

Zone II 屈筋腱断裂修復後の後療法の特徴に関する一考察

－ 3 週間固定法と Kleinert 変法の経時的関節可動域の比較－

飯塚 照史^{1,*}，渡邊 健太郎²⁾，村上 恒二³⁾

キーワード (Key words) : 1. 屈筋腱断裂 (flexor tendon rupture)
2. クライナート変法 (modified Kleinert method)
3. 固定法 (immobilization method)

Zone II 屈筋腱断裂後の後療法について，3 週間固定法と Kleinert 変法における獲得可動域の推移について，34 例 35 指 (3 週間固定法：20 例 20 指，Kleinert 変法：14 例 15 指) を対象とし調査した。最終成績を群別に分けて検討した結果，3 週間固定法，Kleinert 変法ともに，近位指節間関節，遠位指節間関節の伸展方向への改善が良好な成績へと結びつく要因であった。また，Kleinert 変法の成績良好例では遠位指節間関節での伸展可動域回復が著明に認められ，深指屈筋腱の単独滑走回復の重要性が示唆された。

以上から，早期運動療法の利点を 3 週間固定法に活かし良好な成績を得るには，屈曲可動域を維持しながら自動伸展あるいは他動伸展運動での回復を図り，可及的早期に深指屈筋腱の独立した滑走を促進させる事が推奨された。

はじめに

手指屈筋腱断裂の治療において，とりわけ治療困難な部位として Zone II があげられる (図 1)。これは，ゆとりのない線維性あるいは靭帯性腱鞘の中を，基節骨レベルでは浅指屈筋腱 (以下，FDS) と深指屈筋腱 (以下，FDP) が上下に走行し，中節骨レベルに至ると交叉して走行しており解剖学的に癒着が生じやすい構造であることに起因する¹⁾。また，腱損傷の原因としては，鋭利あるいは鈍的なものでの断裂，停止部裂離骨折による皮下断裂，急激な外力による裂離などがある²⁾。Zone II 損傷のほとんどは開放損傷であり，手指屈筋腱断裂における Zone II 損傷は治療上最も困難を伴う部位となっている³⁾。

一般的に，腱の癒合には 12 週程度が必要とされ，縫合部周囲組織からの血管の浸入により治癒していくという外的環境による治癒過程 (extrinsic healing) と，腱内部の血行路の再開により治癒していく過程 (intrinsic healing) という 2 つの治癒過程が明らかにされている。実験的には，intrinsic healing のみでの腱癒合が可能とされ，周囲との癒着も起こらないことが明らかとなっている⁴⁻⁶⁾。しかし，臨床例においては，腱滑走床や腱鞘，

あるいは皮膚などの開放損傷を伴い，intrinsic healing に加え extrinsic healing の治癒機転も付加されることから，腱と周囲組織での癒着が生じる事が滑動性を要求される腱損傷の治療を困難とする要因となっている。その

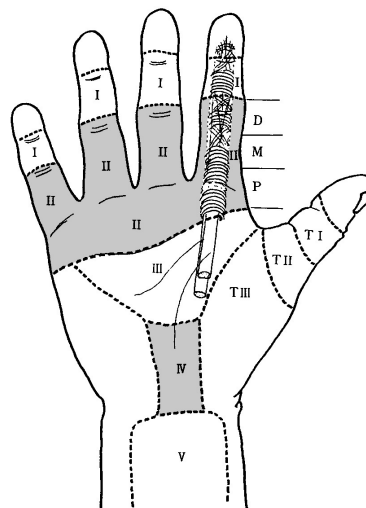


図 1. 屈筋腱 Zone 分類 (文献 1 より引用)
Zone II 部は，浅指屈筋腱と深指屈筋腱が伴走し，靭帯性腱鞘に囲まれる。

・ Characteristic of postoperative treatment after repair of flexor tendon rupture in Zone II
- Comparison between 3 weeks immobilization and modified Kleinert method in the progress of range of motion -
・ 1) 広島大学大学院医学系研究科保健学専攻 2) 名古屋掖済会病院整形外科 3) 広島大学大学院保健学研究科
・ *連絡先: 〒454-850 愛知県名古屋市松年町 4-6 名古屋掖済会病院リハビリテーション科
TEL 052-652-7711 (代) 内線 3145 FAX 052-652-778 E-mail: iitukate@ekisai.or.jp
・ 広島大学保健学ジャーナル Vol. 6 (1) : 81~91, 2006

ため、良好な成績を獲得するには、extrinsic healing を少なくし、intrinsic healing を促す事が理想的条件であるため、腱縫合法などの手術手技のみならず、実際に腱滑走を促す術後の後療法の重要性についても重点が置かれてきた⁷⁻⁹⁾。

現在、後療法として本邦では固定法である3週間固定法と、早期運動療法であるKleinert変法を行う施設が主流となっている^{10, 11)}。3週間固定法に関しては、腱縫合後の破断張力は縫合糸の通過部の腱細胞壊死のため1週後に著明に低下し、その後細胞レベルでの回復に伴い3週間で注意深い自動運動に耐え得る2000g以上の強度になるとしたUrbaniakら¹²⁾の研究を理論的根拠とし、各施設の術者によって適応が考慮され症例を選んで実施されている¹¹⁾。しかし、腱縫合部の離開張力を減じるための、損傷指関節屈曲位での3週間固定法ではextrinsic healingが優勢となる事で腱縫合部での周囲組織との癒着が高度となり難治性の屈曲拘縮が発生しやすいことが問題とされており、腱癒合が完成する3ヶ月以上を経過してもなお癒着が強固なものについては、腱剥離術などの二次的手術の適応となる¹³⁾。

一方、1967年に発表されたKleinert変法は、術後数日で手関節掌屈位、MP関節60度屈曲位とする背側ブロックプリントを装着し、爪先にフックを取り付け、ラバーバンドによる牽引を行い、近位指節間関節（以下、PIP関節）および遠位指節間関節（以下、DIP関節）の早期自動伸展他動屈曲運動を行い、腱周囲組織との癒着を可及的に予防するものである^{10, 14)}。自動伸展時には、FDP腱から起始する虫様筋の作用によりPIP関節およびDIP関節を伸展させると、虫様筋がFDP腱の遠位滑走を促すため、縫合部での離開張力が減弱され、再断裂を来す危険性は少ないことが理論的根拠とされている^{10, 14)}。さらにその後、Kleinert原法ではDIP関節の屈曲角度が不十分となるため、手掌面に滑車を設置するKleinert変法が提唱され、多くの施設で用いられている¹⁵⁻¹⁷⁾。

これらの後療法による治療成績の検討は主として最終時で行われており、腱滑走を術後早期から促進させるKleinert変法での優位性が明らかとなっている^{16, 17)}。しかし、臨床上治療方針の決定あるいは腱滑走の推測に有用な指標となる後療法実施中の隔週ごとの獲得可動域の推移についての先行研究は著者の渉猟しえた範囲では見当たらない。

そこで本研究では、臨床上で後療法の実質的な効果が問われる12週時点までの、3週間固定法とKleinert変法における週毎の可動域の推移について比較検討し、各週毎の明確な治療目標を探ることと各後療法の特徴について明らかにすることを目的とした。

対 象

平成14年から平成16年までの間に加療し、術後12週時点以上まで隔週ごとの経過観察が可能であったZone II屈筋腱断裂34例35指を対象とし、性別は男性23例、女性10例であった。受傷時の平均年齢は36.7歳(13～60歳)、平均追跡調査期間は142日(90～300日)であった。尚、骨折あるいは動脈損傷等の複合組織損傷を合併した症例は、腱修復以外の要因を含むため本研究から除外した。後療法毎の内訳では、3週間固定法20例20指、Kleinert変法14例15指であった。罹患指は、3週間固定法で、示指6、中指2、環指4、小指8であり、Kleinert変法では示指4、中指6、環指1、小指4であった。

FDPの縫合方法は全例津下法(図2)を用い、固定群では2-strand 12例、4-strand 8例、Kleinert変法では2-strand 9例、4-strand 4例、6-strand 2例であった。FDSの処置については、3週間固定法で両側縫合11例、片側縫合4例、放置5例、Kleinert群で両側縫合9例、片側縫合6例であった。12週経過後、腱剥離術を行ったものは、3週間固定法で6例6指、Kleinert群で3例3指であった。両群とも全例において追跡期間中での再断裂例はなかった。

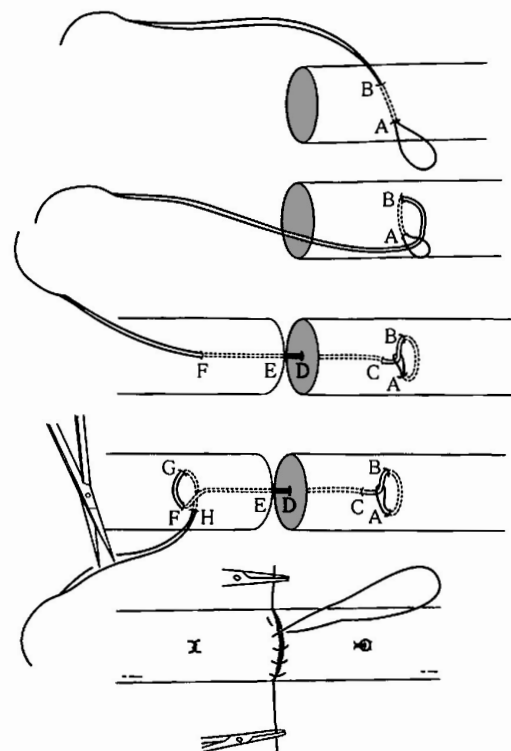


図2. 津下法(文献1より引用)

ループ針付きナイロン糸を用い、腱内を通す方法。腱間を通る糸の数で2-strand, 4-strand, 6-strandとなる。

方 法

1. 後療法について

(1) 3週間固定法

腱縫合術後、損傷指以外を伸展位に保ち、手関節30度程度掌屈位、損傷指の中手指節間関節（以下、MP関節）からDIP関節を可及的屈曲位としギプス固定を行う。3週経過後ギプスを除去し、手関節屈曲位で指関節他動屈曲運動を行い、完全屈曲位への関節拘縮を除いた上で、指関節屈曲位を保持する place holding exerciseを行う（表1）。術後4週で手関節を中間位とし、MP関節屈曲位でのPIP関節およびDIP関節の自動伸展運動を開始する。術後5週では手指関節屈曲位での手関節自動背屈訓練を開始し、MP関節からDIP関節までの自動伸展運動を行う。この際、PIP関節およびDIP関節の-30度以下の強い伸展制限症例に対しては、MP関節屈曲位での伸展矯正用アウトリガースプリントによる他動伸展療法も追加する。術後6週からは漸次、損傷指に強い抵抗とならない程度の weight pulling exerciseなどの筋力増強運動を追加する。術後7週時点でも-30度以下の伸展制限が残存している場合には、ジョイントジャックなどの伸展矯正用スプリント療法も追加する。8週でMP関節を伸展位に保持し、PIP関節およびDIP関節を自動屈曲させるMP関節ブロック運動を開始し、以降、腱縫合部の癒着の状態に応じ、PIP関節を伸展位に保持し、DIP関節を自動屈曲させるPIP関節ブロック運動を開始する。背側ギプスシャーレは原則5週までとし、運動時以外は装着させている。

(2) Kleinert 変法

症例の腱断裂部や腱鞘、滑走床の損傷状況と、これらの修復方法を必ず手術室で見学し、腱滑走の状態を確認した上で術後2～3日より本法を開始する。手関節30

度掌屈位、MP関節60度程度屈曲位とし、PIP関節あるいは、DIP関節が完全伸展できるように背側ブロックスプリントを作製する。さらにラバーバンドによる牽引装置を装着した上で、損傷指の完全屈曲が行えるよう手掌面に滑車を設置する。以後、術後3.5週前後まで、自動伸展、他動屈曲を10秒に1回程度の速度で行い、1セット10～20回を1日に5セット程度行う（図3）。その後の治療プログラムは0.5週程度遅らせて3週間固定法プログラムに準じて行う。本法における原則的な適応については、切創による新鮮例であり、腱鞘内の滑走が良好な例で、骨折、神経、血管損傷等合併損傷がなく、運動内容などが理解可能な motivation の高

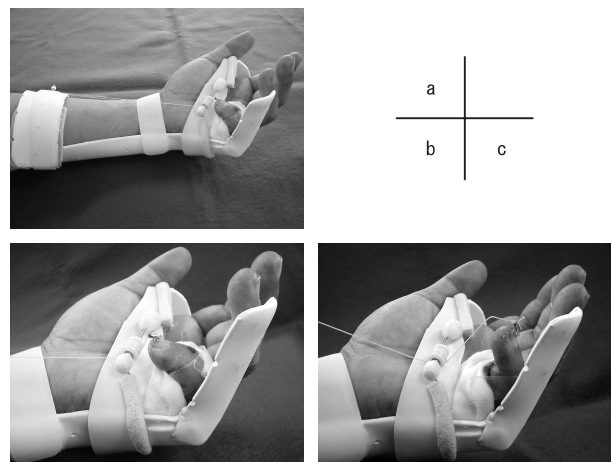


図3. Kleinert 変法

a. Kleinert 変法用スプリント

背側ブロックスプリントを装着し、ラバーバンド牽引にて屈曲位を保持

b. ラバーバンド牽引による他動屈曲

c. 自動伸展

※1. 術後3日～3.5週まで、10回/1セット×5セット/1日。

※2. Kleinert スプリント除去後は、0.5週ずつ遅らせて3週間固定法プログラムに準じて進行する。

表1. 3週間固定法プログラム

| | 3週 | 4週 | 5週 | 6週 | 7週 | 8週 | 9週 | 10週 | 11週 | 12週 |
|-------|--------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------|-------------|-----|-----|-----|
| 手指運動 | 他動屈曲 自動屈曲 | MP関節屈曲位でIP関節自動伸展 | MP～DIP関節自動伸展運動 MP関節屈曲位でIP関節他動伸展運動 | MP～DIP関節自動伸展運動 MP関節屈曲位でIP関節他動伸展運動 | 手関節中間位でMP～DIP関節他動伸展運動 Weight pulling ex. | MP関節ブロック訓練 | PIP関節ブロック訓練 | | | |
| 手関節肢位 | 手関節掌屈位 | 手関節中間位 | 手関節背屈位 | | | | 制限なし | | | |
| スプリント | | | アウトリガースプリント ※屈曲拘縮(++) | | | ジョイントジャック ※屈曲拘縮(+++) | | | | |

い症例のみを選択して実施している。

2. 検討項目

各症例について週毎の関節可動域をハンドセラピストである著者が計測記録し、比較検討のデータとした。治療成績については、臨床上腱剥離術など二期の手術適応の可否を決定する時期である12週時点の可動域を、PIP関節とDIP関節の屈曲可動域の総和から伸展不足可動域を減算するStricklandの評価法¹⁸⁾を用いて、150度以上をExcellent、120度以上150度未満をGood、90度以上120度未満をFair、90度未満をPoorに分類し、前2者を成績良好群（以下、良好群）、後2者を成績不良群（以下、不良群）とした。なお、3週間固定法、Kleinert変法ともに術後3週時点までのPIP関節および、DIP関節伸展可動域に関しては、縫合部へ離開張力を与え、再断裂の危険性があるために角度計測を実施していない。そのため、術後4週から12週までの可動域について、3週間固定法ならびにKleinert変法、あるいは良好群と不良群の差異について比較検討した。

統計学的検討にはFriedman検定を用いて、いずれの比較においても自由度8、群の数を9とし、同順位補正後のp値を求めた。多重比較検定にはTukey-kramer検定を用いて、有意水準を5%未満とした。

結 果

1. 3週間固定法およびKleinert変法の良好群、不良群の内訳と週毎の中央値について

3週間固定法では、良好群8例8指（Excellent 2例2指、Good 6例6指）であり、不良群は12例12指（Fair 1例1指、Poor 11例11指）であった。一方Kleinert変法では、良好群6例7指（Excellent 4例5指、Good 2例2指）であり、不良群8例8指（Fair 5例5指、Poor 3例3指）であった（表2）。

3週間固定法あるいはKleinert変法の各週の関節可動域については正規性を認めなかったため、中央値で表し、最小値、最大値と併せて表3に示す。3週間固定法では、DIP関節伸展可動域の4週と5週以外で良好群が屈曲、伸展可動域ともすべての関節において良好群が大きかった（表3.a）。Kleinert変法では、DIP関節伸展可動域の8週以外、屈曲伸展可動域ともすべての関節において、良好群が大きかった（表3.b）。

2. 各後療法における良好群と不良群の週毎の回復の比較

(1) 3週間固定法：良好群と不良群との比較

屈曲可動域では、PIP関節屈曲可動域で4週から12週すべてにおいて良好群が有意に大きく、DIP関節ではいずれの週にても有意差を認めなかった（ $p > 0.05$ 、

図4.a）。また、伸展可動域においては、PIP関節およびDIP関節ともに8週から12週において、良好群で有意に大きかった（ $p < 0.05$ 、図4.b）。

以上から、3週間固定法では、4週時点からPIP関節屈曲可動域が大きく、8週以降でPIP関節、DIP関節伸展可動域が回復するものが良好な成績を獲得していた。そして、4週時点でPIP関節屈曲60度以上、8週時点でPIP関節伸展-30度以内、DIP関節伸展-15度以内への回復するものが良好な成績を獲得していた。

(2) Kleinert変法：良好群と不良群との比較

屈曲可動域では、PIP関節およびDIP関節の屈曲は良好群、不良群の間に有意差は認めなかった（ $p > 0.05$ 、図5.a）。伸展可動域においてはDIP関節で5週、6週に、PIP関節で8週から12週において良好群で伸展可動域が有意に大きかった（ $p < 0.05$ 、図5.b）。

以上から、Kleinert変法では、PIP関節、DIP関節いずれの屈曲可動域も成績に影響せず、伸展可動域に関しては、DIP関節で4週以降の比較的早期に、次いでPIP関節で8週からと比較的後期に回復するものが良好な成績となっていた。そして、4週時点でDIP関節伸展-10度、8週時点でPIP関節伸展-35度以内に回復するものが良好な成績を獲得していた。

3. 後療法の違いによる関節可動域の推移について

(1) 3週間固定法良好群とKleinert変法良好群との比較

屈曲可動域の比較においては、PIP関節で4週および、6週から9週で、Kleinert変法の方が有意に大きかった。また、DIP関節屈曲可動域では両群に有意差を認めなかった（ $p > 0.05$ 、図6.a）。伸展可動域ではPIP関節で、10週、12週でKleinert群の方が有意に大きかった。DIP関節伸展可動域では、4週から7週でKleinert変法の方が有意に大きかった（ $p < 0.05$ 、図6.b）。

以上から、Kleinert変法では早期から3週間固定法よりPIP関節屈曲可動域が大きく、DIP関節伸展可動域に関しては4週から7週と比較的早期に回復し、次いで10週以降の後期にPIP関節伸展可動域が回復していた。

(2) 3週間固定法不良群とKleinert変法不良群との比較

屈曲可動域では、PIP関節およびDIP関節いずれも有意差を認めなかった（ $p > 0.05$ 、図7.a）。伸展可動域では、PIP関節伸展可動域の有意差を認めず、DIP関節伸展可動域で8週から10週でKleinert群が有意に大きかった（ $p < 0.05$ 、図7.b）。

以上から、不良群においては、3週間固定法あるいはKleinert変法もほぼ同様な可動域推移を示すが、Kleinert変法のDIP関節伸展可動域については8週から10週でのみ回復の差が認められていた。

表2. 各後療法の治療成績

| | 良好群 | | 不良群 | |
|--------------------|-----------|------|------|--------|
| | Excellent | Good | Fair | Poor |
| 3週間固定法 n=20 | 2例2指 | 6例6指 | 1例1指 | 11例11指 |
| Kleinert変法 n=15 | 4例5指 | 2例2指 | 5例5指 | 3例3指 |

※良好群の割合は、3週間固定法で40%、Kleinert変法で53%であった。

表3. 各後療法における週毎の各関節可動域中央値

a. 3週間固定法

| | | 4週 | 5週 | 6週 | 7週 | 8週 | 9週 | 10週 | 11週 | 12週 |
|---------|-----|----------------|--------------|----------------|--------------|---------------|----------------|---------------|--------------|--------------|
| PIP関節屈曲 | 良好群 | 83(60:102) | 88(64:108) | 84(73:103) | 91(77:103) | 91(80:105) | 90.5(80:105) | 93.5(86:105) | 91.5(85:110) | 93.5(86:113) |
| | 不良群 | 68.5(40:95) | 73.5(52:102) | 66.5(50:93) | 71(45:98) | 75(45:98) | 76.5(48:98) | 73(48:100) | 75.5(48:98) | 72.5(50:103) |
| PIP関節伸展 | 良好群 | -43.5(-50:-25) | -40(-55:-18) | -38.5(-55:-23) | -30(-40:-8) | -22.5(-30:-3) | -19(-30:-3) | -18.5(-30:-2) | -11.5(-20:0) | -9.5(-15:0) |
| | 不良群 | -44(-60:-25) | -43(-62:-20) | -41(-58:-17) | -41(-58:-12) | -35(-62:-20) | -32.5(-62:-18) | -30(-65:-10) | -26(-65:-9) | -27(-65:-5) |
| DIP関節屈曲 | 良好群 | 43.5(34:57) | 48(38:60) | 47(33:67) | 48.5(33:78) | 53(33:76) | 45(30:76) | 45.5(32:75) | 48.5(30:73) | 53(35:80) |
| | 不良群 | 29(15:45) | 30(17:45) | 29(10:38) | 29(20:45) | 30(5:46) | 29.5(15:50) | 31(10:45) | 32(10:45) | 30(10:50) |
| DIP関節伸展 | 良好群 | -21(-38:5) | -18.5(-30:7) | -11(-30:3) | -10(-18:-3) | -3.5(-15:-3) | 0(-15:5) | 1(-12:10) | -2.5(-10:10) | 2.5(-8:18) |
| | 不良群 | -15.5(-40:-7) | -16.5(-37:0) | -17(-36:0) | -15(-35:0) | -14.5(-46:0) | -17.5(-30:0) | -12(-38:5) | -9(-32:5) | -8(-36:7) |

※1. 単位 (°) ※2. 中央値 (最小値・最大値) の順に記載

b. Kleinert変法

| | | 4週 | 5週 | 6週 | 7週 | 8週 | 9週 | 10週 | 11週 | 12週 |
|---------|-----|----------------|--------------|---------------|--------------|-------------|----------------|----------------|---------------|--------------|
| PIP関節屈曲 | 良好群 | 102(90:106) | 102(85:111) | 102(87:111) | 106(90:111) | 103(90:110) | 102(92:110) | 103(92:110) | 104(92:110) | 107(95:115) |
| | 不良群 | 82.5(55:100) | 80(72:100) | 83.5(45:96) | 84(45:100) | 83.5(48:93) | 80(48:105) | 85(50:103) | 85(50:103) | 85(45:95) |
| PIP関節伸展 | 良好群 | -28(-59:-20) | -28(-47:-12) | -25(-47:-10) | -22(-47:8) | -15(-35:8) | -12(-18:5) | -3(-15:15) | -3(-15:15) | 0(-10:17) |
| | 不良群 | -37.5(-54:-22) | -40(-55:-12) | -36.5(-45:-4) | -31.5(-48:0) | -30(-40:-8) | -27.5(-38:-21) | -31.5(-44:-15) | -32.5(-44:-8) | -30(-37:-13) |
| DIP関節屈曲 | 良好群 | 48(36:77) | 50(35:77) | 45(35:80) | 51(35:80) | 55(45:75) | 60(34:75) | 60(36:75) | 60(35:75) | 60(40:75) |
| | 不良群 | 33.5(20:62) | 35(20:70) | 32.5(20:65) | 31(20:65) | 30(15:58) | 39(15:55) | 38.5(10:60) | 35(12:55) | 40(15:55) |
| DIP関節伸展 | 良好群 | -2(-13:5) | 0(-10:15) | -2(-5:10) | -3(-7:15) | -3(-10:15) | 0(-10:15) | 6(-10:15) | 8(-10:15) | 10(0:20) |
| | 不良群 | -12.5(-18:0) | -12(-25:0) | -10(-20:0) | -8(-15:3) | -1(-15:5) | -2.5(-10:3) | -1.5(-10:10) | -2.5(-20:8) | -5(-10:5) |

※1. 単位 (°) ※2. 中央値 (最小値・最大値) の順に記載

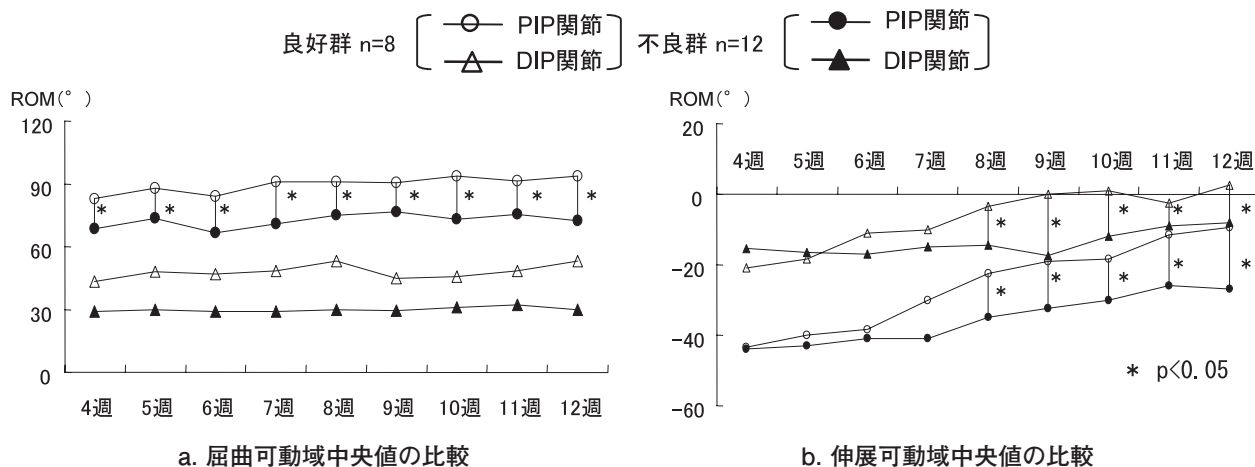
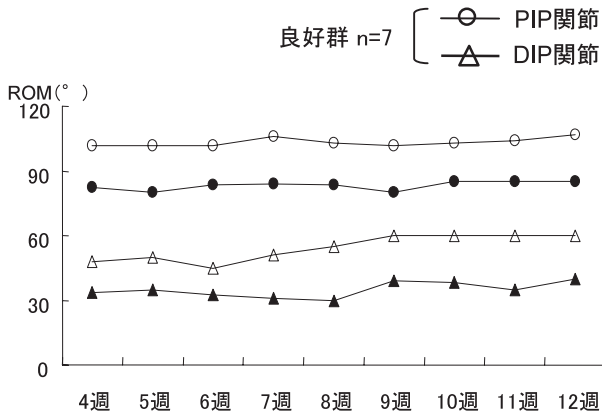
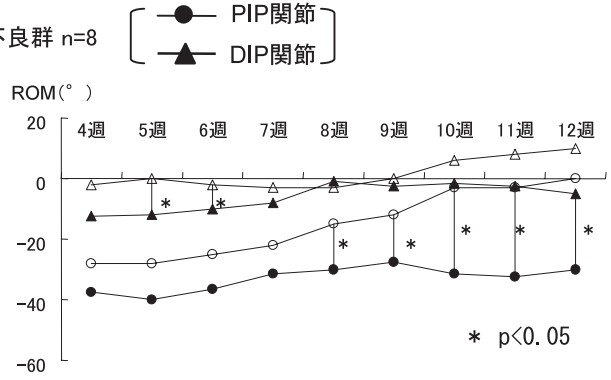


図4. 3週間固定法良好群と不良群の週毎の獲得関節可動域中央値の比較

- a. 4週から12週において、PIP関節屈曲ROMのみで良好群が有意に大きかった。
- b. 8週から12週において、PIP関節あるいはDIP関節伸展ROMの8週から12週において良好群で有意に大きかった。



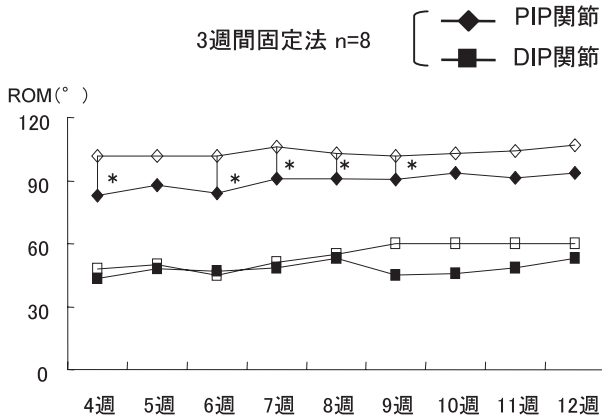
a. 屈曲可動域中央値の比較



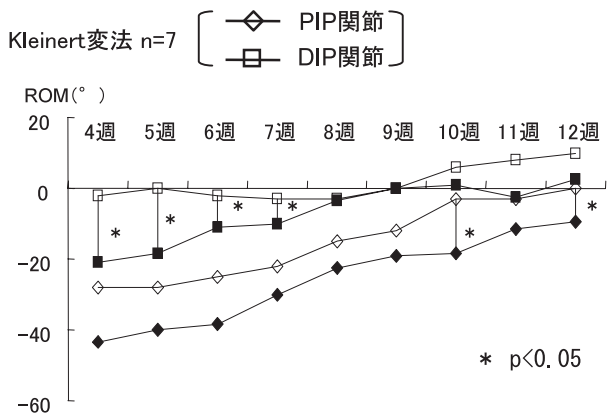
b. 伸展可動域中央値の比較

図5. Kleinert 変法良好群と不良群の週毎の獲得関節可動域中央値の比較

- a. 良好群・不良群ともに屈曲ROMは成績に影響していなかった。
- b. DIP 関節伸展 ROM で5週と6週に、PIP 関節伸展 ROM では8週から12週で良好群が有意に大きかった。



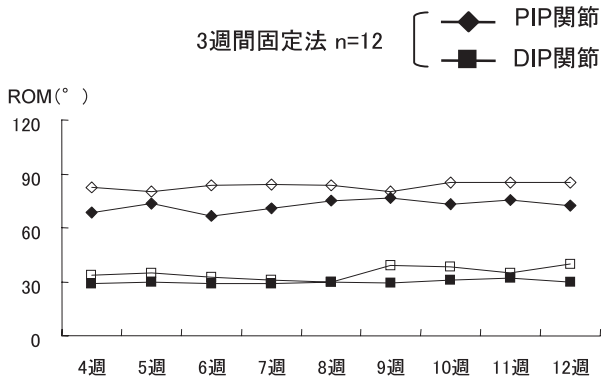
a. 良好群屈曲可動域中央値の比較



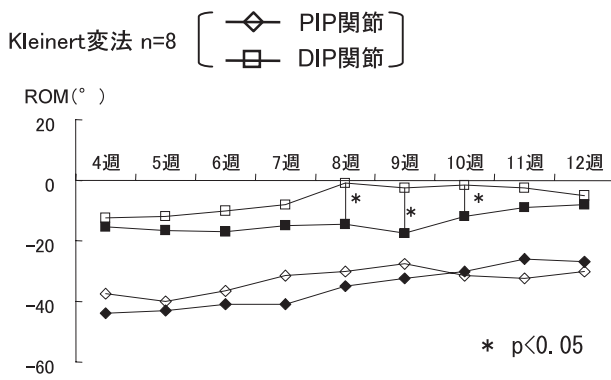
b. 良好群伸展可動域中央値の比較

図6. 3週間固定法良好群と Kleinert 変法良好群の週毎の獲得関節可動域中央値の比較

- a. 4週と6週から9週において、Kleinert 変法 PIP 関節屈曲可動域が有意に大きかった。
- b. 4週から7週でDIP 関節伸展可動域に、10週と12週でPIP 関節伸展可動域に有意差を認め、いずれも Kleinert 変法で大きかった。



a. 不良群屈曲可動域中央値の比較



b. 不良群伸展可動域中央値の比較

図7. 3週間固定法不良群と Kleinert 変法不良群の週毎の獲得関節可動域中央値の比較

- a. 屈曲可動域は両後療法間での有意差を認めなかった。
- b. 8週から10週において、DIP 関節伸展可動域が Kleinert 変法で有意に大きかった。

考 察

1. 屈筋腱の腱癒合における問題点と治療成績について

屈筋腱断裂修復後の治療については、腱の癒合を促進させると同時に腱滑走をも促すという相反する側面があり、骨折などの治療とはその様相が大きく異なる。なかでも PIP 関節から MP 関節までの Zone II では、浅指屈筋腱と深指屈筋腱が狭い靭帯性腱鞘内を通過するため、この部での腱癒合は滑走障害の原因となる。これは、臨床上縫合部のみでの intrinsic healing のみならず、周囲組織も損傷を受け extrinsic healing も同時に起こることに起因している。Peacock らは、'one wound one scar concept' と称し、腱断裂後に良好な滑走を得る困難さを説いている¹⁹⁾。したがって、Zone II における屈筋腱断裂の治療は困難を極め、1950 年代までは受傷直後に一次的端々縫合を行った症例の 70% 近くが成績不良な惨憺たる成績となっていた²⁰⁾。

これらの問題から、再断裂を防ぎ intrinsic healing による腱癒合を促すための合理的な腱修復方法と、extrinsic healing によって生ずる腱縫合部の癒着を可能な限り最小限にする早期運動療法が効果的であるというのが理想であり、現時点での結論となっている。この点で 1967 年に発表された Kleinert 変法¹⁰⁾ は上述理論を支持する合理的な方法と考えられ、早期運動療法として本邦で多用されているが、腱縫合部あるいは症例個々の状況によっては 3 週間固定法も用いらざるを得ない。3 週間固定法においては、固定により extrinsic healing による周囲組織との癒着形成を完全には防げず、早期運動療法としての Kleinert 変法よりも腱滑走の促進という点で劣ると考えられ、本研究においても同様の結果を示した。

また、本研究で Excellent と Good を合わせた良好群の割合は、3 週間固定法で 40%、Kleinert 変法で 53% であった。先行研究においては、3 週間固定法の治療成績は 73.7%、Kleinert 変法の治療成績は 53% から 98% など多数報告されている^{11, 21, 22)}。しかし Esther らによると、12 週時点での Poor 例のうち約 20% は 1 年後に Good もしくは Excellent となることを報告している²³⁾。したがって、本研究との追跡期間の違いから単純な比較は出来ない。

しかし、臨床においては 12 週時点で腱剥離術などの二期的手術適応の可否を決定しており、この時点までの後療法についての実質的な効果が問われる²⁴⁾。したがって、12 週までの可動域推移に関する検討は、各後療法における特徴と効果を把握する上で妥当な期間であり、的確な治療方針を立てていくうえで有益な情報となることから本研究の臨床的意義は大きいと考えられる。

2. 3 週間固定法の特徴

3 週間固定法については、腱縫合部への離開張力に対する配慮から患側指を屈曲位で固定するため、難治性の屈曲拘縮の発生が問題とされている¹³⁾。しかし、本研究において PIP 関節では、むしろ 60 度以上の強い屈曲位固定をとっているものが良好な成績となっていた。これについては、固定除去直後の 4 週から有意差を認めていることから、固定中の屈曲角度の不足があれば腱縫合部での Gap 形成をきたす可能性、あるいは固定による筋力低下のため自動屈曲運動による腱剥離効果が乏しいことなどが要因として推測される。

Gap 形成の問題について堀内ら¹¹⁾ は深指屈筋腱が同一の筋腹を有していることを利用し、健側指を伸展位として固定する Tension reducing position 固定による予防を提唱している。さらに、3 週間固定法における手関節屈曲位、指屈曲位で屈筋を弛緩した状態での固定は、筋萎縮を助長するものとされている²⁵⁾。そのことから固定除去後に速やかな筋力回復が起これば 4 週以降の屈曲方向への改善につながるものと考えられるが、本研究データからは推測の域を出ず今後の検討課題である。

一方、伸展可動域に関しては、8 週以降で良好群と不良群の間に有意差を認め、良好群では全例 PIP 関節は -30 度以内、DIP 関節は -15 度以内となっていた。また、本研究における良好群については、4 週から 12 週までの屈曲可動域の改善は中央値で PIP 関節 10.5 度、DIP 関節 10 度、伸展可動域の改善は PIP 関節 53 度、DIP 関節 23.5 度であり、伸展可動域の改善が著明であった。したがって、3 週間固定法における術後ハンドセラピーのポイントは、強い屈曲位固定による屈曲可動域を維持しながら 60 度以上の伸展制限を如何に改善させていくかであり、臨床上的配慮点とよく一致する。

したがって現段階では臨床上的戦略として、5 週から自動伸展運動を開始し、6 週時点から積極的な他動運動へと移行している。これは、縫合腱の癒合過程において 5~6 週で腱癒合がある程度完成する事から判断している²⁶⁾。そのため、アウトリガースプリント、あるいは当院作成のジョイントジャック等伸展矯正用スプリント²⁷⁾などを用いて屈曲拘縮の改善を図っている事は合理的であると考えられる。つまり、これらの自動あるいは他動伸展運動によく反応するものが良好な成績を獲得する可能性が高いと考えられ、本研究から、8 週時点で PIP 関節伸展 -30 度以内、DIP 関節伸展 -15 度以内に回復することが成績を分ける臨界点である可能性が示唆された。

3. Kleinert 変法の特徴について

Kleinert 変法良好群と不良群との比較では、屈曲可動域については有意差を認めなかった。これは 4 週以降

の屈筋腱滑走が成績に関わらず良好である事を示しており、本法の優位性のひとつと考えられる。

Kleinert 変法での屈曲方向への対応としては、他動運動のみであり、自動運動に比して腱滑走距離は少なく、理論上癒着防止効果は少ないと考えられる。したがって、Kleinert 変法については後述する伸展可動域の増加に伴う腱滑走の促進による屈曲可動域への影響が推測される。また、本法では固定を行わず術後早期から自動伸展運動を行っており、手指伸筋群の筋活動が拮抗筋である手指屈筋群の筋萎縮を予防した結果であるとも考えられるが、これについての先行研究はなく今後の検討課題である。

一方、伸展可動域については、DIP 関節で5週と6週に、PIP 関節で8週以降に良好群と不良群との間で有意差を認め、それぞれの週で良好群では、DIP 関節では-10度以上、PIP 関節では-35度以上となっていた。これらから術後早期からの DIP 関節の回復に対する十分な伸展運動の重要性が推測される。

先行研究においても、Kleinert 変法実施中の DIP 関節可動域の獲得が、最終成績に正の相関を与える事が報告されており²⁸⁾、本結果もこれを支持するものであった。DIP 関節可動域の回復には FDP 腱の滑走が重要であり、基節骨あるいは中節骨部の滑走床、FDP 腱の掌側を走行する FDS 腱との癒着解離が必要である。Duran ら²⁹⁾ は腱滑走が3~5 mm あれば、腱周囲組織との癒着は防げるとし、Aoki ら³⁰⁾ は早期運動による癒着の減少について組織学的に証明している。Horii ら³¹⁾ の報告では、Kleinert 変法中の FDS 腱と FDP 腱の滑走はそれぞれ 11 mm と 14 mm であり、その相対的滑走差は約 3 mm である。したがって Kleinert 変法において、FDS 腱、FDP 腱の各々の癒着解離には十分であるが、各腱の相対的滑走による癒着解離には不十分である可能性が考えられる。不良群では不十分な DIP 関節伸展運動による癒着解離の失敗も推測されるが、腱滑走を阻害する要因は、損傷要素、修復方法などが報告されており³²⁻³⁴⁾、本研究データからは直接的な原因までは特定できない。しかし、DIP 関節伸展運動の早期回復が8週以降の PIP 関節伸展可動域の回復につながるものと考えられ、可及的早期からの対応が望まれる。

これらに対して現時点では、Kleinert 変法を併用しながら、PIP 関節あるいは DIP 関節を単独に他動伸展させ、FDS 腱と FDP 腱の相対的滑走を図る Hunter/Chow 法²¹⁾、あるいは PIP 関節を伸展位にし、DIP 関節単独の自動屈曲を行う PIP 関節ブロック訓練などが FDP 腱の単独滑走に効果的であると提唱されている。しかし、いずれの方法においても再断裂の危険性が指摘されており^{21, 35)}、腱断裂後の後療法に対する十分な知識と高度なハンドセラピー技術が必要である。

4. 3週間固定法と Kleinert 変法の比較

12週時点での成績別に各後療法を比較した結果、屈曲可動域について Kleinert 変法の PIP 関節屈曲方向の改善に3週間固定法との差異が認められた。これについては、Kleinert 変法による術後早期からの自動伸展他動屈曲運動による腱滑走の促進あるいは、各後療法における筋萎縮に伴う筋力低下の差異が考えられる。しかし、本研究では3週間固定法における固定肢位の影響も示唆されているため、本結果からは推測の域を出ず、今後の検討課題である。

一方、良好群伸展可動域については Kleinert 変法良好群の DIP 関節で4週から7週にかけて、PIP 関節で10週と12週に有意差を認めた。また、不良群における各後療法の比較においても、同変法で8週から10週にかけて DIP 関節伸展可動域に有意差を認めた。これらは、Kleinert 変法の優位な特徴であると同時に3週間固定法との比較においても大きな差異であると考えられる。前述した如く、DIP 関節可動域の回復には FDP 腱の良好な滑走が不可欠であり、良好群においては FDP 腱の滑走の促進が PIP 関節伸展可動域の改善につながっているものと推測される。つまり、PIP 関節の伸展制限因子のひとつとして FDP 腱の癒着の影響が考えられ、これの解離が同関節の伸展制限の緩和につながるものであり、Kleinert 変法の優位性を説明するものであると考えられた。

5. 臨床的応用について

本研究における成績不良の要因として、3週間固定法については4週以降の PIP 関節屈曲可動域あるいは、8週以降の PIP 関節、DIP 関節の伸展可動域の回復が得られないことが挙げられた。前者については、固定肢位の影響とともに屈筋腱の基節骨レベルでの癒着を示すものであり、これの除去が8週以降 PIP 関節、DIP 関節の伸展可動域の改善につながるものである事が示唆される。これらに対して、MP 関節をブロックし、基節骨レベルでの屈筋腱滑走を促す MP 関節ブロック訓練は有効であると考えられ、可及的早期からの導入が望まれる。

また、Kleinert 変法においては、PIP 関節、DIP 関節の伸展可動域の改善が得られないことが不良な成績の一因となっており、術後早期からの自動伸展訓練の重要性が示唆されると同時に、更に早期からの DIP 関節の回復がより良好な成績へつながる可能性も示唆された。これは、3週間固定法にも見られる“浅指屈筋腱の手”(図8)を説明するものであり、臨床上の所見と一致する。以上からいずれの後療法についても、屈筋筋力の強化あるいは、FDS 腱、FDP 腱の単独での滑走が重要であり、現在用いられている MP 関節あるいは PIP 関節ブロッ



図8. 浅指屈筋の手の一例

※示指, 中指 Zone II 屈筋腱断裂, 術後 12 週時点.
DIP 関節の屈曲不足が認められる

キング訓練の有効性が考えられ, 可及的早期からの導入が有効であると考えられる.

林ら³⁶⁾は, 縫合法として本邦で最も多用されている津下法においては5週時点で中等度の自動屈曲に耐え得る10kgの抗張力を有すると報告しており, 著者らが現在8週時点でブロック訓練を開始していたのと比べもっと早期からの導入が治療成績の向上に寄与するものであると考えられるが, 今後症例数を増やし更なる検討が必要である.

ま と め

1. Zone II 屈筋腱断裂後の後療法における固定法としての3週間固定法と早期運動療法としての Kleinert 変法の術後4週から12週までの関節可動域について比較検討した.
2. 3週間固定法では, 良好群8例8指であり, 不良群は12例12指であった. 一方 Kleinert 変法では, 良好群6例7指であり, 不良群8例8指であった.
3. 3週間固定法では, 4週時点から PIP 関節屈曲可動域が大きく, 8週以降で PIP 関節, DIP 関節伸展可動域がよく回復するものが良好な成績を獲得していた.
4. 3週間固定法では, 4週時点で PIP 関節屈曲 60 度以上, 8週時点で PIP 関節伸展 -30 度以内, DIP 関節伸展 -15 度以内への回復するものが良好な成績を獲得していた.
5. Kleinert 変法では, PIP 関節, DIP 関節いずれの屈曲可動域も良好なため成績に影響せず, 伸展可動域に関しては, DIP 関節で4週以降の比較的早期に, 次いで PIP 関節で8週からと比較的後期により回

復するものが良好な成績を獲得していた.

6. Kleinert 変法では, 4週時点で DIP 関節伸展 -10 度, 8週時点で PIP 関節伸展 -35 以内に回復するものが良好な成績を獲得していた.

文 献

1. 津下健哉 著: 手の外科の実際 改訂第6版. p.274, 南江堂, 東京, 1985
2. 新潟手の外科研究所 編: 新潟手のリハビリテーション研修会・テキスト. p.144, 2004
3. 別府諸兄, 木村 元: 手の外科 - 腱手術 -. 総合リハ, 31: 936-940, 2003
4. Mass, D.P. and Tuel, R.J.: Human flexor tendon participation in the vitro repair process. J. Hand. Surg., 14-A: 64-71, 1989
5. Mass, D.P. and Tuel, R.J.: Participation of human superficialis flexor tendon segment in repair in vitro. J. Orthop. Res., 8: 21-34, 1990
6. 松田 智, 中土幸男, 斉藤 寛 他: 組織培養によるヒト屈筋腱損傷の修復過程の観察. 日手会誌, 9: 197-200, 2002
7. Tsuge, K., Ikuta, Y. and Matsuishi, Y.: Intra-tendinous tendon suture in the hand: a new technique. The Hand, 7: 250-255, 1975
8. Kessler, I.: The grasping technique for tendon repair. The Hand, 5: 253-255, 1973
9. 伊藤恵康, 内西兼一郎, 矢部 裕: 指屈筋腱の修復と滑走に関する実験的研究. 日手会誌, 4: 826-830, 1988
10. Kleinert, H.E., Kutz, J.E. and Atasoy, E. et al: Primary repair of flexor tendons. Orthop Clin. North Am., 4: 865-876, 1973
11. 堀内行雄, 高山真一郎, 伊藤恵康 他: 指屈筋腱損傷 (Zone II) の治療成績 - 固定法の立場から -. 日手会誌, 19: 703-707, 2002
12. Urbaniak, J.R., Cahill, J.D. and Mortenson, R.A.: Tendon suturing methods: analysis of tensile strength. AAOS Symposium on tendon surgery in the hand, C.V. Mosby Co., p.70-80, 1975
13. 西脇正夫, 池上博泰, 高山真一郎 他: 手指屈筋腱修復術後の屈筋腱剥離術の検討. 日手会誌, 19: 130-134, 2002
14. Lister, G.D., Kleinert, H.E. and Kutz, J.E. et al: Primary flexor tendon repair followed by immediate controlled mobilization. J. Hand. Surg. Am., 2: 441-451, 1977
15. 加藤博之, 村上成道, 山崎 宏: modified Kleinert 法による Zone II 屈筋腱断裂の治療. 新 OS NOW, 22: 70-79, 2004
16. 加藤博之, 三浪明男: 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

17. 中島英規, 寺本憲市郎, 原田香苗 他: 屈筋腱治療法としての Kleinert 変法. 日手会誌, 19: 695-697, 2002
18. Strickland, J.W. and Glogovac, S.V.: Digital function following flexor tendon repair in Zone II -A comparison of immobilization and controlled passive motion techniques. J.Hand.Surg.Am., 5: 537-543, 1980
19. Peacock, E.E., Maddeen, J.W. and Truer, W.C.: Post operative recovery of flexor tendon function. Am.J.Surg., 122, 686-692, 1987.
20. Hauge, M.F.: The results of tendon suture of the hand; a review of 500 patients. Acta.Orthop.Scand., 24: 258-270, 1955
21. Chow, J.A., Linwood, J.T. and Dovel, S. et al.: Controlled motion rehabilitation after flexor tendon repair and grafting. J.Bone.Joint.Surg., 70-B: 591-595, 1988
22. Bainbridge, L.S., Robertson, C. and Gilles, D. et al.: A comparison of postoperative mobilization of flexor tendon repairs with "passive flexion-active extension" and "controlled active motion" techniques. J.Hand.Surg., 19-B: 517-521, 1994
23. May, E.J. and Silfverskiold, K.L.: Rate of Recovery After Flexor Tendon Repair in Zone II . A prospective longitudinal study of 145 digits. Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. Hand Surg., 27: 89-94, 1993
24. Verdan, C.E.: Primary repair of flexor tendons. J.Bone. Joint. Surg. Am., 42: 647-657, 1960
25. 川真田聖一, 小澤淳也, 榊間春利: 骨格筋の萎縮と肥大に影響する主要因. 関節外科. 25: 21-25, 2006
26. Green, D.P.: GREEN'S OPERATIVE HAND SURGERY 4th edition, vol.2, p.1855-1857, Churchill Livingstone, 1999
27. 木野義武, 茶木正樹: 手指脱臼骨折後の屈曲拘縮に対するエキサイカイ式ジョイントジャック, 新 OS NOW, 17: 44-48, 2002
28. Hagberg, L. and Selvik, G.: Tendon excursion and dehiscence during early controlled mobilization after flexor tendon repair in zone II : An X-ray stereophotogrammetric analysis. J.Hand. Surg. Am., 16A: 669-680, 1991
29. Duran, R.J. and Houser, R.G.: Controlled passive motion following flexor tendon repair in Zone2. AAOS symposium of flexor surgery in the hand, CV Mosby. St.Louis: 105-114, 1975
30. Aoki, M., Kubota, H. and Pruitt, D. et al.: Biomechanical and histologic characteristic of canine flexor tendon repair using early postoperative mobilization. J. Hand Surg. Am., 22A: 107-114, 1997
30. Horii, E., Lin, G.T. and Cooney, W.P. et al.: Comparative flexor tendon excursion after passive mobilization: an in vitro study. J.Hand. Surg. Am., 17(3): 559-66, 1992. 31.
32. 中村蓼吾, 堀 宗敏, 今村貴和 他: Zone II における浅指, 深指両屈筋腱縫合例の検討. 日手会誌, 3: 434-437, 1986
33. 吉田健治, 山中健輔, 中村祐二 他: 腱鞘部損傷屈筋腱の癒着と滑走に関する実験的研究. 日手会誌, 4: 199-203, 1987
34. 伊藤恵康, 内西兼一郎, 矢部 裕: 指屈筋腱損傷の修復と滑走に関する実験的研究. 日手会誌, 4: 826-830, 1988
35. 後藤久夫, 吉津孝衛, 小野 順 他: 腱再断裂症例の検討. ハンドセラピー No. 1 手指腱損傷, p. 91-102, メディカルプレス, 東京, 1995
36. 林 淳二, 生田義和, 梅田 整 他: 腱縫合法の基礎的研究 第2報 Tensile strength の経時的推移について. 日手会誌, 2: 67-71, 1985

Characteristic of postoperative treatment after repair of flexor tendon rupture in Zone II — Comparison between 3 weeks immobilization and modified Kleinert method in the progress of range of motion —

Terufumi Iitsuka¹⁾, Kentarou Watanabe²⁾ and Tsuneji Murakami³⁾

- 1) Health Science, Graduate School of Medical Sciences, Hiroshima University
- 2) Department of Orthopaedic Surgery, Nagoya Ekisaikai Hospital
- 3) Graduate School of Health Sciences, Hiroshima University

Key words : 1. flexor tendon rupture 2. modified Kleinert method 3. immobilization method

This study compared progress of range of motion (ROM) outcomes between 3 weeks of immobilization (20 cases, 20 fingers) and modified Kleinert method (14 cases, 15 fingers) as postoperative treatments following surgical repair of flexor tendon rupture in Zone II. Both postoperative treatments were divided into outcomes by Strickland's evaluation method.

As a result, both treatment methods showed an improvement to the extension of the proximal interphalangeal joint (PIP joint) and the distal interphalangeal joint (DIP joint). In addition, good recovery of the DIP joint was clearly observed in the modified Kleinert method, and the importance of single excursion of flexor digitorum profundus (FDP) was indicated.

As above, we recommend that therapists promote active or passive extension exercise, and promote single excursion of FDP, if using the 3 weeks immobilization method, as soon as possible.