

原 著

指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 —

前 田 道 宣

信州大学医学部整形外科学教室
(主任: 藤本憲司教授)

HEALING PROCESS OF INJURED FLEXOR TENDONS
IN THE FIBROUS DIGITAL SHEATH OF THE CHICK,
WITH SPECIAL REFERENCES TO THE ROLE OF
BLOOD SUPPLY AND SYNOVIAL FLUID

Michinobu MAEDA

Department of Orthopaedic Surgery, Faculty of Medicine,
Shinshu University
(Director: Prof. Kenji FUJIMOTO)

MAEDA, M. *Healing process of injured flexor tendons in the fibrous digital sheath of the chick, with special references to the role of blood supply and synovial fluid.* Shinshu Med. J., 27: 672-685, 1979

Distribution of the blood vessels in the third flexor digitorum profundus tendon of the chick was examined by injection of diluted Indian ink to the popliteal artery. Then ligation of the tendons was performed in 24 chicks to observe their degenerative process after interrupting the blood supply. In addition, injuries were made to the tendons of 44 chicks to observe the healing process of the tendons in various situations. The results are as follows:

1. The blood vessels in the profundus tendon were abundant both in the distal segment from the middle of the second digital phalanx to the insertion (segment A) and in the segment proximal to the metatarso-phalangeal (MP) joint. They were not found in the segment between the middle of the second digital phalanx and the MP joint (segment B).

2. After interrupting the blood supply by ligating the tendons, degeneration of the tendons occurred earlier in the segment A as compared with in the segment B. On excision of the digital sheath, no remarkable effects were observed in the degenerative process.

3. In the segment A, injured tendons healed keeping good gliding from surrounding tissues when the blood supply was maintained. In the segment B, they healed without adhesion when the blood supply was not interrupted. Although the blood supply was interrupted, they healed without any adhesion if the digital sheaths were preserved. In the segment B, however, their healing process delayed as compared with in the segment A.

(Received for publication; August 20, 1979)

Key words: 腱修復 (tendon healing)
 ニワトリ腱 (chick tendon)
 腱内血管 (blood vessels in the tendon)
 滑液 (synovial fluid)

I 緒言

ヒトの手において、遠位手掌皮膚線からの節骨の浅指屈筋腱付着部までの範囲は、no man's land と呼ばれ、腱手術の予後の最も悪い所とされている。この領域では狭い靭帯性腱鞘の中を、深指屈筋腱と浅指屈筋腱と一緒に走っている。この靭帯性腱鞘内で屈筋腱が断裂した場合、損傷腱をいかに癒着を少なく修復せしめるかは、手の外科における重要課題の一つであり、これまで数多くの研究者がこの問題を解決すべく、実験的および臨床的研究に取り組んできた。従来は腱自体には修復能力はなく、腱断端は腱周囲組織からの肉芽組織によって修復され、従って腱の修復過程において癒着は必要不可欠であると考えられていた¹⁾²⁾。しかし近年、腱自体にも修復能力はあり、腱が断裂しても一定の条件さえ整えば、周囲結合組織からの肉芽組織と腱との癒着もなく癒合し得ることが実験的に証明されてきた^{3)~7)}。腱の自己修復能力が保たれるためには、十分な栄養が腱の損傷部位に供給されることが必要であり、その栄養供給路としては腱の血行と、腱鞘内の滑液の二つが考えられている。著者は、腱および周囲組織に対する損傷を、腱への栄養供給路という面から考え、上記の二つの栄養供給路の遮断が、腱修復にいかなる影響を及ぼすかを調べる目的で本研究を行った。

II 実験材料

生後2カ月前後、体重1.5~2.5kgのブロイラー幼若鶏、合計80羽の左右第3足指深指屈筋腱を使用し、これを次項に述べる実験群に分けた。

III 実験項目

実験(I): 正常腱の腱内血管分布の観察

計 12羽24足

実験(II): 腱内血行遮断後の腱の変性の観察

計 24羽48足

II-a群: 血管分布の豊富な部位での実験
 12羽24足

II-b群: 血管分布が認められない部位で

の実験 12羽24足

実験(III): 損傷腱の修復過程の観察 計 44羽88足

II-a群: 血管分布の豊富な部位での実験
 27羽54足

II-b群: 血管分布が認められない部位での実験 17羽34足

実験(II)において、各群をさらに12羽12足の腱鞘温存群と12羽12足の腱鞘切除群に分けた。実験(III)では、1) 血行温存・腱鞘温存群 11羽22足、2) 血行温存・腱鞘切除群 12羽24足、3) 血行遮断・腱鞘温存群 11羽22足、4) 血行遮断・腱鞘切除群 10羽20足の各群に分けた。

IV 実験方法および結果

A. 実験(I): 正常腱の腱内血管分布の観察

1. 予備実験

墨汁注入による血管造影で正常腱の腱内血管分布を調べるのに先立ち、実験に使用する幼若鶏の赤血球および墨汁粒子の直径を micrometer により計測した。その理由は、造影剤の粒子の大きさが赤血球の大きさより小さくなければ墨汁は血管内に入り得ず、血管は存在しても造影され得ないからである。

幼若鶏の血液と墨汁の塗抹標本を作成し観察した結果、幼若鶏の赤血球は楕円形をしており、その長径は平均15 μ m前後、短径は平均8 μ m前後であった(図1-a)。一方墨汁(松寿堂製)の粒子はほぼ円形で、大きさはさまざまであるが小さいもので1~1.5 μ m、大きいものでも2.5~3 μ mくらいであった(図1-b)。

以上の結果から、造影剤として使用した墨汁粒子の大きさはブロイラーの赤血球の大きさに比べるとかなり小さく、毛細血管内へも入り得る大きさであることが判明した。

2. 実験方法

幼若鶏を麻酔剤の投与により屠殺した後、膝関節にて離断し、膝窩動脈に内径0.6mmの静脈留置針を挿入する。ヘパリン加生理的食塩水約50mlにて灌流後、5~10倍に希釈した墨汁液を手圧にて注入する。

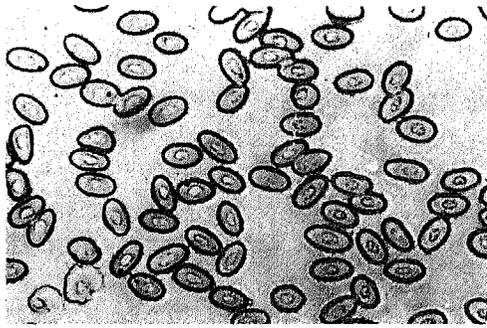


図 1-a 幼若鶏の赤血球の塗抹標本
×400

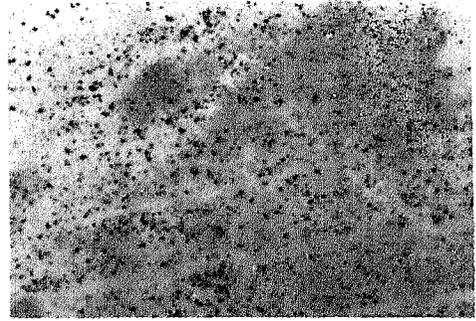


図 1-b 血管造影に使用した墨汁の塗抹標本
×400

断端部には止血帯をかけ、さらに注入液の漏出が認められる部位はコッヘル鉗子で止め、皮膚や爪全体が十分に黒染されるまで注入を続ける。注入完了後、離断した足全体を直ちに10%ホルマリン液に浸して固定した。灌流液および注入液はいずれも約40°Cに暖めたものを使用した。約1週間の固定後、目的とする組織を取り出し、アルコールにて脱水し透明化して観察した。透明化液としては、tricresyl phosphate と tri-n-butyl phosphate を5:1の割合で混合したものを用いた⁸⁾。

のをういた⁸⁾。

3. 実験結果

幼若鶏の第3足指深指屈筋腱の透明標本では、第2指節中央部より遠位側と、中足骨指節間関節(MP関節)より近位側で豊富な腱内血管がみられた。第2指節中央部より遠位側では、腱内血管は腱の骨付着部および腱紐(vincula)を介して分節的に供給されていた。これとは対照的に、第2指節中央部とMP関節との間では、腱内血管は造影されなかった(図2)。

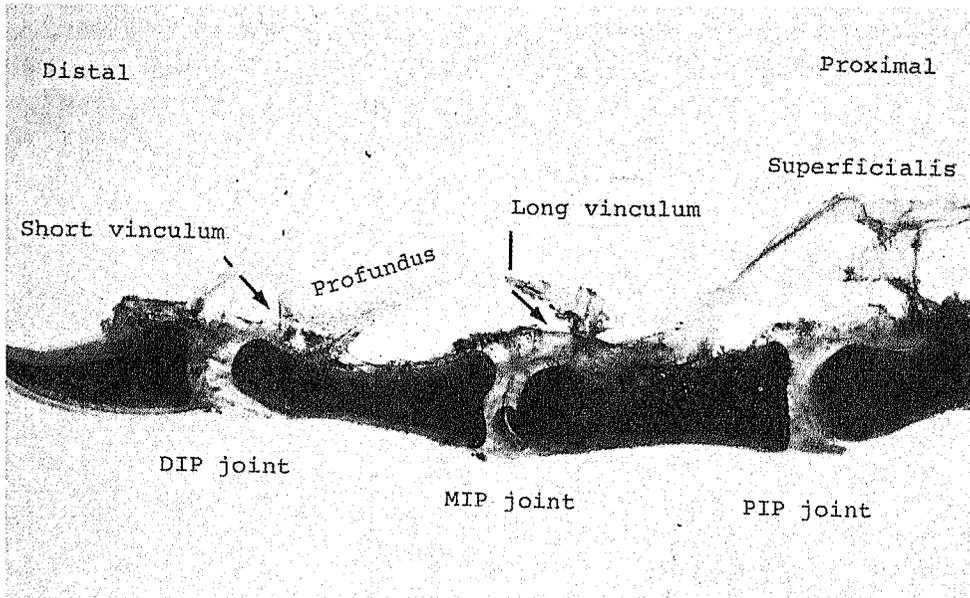


図 2 幼若鶏の腱内血管分布

DIP joint: 遠位指節間関節
PIP joint: 近位指節間関節
Profundus: 深指屈筋腱

MIP joint: 中間部指節間関節
Vinculum: 腱紐
Superficialis: 浅指屈筋腱

墨汁注入後の深指屈筋腱の横断面を組織学的に観察すると、透明標本で血管がよく造影されていた long vinculum と short vinculum との間では腱内血管がみられ、墨汁が充満しているのが観察された(図 3-a)。しかし血管が造影されなかった PIP 関節周辺の腱の横断面では、腱内血管は認められなかった(図 3-b)。

B. 実験(Ⅱ): 腱内血行遮断後の腱の変性の観察

1. 実験方法

幼若鶏に硫酸アトロピン 0.1mg を筋注後、ソムノペンチル 0.4ml/kg を生理的食塩水 4~5ml に希釈し、これを静注して全身麻酔を行う。足関節以下を十分に洗浄し、同部をイソジン液にて消毒し、腹臥位で手術台に固定する。実験には第 3 足指の深指屈筋腱を

使用した。

Ⅱ-a 群(図 4)では、中間部指節間関節(MIP 関節)を中心に皮膚に Bruner⁹⁾の zig-zag 切開を加える。腱鞘温存群では、遠位指節間関節(DIP 関節)のレベルで腱鞘を横切し、モスキート鉗子で深指屈筋腱をひき出し、long vinculum と short vinculum の間で腱全周を約 1.5cm の間隔でナイロン糸で結紮して腱内血行を遮断する。腱鞘切除群では、浅指屈筋腱付着部より遠位端までの腱鞘をすべて切除した後、腱鞘温存群と同様に腱全周を 2 カ所で結紮して血行を遮断した。

Ⅱ-b 群(図 4)では、PIP 関節を中心に皮膚に zig-zag 切開を加える。腱鞘温存群では、第 2 指節のほぼ中央で腱鞘を横切し、モスキート鉗子で深指屈筋腱をひき出す。PIP 関節の周辺で腱全周を約 1.5cm

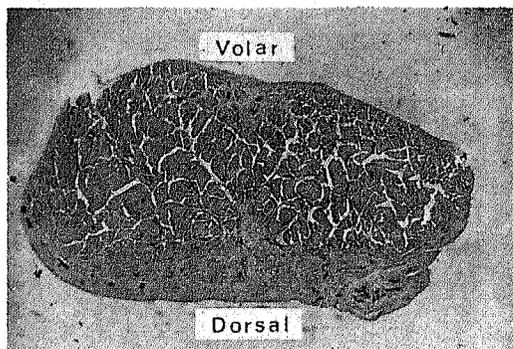


図 3-a long vinculum と short vinculum の間での深指屈筋腱墨汁注入標本横断面。黒染されている所が、造影された血管である。(H-E ×20)

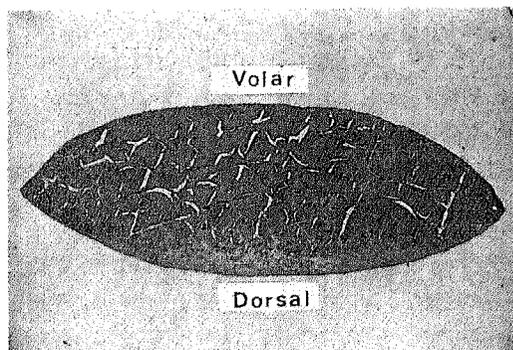


図 3-b PIP 関節周辺の深指屈筋腱墨汁注入標本横断面。血管は認められない。(H-E ×20)

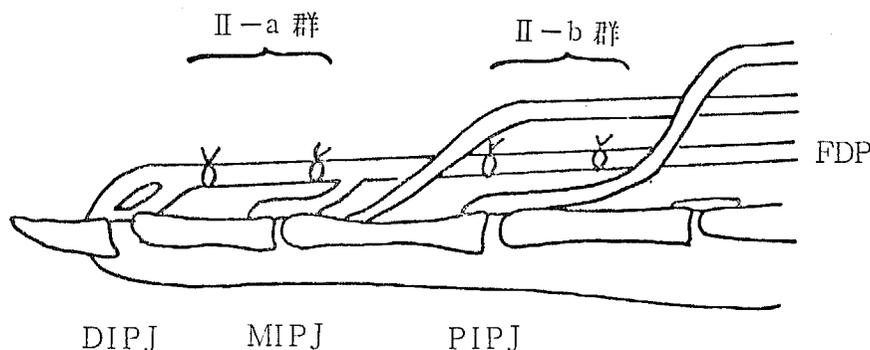


図 4 実験(Ⅱ). 深指屈筋腱の結紮部位を示す。

DIPJ: 遠位指節間関節 MIPJ: 中間部指節間関節
PIPJ: 近位指節間関節 FDP: 深指屈筋腱

の間隔でナイロン糸で結紮して腱内血行を遮断する。腱鞘切除群では、浅指屈筋腱付着部から第1指節中央までの範囲の腱鞘を切除し、腱鞘温存群と同様の部位、方法により血行を遮断する。術後、術野に抗生剤を散布し、サージカルドレープで創を被覆する。2週後より11週後まで、1週毎に屠殺し、肉眼的および組織学的に観察した。組織標本は、10%ホルマリン固定、パラフィン包埋、H-E染色により作成した。

2. 実験結果

a. II-a群（腱内血管が豊富な部位での腱内血行遮断群）の結果

(1) 肉眼的所見

腱鞘温存群および腱鞘切除群とも2週後には結紮間部はやや浮腫状となり、腱鞘温存群では滑液鞘が軽度肥厚している。3週後になると滑液鞘の肥厚は進み、腱鞘温存群では結紮間で癒着を起し始めているのが認められる。なお遠位結紮部より末梢での滑液鞘の肥厚もみられる(図5)。4週後には腱は光沢を失い、結紮部において部分断裂がみられるようになる。5~6週後には腱は黄色味をおびた灰白色を呈し、近位あるいは遠位の結紮部近くで断裂を起こすものが多い。断裂腱の断端部は周囲と癒着を生じている。断裂していないものでは、腱は肥厚した滑液鞘と癒着を生じている。8週後にはほとんどの腱が断裂し、近位断端は退縮し、遠位断端は周囲と癒着している。腱鞘温存群では、腱鞘腔は増殖した癒着組織で埋まっている。

(2) 組織学的所見

腱鞘温存群および腱鞘切除群ともに2週後で部分的に個々の腱線維の不明瞭化や、腱細胞の核の濃縮が起きてくる(図6)。3週後になると上記の変化が進み、なかには腱線維の変性断裂を起しているのがみられる。これは腱内部での変化であって、epitenonの断裂は認めない。すなわち中心部壊死の像を呈している。4週後には2~3週後にみられる変化が広範囲におよび腱結紮部近くでは腱は変性壊死に陥っている。5~6週にかけては腱の多くの部分が断裂している。個々の腱線維の輪郭はさらに不明瞭となり、腱細胞の核も減少している。

b. II-b群（腱内血管が認められない部位での腱内血行遮断群）の結果

(1) 肉眼的所見

腱鞘温存群および腱鞘切除群ともに、3週頃まではほとんど変化はない。5週後になると結紮間部は腱の

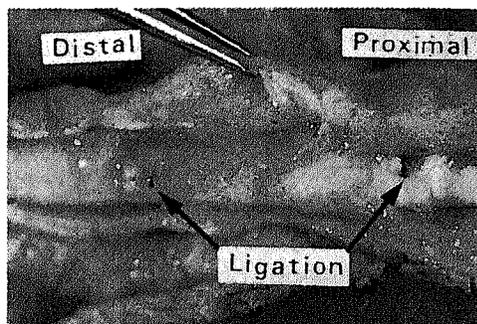


図5

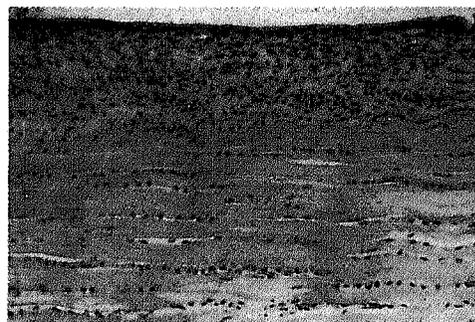


図6

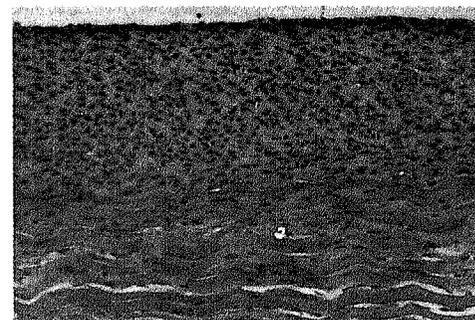


図7

図5 II-a群。腱鞘温存群で術後約3週経過。著明な癒着を生じている。

図6 II-a群。腱鞘温存群で術後2週経過。図の上約1/3が肥厚したepitenonである。腱線維の輪郭は不明瞭になっている。

(H-E ×100)

図7 II-b群。腱鞘温存群で術後7週経過。図の上半分が著明に肥厚したepitenonである。腱線維の輪郭が不明瞭になっている。

(H-E ×100)

損傷腱修復に関する実験的研究

光沢が減じ、白っぽく変色している。7週後には腱は灰白色を呈し、萎縮している。遠位結紮部より遠位側では怒張した縦走血管がみられる。腱鞘温存群では滑液鞘が肥厚し、特に腱結紮部近くで著しいが、周囲組織との癒着はみられない。9週後には腱は遠位結紮部近くで断裂し、近位側断端は退縮している。遠位側断端は周囲組織と癒着を生じている。腱鞘温存群に比べ、腱鞘切除群の方が断端部の癒着は高度である。しかし遠位結紮部より遠位側では、腱の性状は正常で周囲との癒着もない。11週後では、9週後と同様、腱は遠位結紮部近くで断裂しているが、遠位結紮部より遠位側でも、腱は肥厚した滑液鞘と癒着を起し始めている。

(2) 組織学的所見

腱鞘温存群および腱鞘切除群のいずれも、2週後には epitenon が軽度肥厚している。3～5週では腱細胞の核の濃縮変形、腱線維の変性断裂などが部分的にみられる。7週後には、epitenon の増殖肥厚はより著明となり、個々の腱線維の輪郭も不明瞭となってい

る(図7)。9週後には腱は各所で断裂し、腱細胞の核も数を減じている。11週後の所見は9週後の所見とほぼ同じである。

以上の実験結果をまとめたのが表1である(表1)。

C. 実験(Ⅲ): 損傷腱の修復過程の観察

1. 実験方法

術前の処置および実験部位は実験(Ⅱ)と同じで、その部位で腱の掌側に部分的横切を加えた群である(図8)。これをさらに、1) 血行温存・腱鞘温存群、2) 血行温存・腱鞘切除群、3) 血行遮断・腱鞘温存群、4) 血行遮断・腱鞘切除群の4群に分け、各々の条件下で第3足指深指屈筋腱の掌側に部分的横切を加え、2週後より9週後まで、1週ないし2週毎に屠殺して損傷部位の修復過程を観察した。術後外固定は施行しなかった。

2. 実験結果

a. Ⅲ-a群(腱内血管が豊富な部位で腱に部分横切を加えた群)の結果

1) 血行温存・腱鞘温存群

表1 腱内血行遮断後の腱の変性

	血管の豊富な部位 (Ⅱ-a群)	血管の認められない部位 (Ⅱ-b群)
	血行遮断	血行遮断
腱鞘温存群	早期に変性 腱断裂(+)	変性はⅡ-a群に比べて遅延 腱断裂(+)
腱鞘切除群	早期に変性 腱断裂(+)	変性はⅡ-a群に比べて遅延 腱断裂(+)

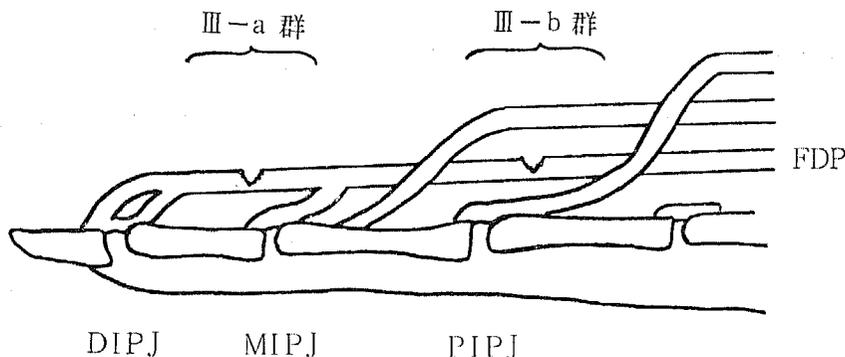


図8 実験(Ⅲ). 深指屈筋腱に部分横切を加えた部位を示す。

DIPJ: 遠位指節間関節 MIPJ: 中間部指節間関節
PIPJ: 近位指節間関節 FDP: 深指屈筋腱

(a) 肉眼的所見

1～2週ですでに幼若な肉芽組織が横切部を埋めかけている。周辺の滑膜は充血、肥厚しているが癒着は認められない。腱の光沢も良好である(図9)。3～4週後には、肉眼的には損傷部位の識別が困難なほどに癒着がみられず、修復がかなり進んでいる。8週後には、損傷部はほとんど健常部と同じ様相を呈している(図10)。

(b) 組織学的所見

1～2週では、横切部周辺の肥厚した epitenon 由来の細胞や、endotenon 由来と思われる細胞が腱の断端間に侵入し、gap を埋めている(図15)。腱の断端近くの細胞は腱の長軸に対して垂直方向に配列している(図16)。3週を過ぎると、増殖した腱の断端間の線維芽細胞は、腱の長軸と平行に配列し始めるが、垂直に並ぶものもある。膠原線維の形成も始まる(図17)。5週後には膠原線維が発達してきて、腱の断端間での細胞成分および膠原線維の配列は、腱の長軸に平行となる(図18)。8週後には腱の断端間の癒合は強固となり、細胞成分が減少している。新たに形成された膠原線維は、健常部に比べてやや細い。

2) 血行温存・腱鞘切除群

(a) 肉眼的所見

2週後には腱の周囲組織は充血、肥厚している。横切部の腱断端間は、幼若肉芽組織で埋まっている。3～4週では腱鞘温存群と同様、横切部の識別が困難なほどに修復は進んでいる(図11)。7～9週では横切部の修復はほぼ完了しているが、周囲組織と癒着を生じているものがある。この癒着は、あるものは線維状、あるものは薄膜様であるが、いずれも軽度で腱の滑動性を妨げるほどのものではない(図12)。

(b) 組織学的所見

2週後には epitenon および endotenon 由来と思われる増殖細胞により、横切した腱の断端間は埋められているが、細胞の配列は不規則である。3～4週後には増殖細胞の配列は腱長軸に平行となり、膠原線維の形成もみられる。5～7週にかけて癒合は強固となっていく。9週後には、腱断端間は新しく形成された膠原線維で強固に連結されている。

3) 血行遮断群

(a) 肉眼的所見

腱鞘温存群および腱鞘切除群ともに、2週後ではいまだ滑液鞘の肥厚は著明ではない。4週後になると、結紮間部の滑液鞘は肥厚して癒着を生じ、近位結紮部

近くで断裂を起こすものが現れる。6～7週後には癒着は高度となり、断裂を起こしているものが多い。断裂を起こしたものでは、断端はいずれも周囲組織と癒着している。8週後にはすべての腱が断裂し、断端では癒着を生じている(図13)。なお腱鞘温存群の中で、2本の結紮糸のうち遠位側の結紮糸が脱落しているものが1例あった。その腱は癒着なく修復されており、横切部も肉眼的には血行温存・腱鞘温存群の場合とはほぼ同様に、健常部との識別が困難である(図14)。この例で、結紮糸が脱落した時期は不明であるが、末梢側からの血流供給はある時期からは再開されたものと考えられ、損傷周囲の条件も血行温存・腱鞘温存群と似た状態に戻ったものと見なされる。

(b) 組織学的所見

2週後では、横切部の腱断端間はいまだ増殖細胞で満たされていない(図19)。4週後には横切部の近くで腱が変性断裂しているのがみられる。横切部は周囲より侵入した肉芽組織によって修復され、高度な癒着を生じている。断裂を起こしていない腱でも epitenon が著明に肥厚し、周囲組織と癒着している。肥厚した epitenon の中には小血管の増生がみられ、横切部も癒着によって修復されている。8週後のものでは、すべての腱が変性断裂を起こしている。

b. III-b群(腱内血管が認められない部位で腱に部分横切を加えた群)の結果

肉眼的には、血行温存群では腱鞘温存群と腱鞘切除群の間に大きな差は認められず、ともに周囲組織との癒着はなく、順調に修復が進んでいる。組織学的にみると、術後5週を経ても横切部の腱断端部の細胞配列は腱の長軸に対して垂直方向にあり、膠原線維の形成も乏しいなどの点が認められ、III-a群(腱内血管が豊富な部分における群)で血行を温存した場合に比べると、修復過程は遅延している。

血行遮断群のうち、腱鞘温存群の術後5週では epitenon の肥厚が著しいが、腱鞘腔は比較的保たれ、癒着なく修復が進んでいる(図20)。これに反して、III-a群において血行を遮断した場合は、同じ時期に腱の断裂や周囲組織との癒着が生じていた。したがって腱内血管が認められない本群では、血行を遮断しても腱鞘が温存されている限り、腱の自己修復力は保たれているようである。

血行遮断・腱鞘切除群においては、腱は周囲組織と癒着を生じており、腱の断裂部も腱周囲組織に由来する肉芽組織が侵入して、これを埋めている像が観察さ

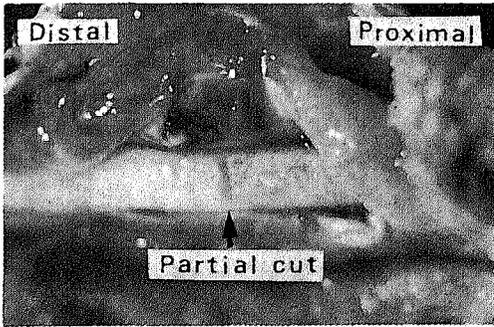


図 9

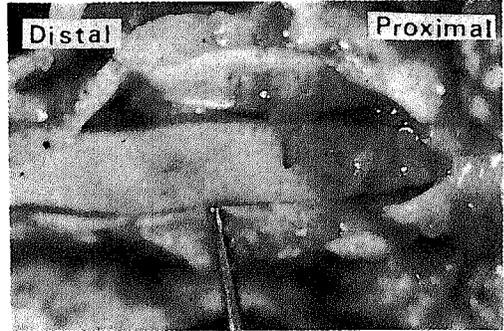


図10

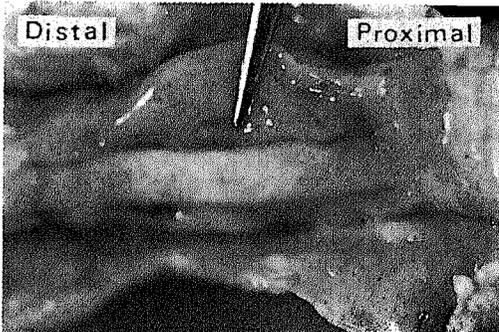


図11

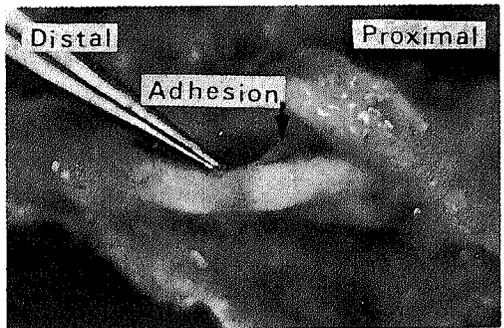


図12

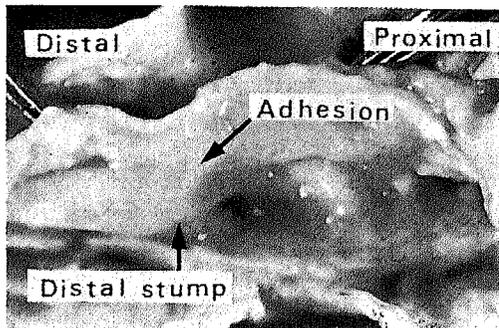


図13

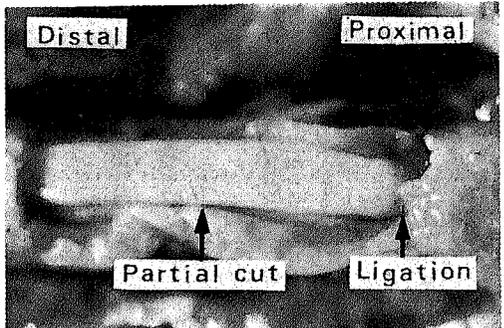


図14

- 図 9 III-a 群。血行温存・腱鞘温存群で術後約 1.5 週経過。矢印で示した部分が部分横切を加えた所である。周囲との癒着なく修復が進んでいる。
- 図10 III-a 群。血行温存・腱鞘温存群で術後 8 週経過。摂子で示した所が横切部であるが、肉眼的には健康部との識別は困難である。
- 図11 III-a 群。血行温存・腱鞘切除群で術後 4 週経過。摂子で示した所が横切を加えた部位である。血行温存・腱鞘温存群と同様に横切部の識別は肉眼的には困難である。
- 図12 III-a 群。血行温存・腱鞘切除群で術後 7 週経過。横切部は周囲組織と軽度の癒着を生じている。
- 図13 III-a 群。血行遮断・腱鞘温存群で術後 8 週経過。腱は断裂し近位側断端は退縮、遠位側断端は周囲と癒着を生じている。
- 図14 III-a 群。血行遮断・腱鞘温存群で術後 6 週経過。遠位側の結紮糸が脱落したものである。矢印で示した所が横切部であるが、癒着なく修復されている。

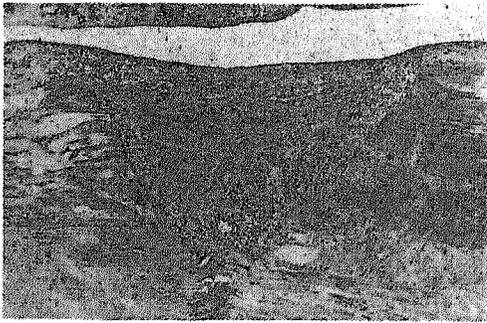


図15

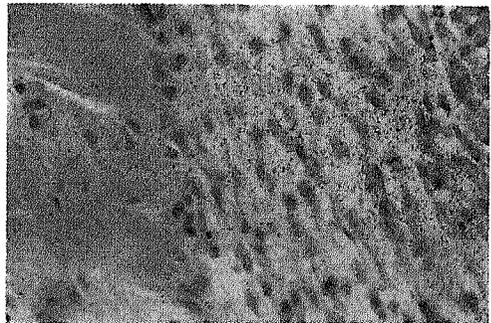


図16

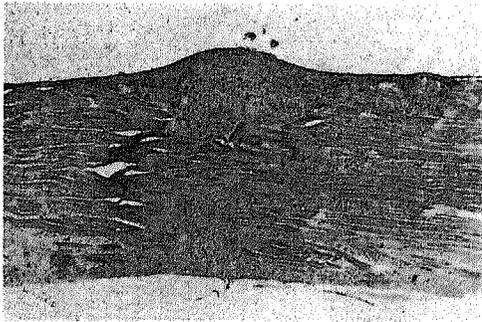


図17

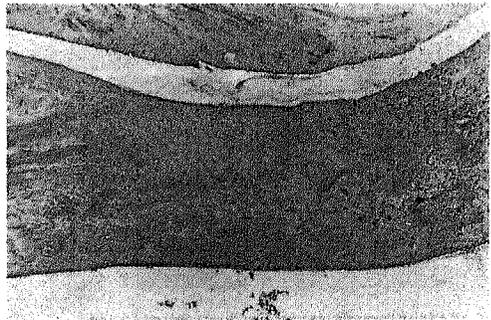


図18

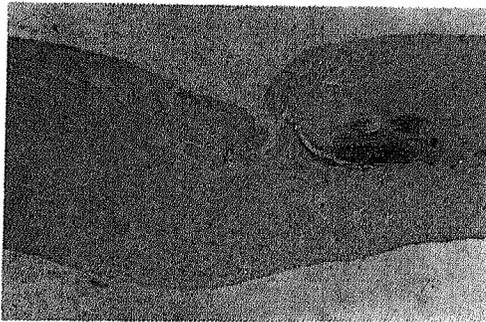


図19

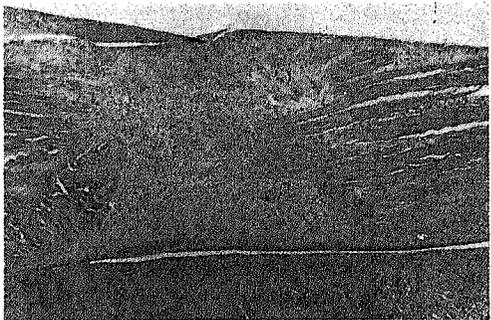


図20

- 図15 Ⅲ-a群。血行温存・腱鞘温存群で術後約1.5週経過。横切部の腱断端間はすでに増殖した細胞で埋まっている。最上部にみられる腱鞘との間に癒着は生じていない。(H-E ×20)
- 図16 図15の腱断端部の強拡大図である。図のほぼ左半分が腱断端部、右半分が増殖した細胞である。増殖細胞は腱の長軸に対して垂直方向に配列している。(H-E ×200)
- 図17 Ⅲ-a群。血行温存・腱鞘温存群で術後3週経過。腱断端間は増殖細胞で埋まり、癒着なく修復が進んでいる。(H-E ×20)
- 図18 Ⅲ-a群。血行温存・腱鞘温存群で術後5週経過。図のほぼ中央部が腱断端間である。癒着なく修復は進み、新生膠原線維が腱の長軸と平行に配列している。上端にみえるのは腱鞘である。(H-E ×20)
- 図19 Ⅲ-a群。血行遮断・腱鞘切除群で術後2週経過。腱断端間はまだまだ増殖細胞で満たされていない。(H-E ×20)
- 図20 Ⅲ-b群。血行遮断・腱鞘温存群で術後5週経過。横切部は図の中央で、増殖細胞で埋まり、癒着なく修復されている。epitenonの肥厚が著しいが腱鞘腔は保たれている。(H-E ×20)

表 2

損傷腱の修復

	血管の豊富な部位 (Ⅱ-a群)		血管の認められない部位 (Ⅱ-b群)	
	血行温存群	血行遮断群	血行温存群	血行遮断群
腱鞘温存群	癒着なく修復	腱断裂や高度の癒着 修復力の障害	癒着なく修復 Ⅱ-a群の血行温存・腱鞘温存群に 比べ修復過程が遅延	左に同じ
腱鞘切除群	軽度の癒着を生じて いるものもある	上に同じ	上に同じ	高度の癒着 修復力の障害

れ、上記腱鞘温存群との間にはかなりの差が認められた。

以上の実験結果をまとめたのが表2である。

Ⅴ 考 察

A. 屈筋腱の腱内血行について

ニワトリの足指屈筋腱は解剖学的にヒトの手指屈筋腱に類似しているため⁶⁾⁷⁾¹⁰⁾、実験材料としてよく用いられている。実験に使用した第3足指は4つの指節よりなり、ヒトの浅指屈筋腱に相当する腱は2本あ

る。深指屈筋腱は第4指節基部に付着し、第2指節および第3指節の遠位端の volar plate に long vinculum および short vinculum がそれぞれ付着している(図21)。

ヒトの腱内血管分布に関する研究は古くから行われている。Mayer¹¹⁾は、腱内血行は主に、1) 筋肉内血管の分枝、2) paratenon, mesotenon, vincula などの周囲組織内にある血管、3) 骨や腱の付着部周辺の骨膜、の3つより供給をうけていると述べ、現在でも支持されている。Caplan ら¹²⁾は胎児や幼児の手を用い、

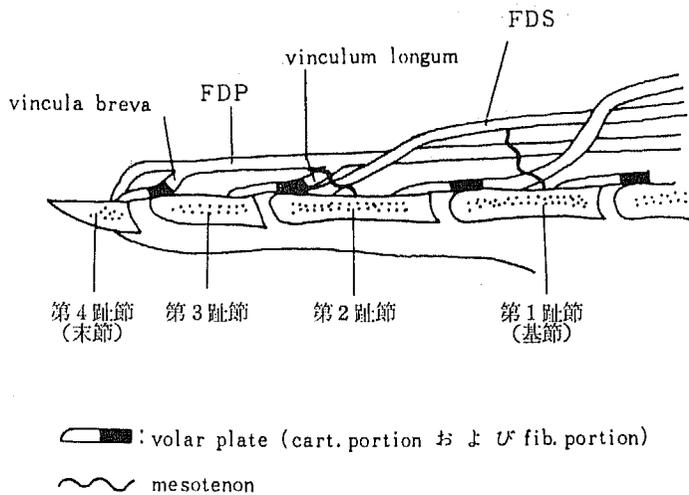


図21 ニワトリ第3足指 (鷄田ら⁶⁾より引用)

腱内においても深指屈筋腱の vincula 系の血管は背側にあり、掌側に無血管層が認められることを報告した。Lundborg¹⁹⁾は、深指屈筋腱は、1) 手掌および滑液鞘反転部 mesotenon からの血管系、2) long vincula からの血管系、3) short vincula からの血管系、以上の3つの血管系による分節的供給をうけており、これらの血管系の相互間においても、分節的な無血管域が存在すると述べている。そして彼は、腱の無血管域は血管の豊富な部位と異なり、滑液によって栄養されていると推測している。松井ら⁸⁾は年齢による血管分布の差を述べ、Lundborg のいう分節的な無血管域の存在は、年齢によって異なると述べている。これらの報告をまとめてみると次のようになる。ヒトの深指屈筋腱では、主として滑液鞘反転部、long vinculum、short vinculum から、そしてわずかではあるが腱の骨付着部からの血管供給をうけ、これらは主として分節的に供給されている。そして掌側には無血管層が存在し、年齢によってこの血管分布は変化してくる。

ところで前述したごとく、ニワトリの屈筋腱はヒトの屈筋腱と解剖学的構造が類似しているわけであるが、正常腱の血管分布についての報告は少ない。著者の実験結果では、深指屈筋腱の腱内血管は、第2指節中央部より遠位側では、腱の骨付着部、long vinculum、short vinculum を介して供給されていた。MP 関節と第2指節中央部との間では、腱内血管は造影されなかった。これらの事実は、墨汁注入標本における腱の横断面の組織学的な観察でも確認された。堀ら¹⁴⁾の報告も、第2指節中央部より遠位側では著者の実験結果と一致している。彼らは、MP 関節と第2指節中央部との間では、mesotenon を介して血管供給をうけていると述べているが、これも途中で途絶し、long vinculum から供給される血管との間に無血管域が存在すると報告している。前述した本研究における予備実験の結果より、造影剤として使用した墨汁粒子の大きさは、ニワトリの赤血球の大きさよりもはるかに小さく、造影剤としては適当と考えられる。血管造影上血管が造影されていない領域は、完全に無血管域であるとは断言できないが、組織学的検索の結果と照合すると、少なくとも血管分布は極めて乏しいものといえる。西原¹⁵⁾は、ニワトリの足指遠位部の血管は、比較的血管の少ない骨膜と関節包の血管からと、short vinculum からの豊富な血管により供給され、血管は腱の背側に主にみられ、掌側には比較的少ない

と述べている。

以上著者の実験結果ならびに諸家の報告をまとめてみると、ニワトリの腱内血管分布は、腱の解剖学的形態と同様にヒトと類似しているといえる。

B. 血行遮断や腱鞘切除が正常腱に

およぼす影響について

損傷腱の修復に関して、血行や滑液の果たす役割の重要性について述べた報告は、これまでにいくつか見られる³⁾⁴⁾⁶⁾¹⁰⁾。しかし正常腱において、血行を遮断したり、あるいは腱鞘を切除し、滑液路を遮断することによって生じる腱への影響について調べた報告は、いままでのところ見出し得なかった。著者は実験(I)においてニワトリの深指屈筋腱の腱内血管分布を知り、その結果に基づいて、血管分布の豊富な部位と、そうでない部位の2カ所で実験(II)(腱内血行遮断後の腱の変性の観察)を行った。

Eiken ら¹⁶⁾は、家兎の屈筋腱を取り出した後、膝上囊に留置したものと、もとの位置におさめたものを経時的に比較観察し、双方ともすでに1週後より中心部に壊死を生じるものが現れ、12週後には表層を除いてほとんど完全壊死に陥ったと述べている。この実験結果は、滑液のみでは腱への十分な栄養供給はできないことを示している。しかし実験に供された屈筋腱が、腱内血管の豊富な部位であるのか、乏しい部位であるのかについての記載がないので、単純に滑液性の栄養供給路を評価することはできない。一方 Mc Dowell と Snyder⁵⁾は犬を使っての実験から、滑液鞘反転部の腱の表面や、vinculum、腱鞘などの様々な部位に vascular loop pattern がみられると報告している。そして腱への栄養供給は、軟骨への栄養供給に類似していて、この vascular loop system により滑液が作られ、組織への負荷や免荷によって腱の canaliculi system に浸透して行く経路で腱は栄養されると述べている。彼は滑液の関与を重視しているが、この滑液を作るものは vascular loop system であると述べており、腱修復における血行の重要性を示唆している。

著者の実験では、腱鞘を温存したものと、切除したものと間で、腱の変性程度に著明な差がみられなかった。この事実は、腱鞘切除によって滑液経路を遮断しても、組織液の浸透によって腱はある程度の栄養供給をうけていたためと考えられる。

これに反して、血行遮断による影響は多大であった。腱内血管の豊富な部位では、2週後に腱はすでに

変性を生じ、中心部の壊死は3週後に観察された。5～6週後には多くの腱が断裂していた。血行遮断部より近位側の腱を切断していないため、屈筋の張力が腱の脆弱部に作用し、断裂を起こしたのであろう。一方腱内血管が認められない領域では、上記の変性は相当遅延して生じ、腱が断裂を起こすのも、血管の豊富な部位に比し3～4週間遅れていた。

著者の実験結果より、ニワトリの深指屈筋腱の主たる栄養経路は部位によって異なり、血管分布の豊富な部位では血行依存性が高く、血管分布の乏しい部位では滑液依存性が高いのではないかと考えられる。

C. 血行遮断や腱鞘の切除が損傷腱の

修復過程におよぼす影響について

損傷腱の修復過程に関する基礎的研究はこれまで数多くなされているが、腱自体にも修復能力があるという考えが最近の趨勢である³⁾⁻⁷⁾¹⁷⁾。著者は種々の条件下で損傷腱の修復過程を観察した。その結果、血管の豊富な部位では、腱内血行を温存した群に良好な腱修復がみられ、その中でも特に腱鞘を温存した群は、周囲組織との癒着もなく、腱自体の修復力のみにより損傷部は修復された。

血行温存群の中でも、腱鞘を切除したものの中には、軽度の癒着を起こしたものがみられたが、腱の滑動性を阻害しない程度であった。このような例では、腱修復過程において、周囲組織の修復への関与よりも、腱自体の修復力がまさっていたことを示すものである。

血行遮断群においては、腱鞘温存群、腱鞘切除群ともに損傷腱は断裂したり、周囲組織と強固な癒着を起こしたりしており、良好な滑動性をもって治癒したものは全くみられなかった。

これに対し、血管が認められない部位での損傷腱の修復過程は、血管豊富な部位に比しておもむきを異にしている。すなわち血行温存群では、腱鞘温存群、腱鞘切除群ともに周囲組織と癒着なく修復が進んでいるが、その過程は血管の豊富な部位に比して相当遅延している。さらには、血行遮断群の中でも腱鞘温存群では、腱自体の修復力により修復がなされている。実験(I)で行った血管造影の結果では、第2指節のほぼ中央部からMP関節までの範囲では、肉眼的に腱内血管は確認できなかったが、これは腱内血管の存在を全く否定し得るものではない。この部位では、血行温存群は周囲組織との癒着なく腱の修復が進んでいるものの、修復過程が遅延していることや、血行を遮断し

ても腱鞘を温存すれば周囲組織との癒着なく腱の修復が行われることなどを考え合わせると、この領域における腱への栄養供給路としては血行路の関与も否定できないが、滑液による栄養がより大きな役割を占めていると考えられる。

古くはMayer¹¹⁾が腱手術に際して血行温存の必要性を説いている。鶴田ら⁶⁾は、腱断端間を埋める肉芽組織はepitenonより供給され、その源泉はmesotenonにあり、これは腱の血行と深い相関があると述べている。そして癒着なく一次修復を得る条件として、atraumaticな操作、腱鞘の温存、腱縫合部に緊張がかからない肢位での固定をあげている。

次に腱鞘の処置について、癒着防止という面から考えてみる。腱鞘の処置については、相反する二つの考えがある。腱鞘は移動性がないため、これと癒着を生じた場合は予後不良となるので切除すべきであるという意見¹⁸⁾と、他方腱鞘は最も反応性の少ない組織であるから温存すべきであるという意見¹⁹⁾がある。著者の実験では、血管の豊富な部位で血行を遮断した場合、腱鞘温存、腱鞘切除にかかわらず腱は癒着を生じたり、断裂を起こしたりした。一方血行を温存した群では、腱鞘温存群が癒着なく治癒していたのに対して、腱鞘切除群では機能上問題とならない程度の軽度の癒着を生じているものがあつた。すなわち、血管の豊富な部位で、血行遮断という腱そのものへの侵襲が大きい場合には、たとえ腱鞘が温存されていても腱との癒着は避けられないが、血行障害などの腱への損傷が軽微な場合は、腱鞘は癒着防止のbarrierとしての役割もになっていると考えられる。

VI 結 語

1. ニワトリの第3足指深指屈筋腱の腱内血管分布は、第2指節中央部より末梢側およびMP関節より中枢側で豊富にみられ、両者の間では、動脈内に注入した墨汁によって造影される腱内血管は認められなかった。

2. 深指屈筋腱を結紮して血行を遮断し、腱の変性を観察した結果、血管の豊富な部位では、血管が認められない部位に比して早期より変性を起こし、断裂を生じた。しかし腱鞘温存群と腱鞘切除群との間では、いずれの部位においても著明な差はみられなかった。

3. 損傷腱の修復過程の観察の結果では、腱内血管の豊富な部位では、血行・腱鞘ともに温存したもの

が、腱自体の修復力により周囲組織との癒着なく修復された。血行を温存し、腱鞘を切除したものでは、周囲組織と癒着を生じたものがみられた。しかしこの癒着は軽度で、腱の滑動性を阻害するほどのものではなかった。一方血行遮断群においては、修復は遅延し、強固な癒着を生じたり断裂を起こすなど、腱固有の修復力が障害されていた。

腱内血管が認められない部位でも、血行温存群に周囲組織との癒着のない修復が得られていたが、腱内血管の豊富な部位に比して修復過程が遅延した。また血行遮断群の中でも、腱鞘を温存したものでは周囲組織との癒着なく修復は進んだ。

4. 腱への栄養供給路としては、腱内血行路と腱鞘内滑液路の二つが考えられるが、その主たる経路は腱の部位によって異なると思われる。

5. 屈筋腱の腱鞘は、血行障害などの腱への損傷が大きい場合には、これが温存されていても腱と周囲組織との癒着は避け得ない。しかし腱の損傷が軽微な場合は癒着防止の働きを有する。

稿を終わるにあたり、御指導、御校閲を頂いた藤本憲司教授に深謝いたします。

また直接の御指導を頂いた当教室の松井猛講師、並びに本実験に御協力頂いた鳥海宏医学士に感謝いたします。さらに御助言を頂いた本学病理学教室那須毅教授、並びに解剖学教室志水義房教授に感謝いたします。

本論文の要旨は第22回日本手の外科学会総会(昭和54年5月)において発表した。

文 献

- 1) Potenza, A. D.: Tendon healing within the flexor digital sheath in the dog. *J. Bone Jt Surg.*, 44-A: 49-64, 1962
- 2) Potenza, A. D.: Critical evaluation of flexor-tendon healing and adhesion formation within artificial digital sheath. *J. Bone Jt Surg.*, 45-A: 1217-1233, 1963
- 3) Lundborg, G.: Experimental flexor tendon healing without adhesion formation - A new concept of tendon nutrition and intrinsic healing mechanisms. *Hand*, 8: 235-238, 1976
- 4) Matthews, P. and Richards, H.: The repair potential of digital flexor tendons. *J. Bone Jt Surg.*, 56-B: 618-625, 1974
- 5) McDowell, C. L. and Snyder, D. H.: Tendon healing: An experimental model in the dog. *J. Hand Surg.*, 2: 122-126, 1979
- 6) 鶴田征夫, 山屋彰男, 矢部 裕: 指屈筋腱損傷の修復と滑走に関する実験的研究, 第1報: 滑膜性腱鞘内における縫合腱の態度. *日整会誌*, 48: 107-127, 1974
- 7) 梅田弘敏: 指屈筋腱の自己修復機序に関する実験的研究. *日整会誌*, 52: 917-929, 1978
- 8) 松井 猛, Merklin, R. J., Hunter, J. M.: 人手指屈筋腱の微小血管学的研究, 正常腱の血管分布および腱や vincula への損傷が腱血管分布に及ぼす影響について. *日整会誌*, 53: 307-320, 1979
- 9) Bruner, J. M.: The zig-zag volar-digital incision for flexor-tendon surgery. *Plast. reconstr. Surg.*, 40: 571-574, 1967
- 10) 伊藤恵康: 指屈筋腱損傷の修復と滑走に関する実験的研究, 第3報: 滑膜性腱鞘内における修復と血行について. *日整会誌*, 50: 619-629, 1976
- 11) Mayer, L.: The physiological method of tendon transplantation. *Surg. Gynec. Obstet.*, 182: 182-197, 1916
- 12) Caplan, H. S., Hunter, J. M. and Merklin, R. J.: In "Symposium on Tendon Surgery in the Hand". A. A. O. S., pp. 48-58, C. V. Mosby Co., St. Louis, 1975
- 13) Lundborg, G.: The vascularization of human flexor tendons within the digital synovial sheath region - structural and functional aspects. *J. Hand Surg.*, 2: 417-427, 1979
- 14) 堀 司郎, 津下健哉, 生田義和: 第22回日本手の外科学会総会口演. 東京, 1979
- 15) 西原建二: 腱の再生, 癒着に関する研究, 第4報: 指屈筋腱停止部の血行に関する実験的研究. *日整会誌*, 52: 1625-1637, 1978
- 16) Eiken, O., Lundborg, G. and Rank, F.: The role of the digital synovial sheath in tendon grafting. *Scand. J. Plast. reconst. Surg.*, 9: 182-189, 1975
- 17) 石井清一, 梅田弘敏: 整形外科 MOOK No. 4 手指屈筋腱の損傷, 津下健哉編, pp. 53-56, 金原出版, 東京, 1978
- 18) Verdan, L. E.: Primary repair of flexor ten-

損傷腱修復に関する実験的研究

- dons. J. Bone Jt Surg., 42-A : 647-657, 1960
- 19) Peacock, E. E. : Some technical aspects and results of flexor tendon repair. Surgery, 58 : 330-342, 1964

(54. 8. 20 受稿)