告されている^{24, 25)}。本研究における犬の実験モデルや幼児や高齢者など可動域訓練を確実に実施できない患者

にとって、早期自動運動を行うことは困難である。したがって、早期自動運動が適応とならない症例においては、より強固な縫合法、より腱癒合が得られた腱縫合後に剥離術を行う方が、再断裂のリスクは低いと考えられる。また、術後の疼痛も早期自動運動の障害となることが考えられる。本研究では術中に 1% メピバカイン塩酸塩を使用した⁹が、作用時間は約 1～1.5 時間とされており術後の腱・腱周囲の浮腫における滑走抵抗の上昇から来る可動時痛の対応には十分とはいえない。疼痛を軽減させるために局所麻酔薬を持続投与し、疼痛を軽減させて早期自動運動を開始させる方法が報告されており²⁵⁻²⁸⁾、疼痛のコントロールも今後の検討項目の一つであると考えられる。

今後は、これまでの *in vitro*^{29, 30)}、*in vivo*³¹⁾ での研究結果も併せて臨床に貢献できる腱縫合法、癒着防止法、屈筋腱縫合後の後療法について検討し、治療成績の改善につなげていきたいと考えている。

本研究は一部、文部科学省科学研究費補助金（西田 淳 研究課題番号：24592242）によって行った。

文 献

- 1) 津下健哉：手の外科の実際 改定第 6 版．p. 274, 南江堂，東京，1985.
- 2) Aoki M, Kubota H and Manske PR: Biomechanical and histologic characteristics of canine flexor tendon repair using early postoperative mobilization. J Hand Surg **22-A**, 107-114, 1997.
- 3) Rothkoph DM, Webb S and Szabo RM: An experimental model for the study of canine flexor tendon adhesions. J Hand Surg **16-A**, 694-700, 1991.
- 4) An KN, Berglund L, Uchiyama S, et al.: Measurement of friction between pulley and flexor tendon. Biomed Sci Instrum **29**, 1-7, 1993.
- 5) Potenza AD: Critical valuation of flexor tendon healing and adhesion formation within artificial digital sheaths. J Bone Joint Surg **45-A**, 1217-1233, 1967.
- 6) Verden C: Primary repair of flexor tendons. J Bone Joint Surg **42-A**, 647-657, 1960.
- 7) Matthews P: The repair potential of digital flexor tendon. J Bone Joint Surg **56-B**, 618-625, 1974.
- 8) Lundberg G and Rank F: Experimental intrinsic healing of flexor tendons based upon synovial fluid nutrition. J Hand Surg **3**, 21-31, 1978.
- 9) Menske PR: Intrinsic flexor-tendon repair : a morphological study in vitro. J Bone Joint Surg **66-A**, 386-396, 1984.
- 10) Gelberman RH, Hergenroeder PT, Hargens AR et al.: The carpal tunnel syndrome: A study of carpal canal pressures. J Bone Joint Surg **63-A**, 380-383, 1981.

- 11) **Tsuge K, Ikuta Y and Matsuishi Y:** Intra-tendinous tendon suture in the hand: a new technique. *The Hand* **7**, 250-255, 1975.
- 12) **Kleinert HE, Kutz JE, Ashbell S, et al.:** Primary repair of lacerated flexor tendon in "no man's land". *J Bone Joint Surg* **49-A**, 577, 1967.
- 13) **Urbaniak JR, Cahill JD and Mortenson RA:** Tendon suturing methods : analysis of tensile strength. *AAOS Symposium on tendon surgery on the hand*, pp. 70-80, C. V. Mosby Co, 1975.
- 14) **飯塚照史, 渡邊健太郎, 村上恒二:** Zone II 屈筋腱断裂修復後の後療法の特徴に関する一考察. *広島大保健ジャーナル* **6**, 81-91, 2006.
- 15) **川真田聖一, 小澤淳也, 榎間春利:** 骨格筋の委縮と肥大に影響する主要因. *関節外科* **25**, 21-25, 2006.
- 16) **Green DP:** Green's operative hand surgery, 4th edition, vol. 2, pp. 1855-1857, Churchill Livingstone, 1999.
- 17) **山屋彰男:** 指屈筋腱の修復と滑走に関する実験的研究. 第2報, 滑膜性腱鞘内における腱縫合の強度 (tensile strength) の継時的推移. *日整会誌* **49**, 31-43, 1975.
- 18) **青木光広, 窪田秀明, Manske PR:** 手屈筋腱縫合後の早期自動運動 実験動物を用いた腱の治癒過程の観察. *運動と物理療法* **10**, 123-127, 1999.
- 19) **Gelberman RH, Menon J, Gonsalves M, et al.:** The effects of mobilization on the vascularization of healing flexor tendons in dogs. *Clin Orthopaedics Related Res* **153**, 283-289, 1980.
- 20) **前田道宣:** 靱帯性腱鞘内でのニワトリ損傷腱修復に関する実験的研究 血行および滑液の関与について. *信州医誌* **27**, 672-685, 1979.
- 21) **Silverskiold KL and May EJ:** Flexor tendon repair in zone II with a new suture technique and an early mobilization program combining passive and active flexion. *J Hand Surg* **19-A**, 53-60, 1994.
- 22) **草津 望, 吉津孝衛, 牧 裕, 他:** Zone II 屈筋腱断裂に対する早期運動療法. *日手会誌* **19**, 691-694, 2002.
- 23) **牧 裕, 吉津孝衛, 坪川直人, 他:** Zone II における 6-strand 屈筋腱一次縫合, 早期運動の成績. *日手会誌* **25**, 763-765, 2009.
- 24) **加藤博之, 三浪明男, 近藤 真, 他:** Modified Kleinert 法による zone II 屈筋腱断裂の治療成績. *日手会誌* **19**, 698-702, 2002.
- 25) **Chow JA, Thomas LJ and Dovel S:** Controlled motion rehabilitation after flexor tendon repair and grafting. *J Bone Joint Surg* **70-B**, 591-595, 1988. 135-146, 2001.
- 26) **Kulkarni M and Elliot D:** Local anaesthetic infusion for postoperative pain. *J Hand Surg* **28-B**, 300-306, 2003.
- 27) **Kirchhoff R, Jensen PB, Neilsen NS, et al.:** Repeated digital nerve block for pain control after tenolysis. *Scand J Plast hand Surg* **34**, 257-258, 2000.
- 28) **渡邊忠良, 高原政利, 土田浩之, 他:** 腱鞘内局所麻酔持続投与下に早期自動訓練を行った屈筋腱剥離術の成績. *日手会誌* **25**, 622-626, 2009.
- 29) **Akasaka T, Nishida J and An KN:** Hyaluronic acid diminishes the resistance to excursion after flexor tendon repair .An in vitro biomechanical study. *J Biomech* **38**, 503-507, 2005.
- 30) **川村竜平, 赤坂俊樹, 西田 淳, 他:** 腱鞘再建後の腱・腱鞘間滑走抵抗に対するヒアルロン酸の効果. *岩手医誌* **62**, 265-274, 2010.
- 31) **佐藤正義, 西田 淳, 赤坂俊樹, 他:** 屈筋腱縫合後の腱・腱鞘間滑走抵抗. *岩手医誌* **63**, 219-228, 2011.

Effect of tenolysis on adhesion after flexor tendon suture in model of dogs

Yuzo MATSUO, Jun NISHIDA, Toshiki AKASAKA,
Ryuhei KAWAMURA, Makoto SUZUKI and Tadashi SHIMAMURA

Department of Orthopaedic Surgery, School of Medicine,
Iwate Medical University, Morioka, Japan

(Received on February 18, 2013 & Accepted on February 27, 2013)

Abstract

The purpose of this study is to elucidate the effect of tenolysis on gliding resistance and adhesion between the tendon and pulley after tendon suture. Adhesion evaluation followed the method of Rothkoph et al. Gliding resistance measurement followed the method of An et al. Adhesion and gliding resistance between the tendon and annular pulley of the fore-paw of canines were measured in five different groups: the automatic movement group exercised under non-load, tenolysis performed in the third week (tenolysis group I) , tenolysis performed in the sixth week (tenolysis

group II), tendon suture only (*in vitro* group), and normal tendon as a control. Adhesion was observed in tenolysis group I, tenolysis group II, and the automatic movement group. The gliding resistance of tenolysis groups was significantly lower than that of automatic movement group. The gliding resistance of tenolysis group II was significantly lower than that of tenolysis group I. Tenolysis performed in the sixth week may be a more meaningful procedure to improve the gliding resistance between the tendon and pulley than tenolysis performed in the third week.