

手指屈曲運動に関する実験並びに臨床研究
—組織損傷による指屈曲運動変化について

京都大学医学部整形外科学教室 (主任：伊藤鉄夫教授)

上 羽 康 夫

〔原稿受付：昭和51年1月10日〕

An Experimental and Clinical Study on Flexion
Movement of the Finger

—Changes in Flexion Movement Related to Structural Impairments—

by

YASUO UEBA

Department of Orthopedic Surgery, Faculty of Medicine, Kyoto University
(Director Prof. Dr. Tetsuo Ito)

Severed flexor tendons of the finger can be successfully repaired in recent years owing to technical advancement of hand surgery. Complete restoration of the finger motion is, however, still difficult. Limited flexion of the finger is often observed after tenorrhaphy or tendon grafting, and it is generally attributed to adhesion of the flexor tendon or joint contracture. The structural impairment in the hand at the time of injury or surgery is not seriously considered as an important cause. The purpose of this study was to clarify the changes of digital flexion movement caused by various structural impairments in the hand.

Experimental study : Six amputated hands were used for the experiment. Traction force, which was gradually increased from 50gm to 1,000gm was applied to each flexor tendon. The flexion pattern of the normal finger was compared to that of fingers with various structural impairment.

Clinical study : The study was based on 1,364 cases which were operated in last eight years. The correlation between the structural impairments found at the time of surgery and the postoperative flexion movement of the finger was investigated. Among the cases, the most interesting nine cases were precisely described.

Results : Pulley mechanism could be divided into three portions from the functional point of view, namely the proximal pulley which located at the proximal half of the proximal phalanx, the middle pulley at the distal half of the proximal phalanx and the distal pulley in the middle phalanx. When the proximal or the distal pulley was removed, the joint proximal to the removed pulley increased the flexion angle whereas the distal joint decreased the angle compared to the flexion angle of the normal finger. When the middle pulley was

Key words : Finger Movement

Present address : Department of Orthopedic Surgery, Faculty of Medicine, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto, Japan.

removed, the joint distal to the pulley decreased the flexion angle. When more than two pulleys were removed, more limitation occurred in flexion movement of the finger. While the removal of pulley produced only slight limitation of flexion in the experiment, significant limitation occurred in the clinical case. It was thought due to the elasticity of the skin which allowed bowstringing of the flexor tendon in the clinical case.

Even if the structural impairments were identical, a constant difference was noted between the experiment and the clinical case. The difference was the increased flexion of the MP joint and the decreased flexion of the PIP and DIP joint in the clinical case in comparison to the experimental flexion pattern. This difference was thought to base on the function of the lumbrical muscle, which functioned in the clinical case but did not in the experiment. When the lumbrical muscle was removed, the PIP joint preserved good flexion in spite of decrease in flexion at the PIP and DIP joint. And the flexion of the finger was not so severely impaired as a whole. When the lumbrical muscle is shortened, the MP joint preserved good flexion, but both PIP and DIP joint lost considerable degree of flexion. Therefore, the finger demonstrated the remarkably limited flexion as a whole.

When the profundus tendon was elongated 1cm just distal to the origin of the lumbrical muscle, the flexion movement was not severely limited. But, when the tendon was elongated 2cm, the flexion was greatly limited at the PIP and DIP joint. If impairments of the multiple digital structures were combined together, the flexion movement was much more restricted. The flexion movement of the finger was most limited in such a condition that elongation of the profundus tendon, removal of pulleys and shortening of the lumbrical muscle were all combined.

Conclusion : It was concluded in the study that the structural impairment was an important cause of limitation of flexion of the finger. If the important structure is traumatised at the time of injury or surgery, postoperative flexion of the finger would be inevitably disturbed even without tendon adhesion or joint contracture.

要旨 手における組織損傷と指屈曲運動との関係を解明するために標本実験ならびに臨床研究を行った。標本実験では切断肢6個を用い指屈筋腱にそれぞれ50gから1,000gの牽引力を加え、正常な指屈曲運動を測定した。次に pulley, 虫様筋, 深指屈筋腱に種々な損傷を与え、それに伴う指屈曲運動変化を観察し、それらの変化を指型として図式化した。臨床研究は8年間に手の手術を受けた1,364症例を基礎とし、指屈筋腱が手掌あるいは指の中で断裂した症例について手術時所見と術後指屈曲運動との関係を調査した。そのうち特に興味ある9症例について詳述し、術後指屈曲角を標本実験結果と比較検討した。その結果、pulley, 虫様筋, 指屈筋腱などの損傷はそれに応じた種々な指屈曲運動変化をもたらす、受傷時あるいは手術時に加

えられた組織損傷は腱癒着や関節拘縮と共に術後の指屈曲運動障害を惹起する重要な原因の1つであることが判った。

内容目次

I : 緒言

II : 研究目的

III : 標本実験

A. 実験材料

B. 実験方法

C. 実験成績

1. 浅指屈筋腱牽引による指関節屈曲運動
2. 深指屈筋腱牽引による指関節屈曲運動
3. 組織損傷を加えた場合における指関節屈曲運動

- (a) pulley を部分切除した場合における指関節屈曲運動
- (b) 虫様筋を切除または短縮した場合における指関節屈曲運動
- (c) 深指屈筋腱を虫様筋の起始部より末梢で延長した場合の指関節屈曲運動
- (d) いくつかの組織損傷が重複した場合の指関節屈曲運動

D. 小括

IV : 臨床症例における術後の指屈曲運動と標本実験結果との比較検討

A. 臨床症例

B. 症例検討

- 症例1 : 浅指屈筋腱切除例
- 症例2 : proximal pulley 切除例
- 症例3 : 深指屈筋腱短縮, middle 及び distal pulley 切除例
- 症例4 : 総ての pulley 切除並びに虫様筋切除例
- 症例5 : 虫様筋切除例
- 症例6 : 総ての pulley 切除並びに虫様筋短縮例
- 症例7 : 遊離移植腱が長過ぎた例
- 症例8 : 遊離移植腱が長過ぎたと共に distal pulley が切除された例
- 症例9 : 示指では proximal pulley 切除と虫様筋短縮, 中指では移植腱が長過ぎ, proximal pulley 切除並びに虫様筋短縮例

C. 小括

V : 考案

VI : 結論

I : 緒 言

手の外科の発達により手における指屈筋腱損傷の治療成績は非常に向上している。とくに手指の no man's land における指屈筋腱損傷に遊離移植術が行われるようになり、この部位の腱損傷の治療成績は著しく向上した。然し完全な指屈曲運動を常に回復させることは難しく、術後指の運動障害や変形を来すことが稀ではない。指屈筋腱損傷に対する手術とりわけ遊離移植術後に起る指屈曲運動障害の原因として種々な因子が考えられる。主要なものとしては腱の癒着や関節拘縮などが考えられるが、更に受傷時あるいは手術時に受ける組織損傷も重要な因子の1つとして考えられねばならない。腱の癒着に関する問題は以前より注目され多くの研究者がこれに取り組んできたが、組織

損傷に基づく運動障害に関しては断片的な研究が発表されているのみで、総合的な研究は発表されていないのが現状である。

II : 研究目的

指の屈曲運動に最も深い関係をもつ組織としては浅-及び深指屈筋腱とそれらに付随する虫様筋並びに線維性指腱鞘 (いわゆる pulley) が挙げられる。これらの構造に種々な損傷を加えた場合に指の屈曲運動が如何なる変化を示すか標本実験により確め、その実験結果を臨床における術後の指屈曲運動と比較検討し、組織損傷と指屈曲運動との相関々係を明らかにすることを目的とした。

もしも、この研究に基づいて手術後の指屈曲運動障害が分析できるようになれば、屈曲運動障害の原因となる解剖学的異常を推測できるようになるであろうし、原因が推測できれば再手術により障害の原因を除くことも可能であろう。また今まで行なわれている手術方法の欠点や優劣を論ずる上にも大きな根拠となるであろうと考えた。

III : 標本実験

A. 実験材料

過去5年間に悪性腫瘍または外傷によって切断された人間の四肢6個を用いた。これら6個の切断肢は前腕遠位 1/3 部の正常な部位において再切断し、 -30°C に保たれた冷蔵庫に保存した。その切断標本は実験を行う約24時間前に冷蔵庫より取り出し、室温にて徐々に氷解した。

6個の標本のうち、最初の1個は実験操作の不慣れから信頼できるデータが得られなかったため、後述する実験成績のデータには含まれていない。残り5個の標本のうち1個の環指 PIP 関節に軽度な拘縮が認められたので、この環指は実験から除外した。

この実験は3つの指関節を有する指の屈曲運動を調査することが目的であったから、解剖学的に全く異なる構造を持つ母指は実験の対象外とした。

小指に関しては、解剖学的に正常な小指2本において浅-及び深指屈筋腱の牽引を行い、その屈曲運動を観察したが、その段階で既に小指が他の指と比較してかなり異った運動を示すことがわかった。従って小指には解剖学的損傷を加えた状態での実験は行っていない。(これに関しては実験成績の項で改めて詳述する。)

示指・中指・環指についても、それらの指をそのまま全く同等の指として扱うには無理のあることが最初に行った標本実験でわかった。それ故、その後に行った5個の標本においては第2・第3及び第4虫様筋の起始部を橈側の深指屈筋腱から分離した。即ち、第1虫様筋は示指の深指屈筋腱のみから起始することく、第2虫様筋は中指の深指屈筋腱、第3虫様筋は環指の深指屈筋腱、第4虫様筋は小指の深指屈筋腱のみから起始するように操作を加えた。この操作により示指・中指・環指はほぼ同様な屈曲運動を行いうるようになり、種々な解剖学的損傷を加えた場合でもほぼ同一の指として比較しうるようになった。このような操作を加えた5手14指（1手の環指は除外したため）に種々な条件を与えて実験を行った。

B. 実験方法

先ず標本手の手根部を木の台に釘で固定した。実際の手術を行うと同じ皮切を加えて前腕から指までの範囲で浅及び深指屈筋腱、虫様筋及び pulley を露出した。手掌皮膚と手掌腱膜はその際切除したが、指屈筋腱を牽引しても腱が浮き上がらぬように横手根靭帯は温存した。第2, 3, 4虫様筋の起始は夫々の虫様筋橈側の深指屈筋腱より離断した。次に横手根靭帯より中枢にて屈筋腱に絹糸を通し、絹糸の他端は滑車に通したあと重錘につないだ（図1）。重錘は先ず 50g

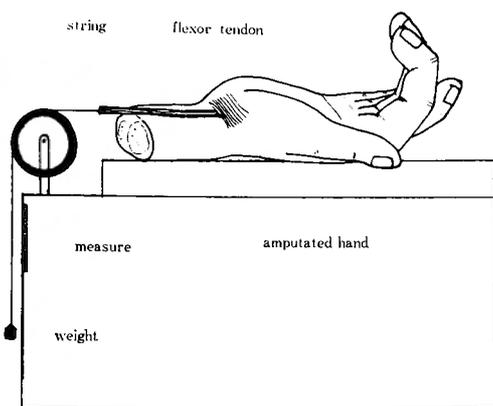


図1 実験方法

とし、次に 100g に変えた。100g からは 100g づつ重量を増し、1kg まで変化させた。夫々の重量に対しての MP 関節、PIP 関節、及び DIP 関節屈曲角を測定し、記録した。その後、線維性指腱鞘 (pulley) を部分的に切除し、深指屈筋腱を前述したと同じように牽引し、腱鞘のどの部分が指の屈曲運動にどれほどの影

響を与えているかを測定した。虫様筋については、この筋が深指屈筋腱に起始する部位を約1cm末梢まで移動した場合とか虫様筋を切除した場合に指の関節屈曲角がどのように変化するかを同様な方法で測定した。また虫様筋の起始部より末梢にて深指屈筋腱を延長した場合には深指屈筋腱の牽引によって指関節屈曲角がどのように変化するかを観察した。更に pulley の部分欠損、虫様筋の異常な状態、深指屈筋腱が延長された状態などが重複した場合に指の屈曲運動に如何なる変化が起るか測定した。

尚、pulley を切除した場合には mid-lateral skin incision によって持ち上げられた指の掌側皮膚を元の位置に戻して創を縫合し、その皮膚の抑えによって指屈筋腱が強く浮き上るのを防ぐようにした。

C. 実験成績

1. 浅指屈筋腱牽引による指関節屈曲運動 今回行ったこの標本実験の本来の目的が深指屈筋腱の牽引により指の3関節がどのような屈曲運動を示すかを観察することであり、浅指屈筋腱の牽引によって起る2関節 (MP 関節と PIP 関節) のみの指屈曲運動の観察はあくまで副次的なものであったから3手において測定するのみにとどめた。更にその3手のうちの1環指に拘縮が認められたので実験は行わなかった。したがって環指においては2指の測定のみにとどまった。実験方法は pulley や虫様筋になんらの損傷を加えずに浅指屈筋腱に錘をかけて牽引し、夫々の指関節屈曲角を測定した。MP 関節屈曲角は表1の如く、PIP 関節屈曲角は表2の如き変化を示した。それらの指屈曲角の総平均値を用いて夫々の牽引力に応ずる指屈曲変化を図形で表現した（図2）。その結果下記の事柄を知り得た。

(i) 個々の指により関節屈曲度に差は認められるが、全体の傾向としては牽引力の増加に伴って屈曲角が増加し、約 1,000g でその極限に達した。

(ii) 個々の指で MP 関節と PIP 関節との屈曲度を比べると、示指・中指では MP 関節でよく屈曲しているものほど PIP 関節でも強い屈曲角を示した。これは関節の柔軟度が個体差にもとずく結果であろうと考えられる。しかるに小指においてはむしろ逆の傾向を示し、MP 関節がよく屈曲する指のほうが PIP 関節の少い屈曲角を示し、MP 関節屈曲角の少い方が PIP 関節ではよく屈曲している。この現象は小指では CM 関節 (=carpometacarpal joint) における中手骨の運動が小指の MP 関節及び PIP 関節運動に強く

表1 浅指屈筋腱牽引による MP 関節曲角

示 指												
実験No.	g	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1	(-)	36	42	46	50	55	62	62	62	63	64	
71	0	10	42	54	65	70	75	78	78	78	78	
83	0	0	25	44	58	60	86	88	88	90	90	
平 均	0	15.3	38.3	48.0	57.7	61.7	74.3	76.2	76.0	77.0	77.3	
中 指												
9	(-)	10	34	44	50	57	65	72	73	73	72	
78	0	0	36	50	60	66	70	70	70	70	70	
89	5	5	52	66	78	78	80	82	84	85	85	
平 均	2.5	5.0	40.7	63.3	62.7	62.0	71.7	74.7	75.7	76.0	75.7	
環 指												
17	0	29	47	56	69	92	90	92	93	95	99	
95	0	18	45	66	70	85	80	88	88	88	88	
平 均	0	23.5	46.0	61.0	69.5	88.5	85.0	90.0	90.5	91.5	93.5	
小 指												
24	(-)	28	47	70	70	72	77	82	88	80	93	
69	16	34	65	66	70	77	77	78	79	79	79	
121	19	87	96	100	106	107	106	107	110	110	110	
平 均	17.5	49.7	69.3	78.7	82.0	85.3	86.7	89.0	92.3	89.7	94.0	
総平均	5.0	23.4	48.3	60.2	67.8	74.5	78.9	81.7	83.0	82.8	84.4	

表2 浅指屈筋腱牽引による PIP 関節屈曲角

示 指												
実験No.	g	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1	(-)	76	82	86	90	90	94	96	96	96	98	96
72	40	64	100	103	103	106	106	105	105	105	105	105
83	0	10	50	75	90	95	110	110	112	112	112	112
平 均	20.0	50.0	78.0	88.0	94.3	97.0	103.3	103.7	104.3	105.0	104.3	
中 指												
9	(-)	60	52	50	92	94	92	95	96	98	98	
78	18	38	106	116	116	116	116	116	116	116	116	
89	0	10	88	102	108	114	110	110	112	114	116	
平 均	9	36.0	82.0	89.3	105.3	108.0	106.0	107.0	108.0	109.3	110.0	

環 指											
17	(-)	72	78	88	92	94	98	104	104	106	103
95	0	15	92	110	112	114	114	112	113	113	113
平 均	0	43.5	85.0	99.0	102.0	104.0	106.0	108.0	108.5	109.9	108.0
小 指											
24	(-)	68	78	86	86	82	85	86	92	96	94
69	95	97	105	106	106	112	108	110	110	110	110
101	19	87	96	100	106	107	106	107	110	110	110
平 均	57.0	84.0	93.0	97.3	99.3	100.3	99.7	101.0	104.0	105.3	104.7
総 平 均	24.6	54.3	84.5	92.9	100.1	102.2	103.5	104.6	106.0	107.1	106.6

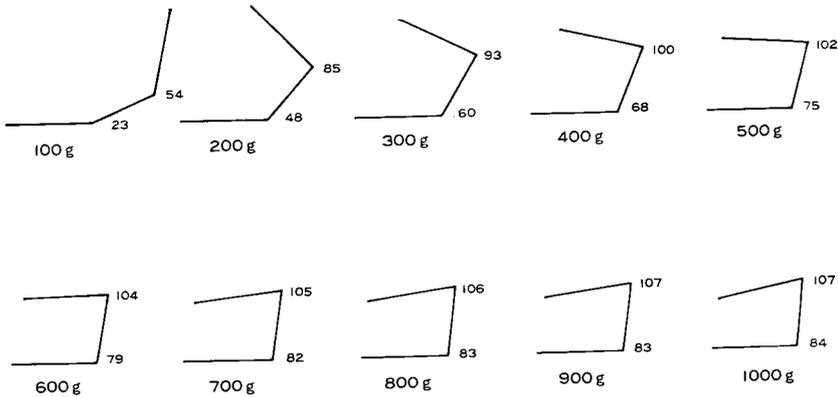


図2 浅指屈筋腱牽引による指関節基準屈曲角

関係しているからでないかと考えられる。即ちCM関節が屈曲していて第5中手骨々頭が掌側に移動している場合にはMP関節の屈曲が少く、PIP関節の屈曲度が強くなり、逆にCM関節が全く屈曲しておらず第5中手骨々頭が背側にある場合にはMP関節の屈曲度が強くなり、PIP関節の屈曲はかえって少くなるのであろう。実験ではCM関節をできるだけ伸展位に保ち、第5中手骨が他の中手骨と同じ平面上に並ぶように留意したが、小指CM関節の屈曲角は非常に測定しにくいので、正確な屈曲角は測定しえなかった。

iii) 表1,2と次に述べる深指屈筋腱の牽引によるMP関節及びPIP関節屈曲角とを比較すると同じ牽引力、例えば300gとか500gを浅指屈筋腱や深指屈筋腱に作用させてみた場合にはMP関節及びPIP関節を屈曲させる能力はほぼ同じであることがわかった。むしろ3つの指関節を同時に屈曲させる深指屈筋腱の方が

2つの指関節しか屈曲させない浅指屈筋腱よりも強く作用しうることがわかった。この事実は指の屈筋腱が指関節に作用する機能の効率を考えると非常に興味のあることである。

2. 深指屈筋腱牽引による指関節屈曲運動 Pulley及び虫様筋などに損傷を加えずに解剖学的に正常な深指屈筋腱に50gから1kgまでの牽引力をかけて、MP関節、PIP関節及びDIP関節の屈曲角を測定すると、夫々の指により数値の偏差は認められたが、中指の例からわかるようにいずれの指もほぼ同じ屈曲傾向を示すことがわかった(表3)。即ち50gの牽引ではPIP関節及びDIP関節の屈曲が始まるがMP関節は屈曲しなかった。100gの牽引によりMP関節は屈曲を開始した。その後牽引力を増加させるにしたがってMP関節、PIP関節及びDIP関節のいずれもが屈曲角度をまし、1,000gではほぼ最大屈曲角を示した。

中指と同様に示指や環指においても似かよった結果

表3 深指屈筋腱牽引による中指の関節屈曲角

MP 関節												
実験No.	g	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
10		0	29	47	59	64	70	70	76	78	82	82
36		0	20	40	50	70	70	80	80	84	84	86
54		0	56	60	68	79	80	80	84	86	88	91
79		0	42	56	68	72	72	72	72	72	72	72
90		0	0	56	70	78	82	80	82	86	88	86
平均		0	29.4	51.8	63.0	72.6	74.8	76.4	78.8	81.2	82.8	83.4
PIP 関節												
実験No.	g	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
10			83	92	93	94	97	98	100	102	103	102
36		55	100	110	114	116	118	118	118	118	118	118
54		14	100	114	115	114	116	117	116	118	119	119
79		20	94	107	112	113	113	113	113	113	113	113
90		0	22	98	102	109	112	113	113	114	114	116
平均		22.3	79.8	104.2	107.2	109.2	111.2	111.8	112.0	113.0	113.4	113.6
DIP 関節												
実験No.	g	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
10			36	39	40	42	45	50	50	50	50	51
30		40	60	68	70	70	71	72	72	74	74	74
54		24	62	68	68	70	72	76	77	80	82	81
79		31	45	66	66	68	68	68	68	68	68	68
90		15	26	70	81	78	85	82	85	82	86	86
平均		27.5	45.8	62.2	65.0	65.6	68.2	69.6	70.4	70.8	72.0	72.0

表4 深指屈筋腱牽引による小指の関節屈曲角

MP 関節												
実験No.	g	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
25		—	50	87	88	88	88	88	88	88	88	88
72		0	22	46	60	70	75	76	76	76	76	76
102		0	24	55	66	71	70	71	73	76	75	75
平均		0	32.0	62.7	71.3	76.3	77.7	78.3	79.0	80.0	79.7	79.7
PIP 関節												
実験No.	g	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
25		—	76	84	86	90	90	90	90	90	90	90
70		100	102	110	110	110	110	110	110	110	110	110
102		26	101	108	107	110	110	108	107	107	107	107
平均		63.0	93.0	100.7	101.0	103.3	103.3	102.7	102.3	102.3	102.3	102.3

DIP 関節

実験No.	g	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
25			50	58	62	64	64	64	64	64	64	64
70		56	60	62	64	64	64	64	64	64	64	64
102		30	53	63	65	69	71	69	71	74	73	73
平均		43.0	54.3	61.0	63.7	65.7	66.7	65.7	66.3	67.3	67.0	67.0

が認められた。然し小指においては浅指屈筋腱を牽引した時と同様に MP 関節がよく屈曲する小指では PIP 関節の屈曲度は少なく、MP 関節の屈曲が悪い小指では PIP 関節の屈曲角が大きかった (表 4)。

示指・中指・環指及び小指における MP 関節, PIP

関節及び DIP 関節での屈曲角の夫々の平均値をグラフに示すと図 3, 4, 5, に示す通りである。

小指においては前述した如く MP 関節と PIP 関節との屈曲角が他の指の場合とは逆の相関関係を有しており、また他の指におけるよりも小さい牽引力によっ

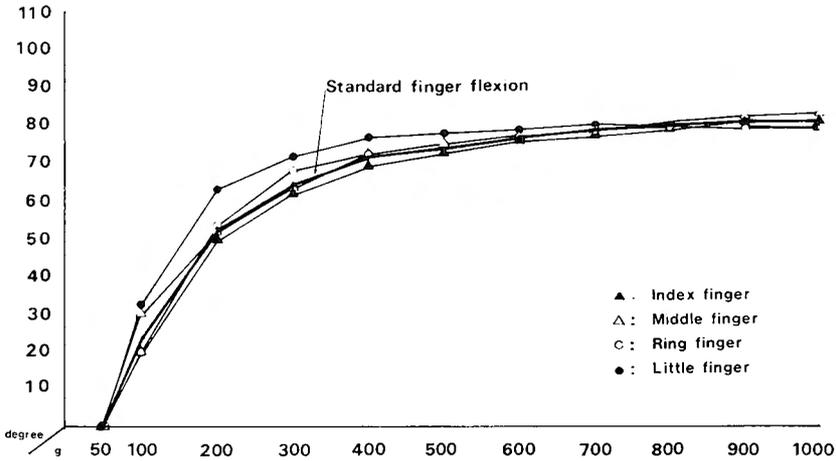


図 3 深指屈筋腱牽引による MP 関節屈曲度

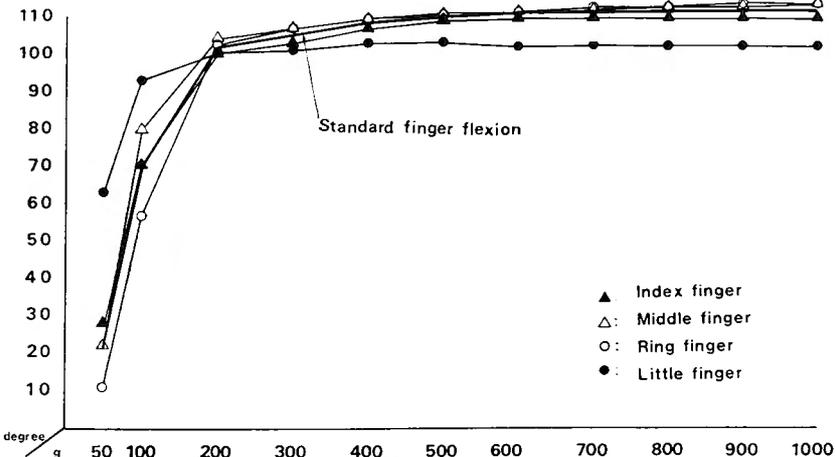


図 4 深指屈筋腱牽引による PIP 関節屈曲度

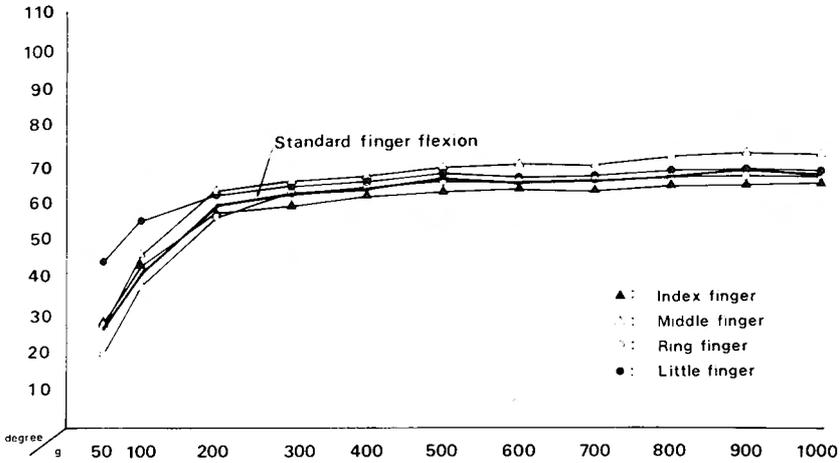


図5 深指屈筋腱牽引による DIP 関節屈曲度

て最大屈曲角を示すことが判ったので、他の指と小指とは同等に扱うべきでないと断定した。小指を除く他の指、即ち示指・中指・環指においては多少の差異はあるにしても同じ指の相互間において見られる差異とほとんど同程度のものであったから、これらの指は総

て同一の指として取扱うると考えた。それ故関節拘縮を有する環指1本を除外し、5手14指の深指屈筋腱を牽引して得られた夫々の指関節屈曲角の平均値をもって、“深指屈筋腱牽引による指関節基準屈曲角”(standard finger flexion)と名づけた(表5)。

表5 指関節基準屈曲角

実験No.	g	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
MP 関節		0	23.0	51.5	63.7	71.2	73.9	76.2	78.1	79.9	81.0	81.5
PIP 関節		21.2	69.8	102.3	105.6	108.4	110.4	111.1	111.7	111.9	112.2	112.2
DIP 関節		25.3	40.1	58.2	61.5	63.1	64.9	65.6	65.4	66.6	67.3	67.5

これ以後の実験では、この基準屈曲角と比較しながら種々な条件下での指関節屈曲角の変化を追求した。

MP 関節基準屈曲角は50gの牽引では0°であるが、牽引を増すにしたがって角度は増加し、1,000gの牽引によって最大値82°を示した。

PIP 関節の基準屈曲角は50gから200gまでの牽引によって急激な増加を示し、500gの牽引によってほぼ最大の屈曲角に達し、500gから1,000gにかけてはほとんど角度の増加を示さなかった。DIP 関節の基準屈曲角は牽引の増加に伴って徐々に角度を増し、1,000gの牽引によって最大値68°に達した。

深指屈筋腱の牽引により指がどのように屈曲して行くかを解り易くするために、各関節の基準屈曲角を総合して、それぞれの牽引における指関節屈曲角を図形で示した(図6)。その中で特に重視されるべき指の形は1,000gの牽引によって得られた最大屈曲位であ

る。基準屈曲角の最大値は図形で示されたようにMP 関節82°、PIP関節112°、DIP 関節68°である(図7)。

3. 組織損傷を加えた場合における指関節屈曲運動
(a) Pulley を部分切除した場合における指関節屈曲運動

指の中では屈筋腱は腱鞘に包まれている。腱鞘は腱のすぐ周囲をとりまく滑液鞘(synovial tendon sheath)と滑液鞘の外側を包む線維鞘(fibrous tendon sheath)とから成っている。線維鞘はMP 関節の掌側部に始まり、指屈筋腱とともに末梢へと延びて深指屈筋腱の停止部である末節骨にまで至るが、MP 関節、PIP 関節及び DIP 関節の掌側にあたる部分では薄く、線維は斜めに交叉する網目状を呈しており十字部(Pars cruciformis)と呼ばれる。基節骨や中節骨の骨幹部では線維は厚く、指屈筋腱の掌側を輪状にとり巻くように横走し、腱の両側の指骨に停止するの

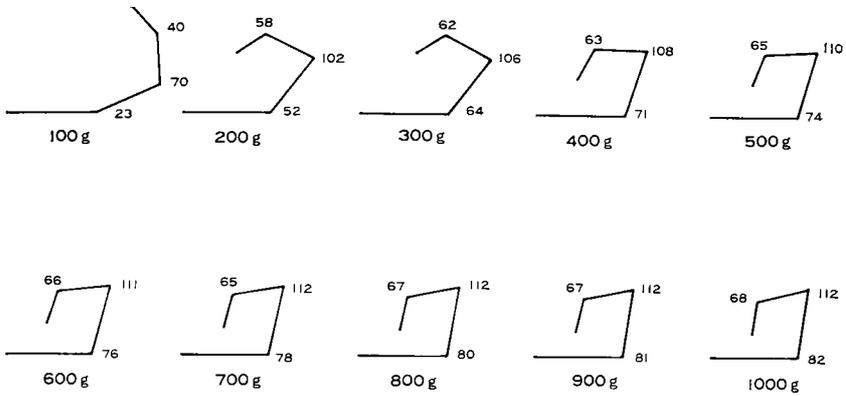


図6 深指屈筋腱牽引による指関節基準屈曲角



図7 標本実験：基準最大屈曲角

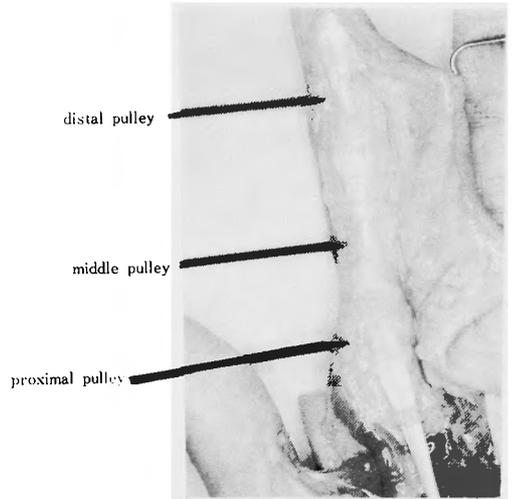


図8 機能上3つに分けられる Pulley

で輪状部 (Pars annularis) と呼ばれる。輪状部は指屈曲運動の際に指屈筋腱が指骨から浮き上がらぬように保持し、指屈筋腱はこの輪状部を滑るような状態となり、指屈筋腱に対して滑車の働きをするから手の外科領域では滑車 (pulley) と呼ばれている。

Pulley は機能上3つの部分に分けられる⁶⁷⁾ 即ち (i) 基節近位1/2部にあるもの、(ii) 基節遠位1/2部にあるもの、(iii) 中節にあるものである。これらを便宜上それぞれ proximal pulley, middle pulley 及び distal pulley と呼ぶ (図8)。これらの pulley の切除が指の運動に及ぼす影響について調査した。

(i) Proximal pulley を切除したのちに深指屈筋腱を牽引すると、MP 関節は基準屈曲角と比較して相対的に小さな牽引力でもって屈曲を始め、400g の牽引で早くも最大屈曲角に近い 85° の値に達した。しかも 1,000g の牽引による最大屈曲角 87° は基準屈曲角 82° よりも大きかった。PIP 関節の屈曲は基準屈曲角

とほぼ同じ屈曲曲線を描くが、最大牽引 1,000g における最大屈曲角は 107° であり、基準屈曲角の最大値 112° と比べると屈曲角はやや小さいことがわかった。DIP 関節も基準屈曲角とほぼ同様な屈曲曲線を描くが、最大屈曲角 71° は基準屈曲角の最大値 68° よりやや高い値を示した (図9)。

(ii) Middle pulley を切除した場合には夫々の指関節は基準屈曲角の曲線とほぼ同じ屈曲曲線を描いた。然し MP 関節及び PIP 関節の最大屈曲角 72° 及び 108° は基準屈曲角の最大値 82° 及び 112° と比較して共にやや減少していた。DIP 関節はこれに反して最大値 82° を示し、基準屈曲角の最大値 68° よりも増加していた (図10)。

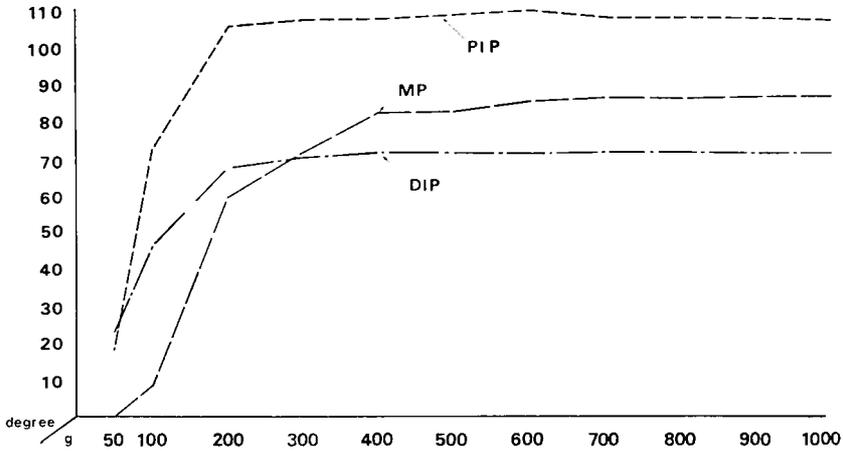


図9 Proximal Pulley を切除した場合の指関節屈曲度

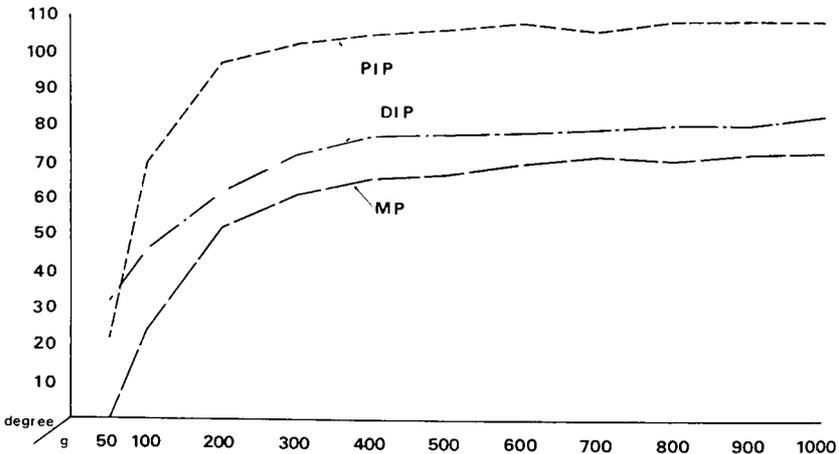


図10 Middle Pulley を切除した場合の指関節屈曲度

④ Distal pulley を切除した場合には PIP 関節及び DIP 関節は小さな牽引力によって早く屈曲を始めるが、指関節屈曲角の最大値は基準屈曲角のそれとほぼ同じ値を示した。即ち MP 関節最大屈曲角は 82° であり基準屈曲角のそれと同じであり、PIP 関節最大値 113.7° は基準屈曲角の最大値 112° よりも僅かに高く、DIP 関節屈曲角最大値 67.3° は基準屈曲角最大値 68° よりもほんの僅か小さい傾向にあった (図11)。

これらの測定値から推定出来ることは proximal pulley とか distal pulley のごとく関節のすぐ末梢側にある pulley を除去した場合には、それよりも中枢側にある関節の屈曲角は増加し、それよりも末梢側にある関節の屈曲角は減少する。それに反し、middle

pulley のように関節のすぐ中枢側に存在する pulley を切除した場合にはそれよりもすぐ末梢にある関節に屈曲角の減少がみられる。然し一般的に云えば pulley の1個だけを切除した時には屈曲角を減ずる関節もあるが、他の指関節があたかもそれを代償するかのごとく屈曲角の増加を伴うので、指全体の屈曲運動としてはあまり減少していない。とくに指先と手掌との距離のみを問題とするならば pulley の1つが欠損していても正常の指とほぼ同じ指尖手掌距離を示す (図12-A, B, C) では2個以上の pulley が切除された場合には、指はどのような屈曲角を示すであろうか。

Proximal pulley のみを残し、middle pulley 及び distal pulley を切除すると、MP 関節では 80° 、

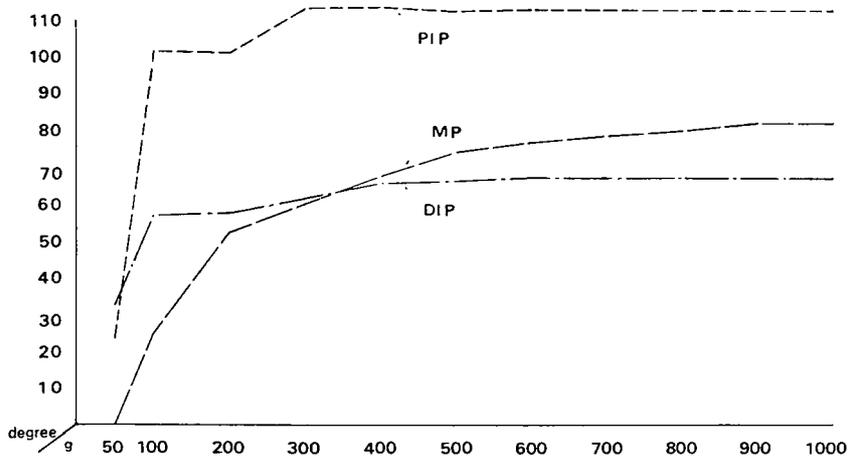


図11 Distal Pulley を切除した場合の指関節屈曲度

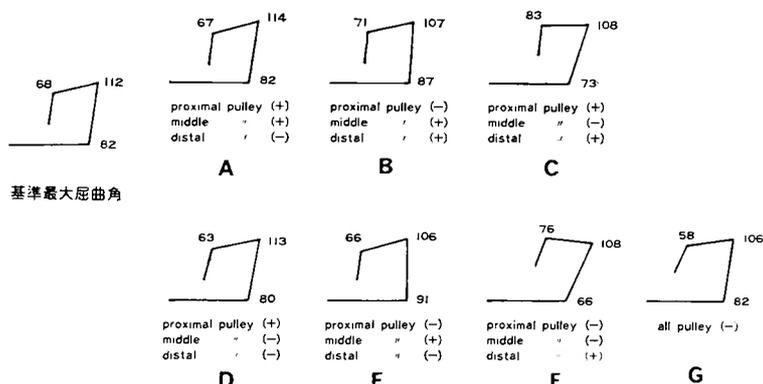


図12 Pulley が欠除した場合の指型変化

PIP 関節では 113°, DIP 関節では 63° の最大屈曲値を示した。これは基準屈曲角の最大値 (MP 関節 82°, PIP 関節 112°, DIP 関節 68°) と比較して DIP 関節の屈曲角は少し小さいが、指全体の屈曲角はそれほど減少しなかった (図12-D)。

Middle pulley のみを残して proximal pulley 及び distal pulley を切除した場合には、MP 関節 91°, PIP 関節 106°, DIP 関節 66° の最大値を示した。これを基準屈曲角最大値と比較してみると、MP 関節の屈曲値は増加しているが、PIP 関節及び DIP 関節の屈曲値は減少している (図12-E)。

Distal pulley のみを残し、proximal pulley 及び middle pulley を切除した場合には MP 関節は 66°, PIP 関節は 108°, DIP 関節は 76° を示した。即ち D

IP 関節の屈曲はやや増加しているが、MP 関節及び PIP 関節の屈曲角は著しく低下するので指尖手掌距離は増加する (図12-F)。

2 個の pulley が欠除している場合と 1 個の pulley だけが欠除している場合とを比較してみると、2 個の pulley を欠く指は 1 個の pulley を欠く指のそれよりも更に強い屈曲障害を示し、基準屈曲角最大値を示す指型から更に強く変形する。然し proximal pulley 或いは middle pulley のみしか残存しない指でも指尖手掌距離はそれほど増加していない。

総ての pulley を切除した場合には MP 関節 82°, PIP 関節 106°, DIP 関節 58° の最大屈曲角を示した (図12-G)。これを基準屈曲角の最大値と比較すると、PIP 関節及び DIP 関節の屈曲角度がかなり減少して

いることがわかる。然しこの減少度は臨床における生体の減少度に比して少いように思われる。その理由は、この実験においては pulley を切除したあと皮膚を縫合するが、屍体標本を用いている関係上皮膚には弾性がなく、皮膚縫合により腱の浮き上がり (bow stringing) は強く阻止されると考えられる。生体においては弾性のある皮膚が腱の浮き上がりを押えることになるが、屍体標本と比較すればその浮き上がりは著しく、それに伴って指の屈曲度も低下するものと考えられる。

尚、線維性指腱鞘は MP 関節、PIP 関節及び DIP 関節の掌側にあたる部位では薄く、線維は斜めに交叉する網目状を呈し、十字部 (Pars cruciformis) と呼ばれる。この部分は関節の直前にあるから関節の屈曲運動には最も強く関与しているように思えるが⁵⁹⁾、実際にはこの部を切除しても指屈曲運動は全く影響されなかった。

(b) 虫様筋を切除または短縮した場合における指関節屈曲運動

虫様筋は手掌内において深指屈筋腱より起始し、深横中手靭帯 (deep transverse metacarpal ligament) の掌側を通して末梢背側に向って走り、指の背側腱膜に停止する。この筋の起始及び停止部より推測されるように、虫様筋の機能は MP 関節の屈曲運動ならびに PIP 関節及び DIP 関節の伸展運動に関与している。しかもこの筋の作用は単純なものではなく極めて微妙なものであると考えられる。

即ち、指屈曲運動において深指屈筋が収縮すると虫様筋の起始は中枢に向って移動する。同時に深指屈筋

の収縮により PIP 関節及び DIP 関節は屈曲するから、虫様筋の停止部はむしろ末梢へ引っぱられ、虫様筋の起始部と停止部との距離は延長される。したがって3つの指関節の総てが屈曲する際には虫様筋はあまり強く収縮しないものと考えられている⁶⁰⁾。

虫様筋がこのときに収縮すれば、PIP 関節及び DIP 関節が伸展したままで MP 関節が強く屈曲するか、または MP 関節が屈曲位に保たれて PIP 関節及び DIP 関節が強く伸展される。

虫様筋の作用としては上述したもの他に、指の伸展時には屈筋腱を末梢方向に引き出して伸筋の作用を容易にしたり、指の完全伸展位から屈曲運動を開始する際には先ず MP 関節の屈曲を起し指屈筋の作用を導き出す誘導装置のごとき微妙な作用をもつのではないかと推定される。

このような作用をもつ虫様筋が損傷された場合に如何なる指屈曲運動変化が起こるかを調べてみた。

(i) 虫様筋を切除した時の指屈曲運動：手掌にて虫様筋を切除したのち、深指屈筋腱に牽引を加えて指関節の屈曲角を測定し、基準屈曲角と比較した。

MP 関節の屈曲度は牽引力を増加させるにしたがって徐々にその値をますが、対応する基準屈曲角度に比べて常に低い値を示した PIP 関節は 50g から 300g までの牽引に対しては基準屈曲角よりも大きな値をとるが、400g 以上の牽引においては基準屈曲角よりやや小さな値を示した。しかし全般的に基準屈曲角と大差のない値を示した。DIP 関節は 100g で牽引した場合を除き、基準屈曲角よりも常に小さな値を示した (図 13)。最大屈曲値をみると MP 関節 68°, PIP 関節

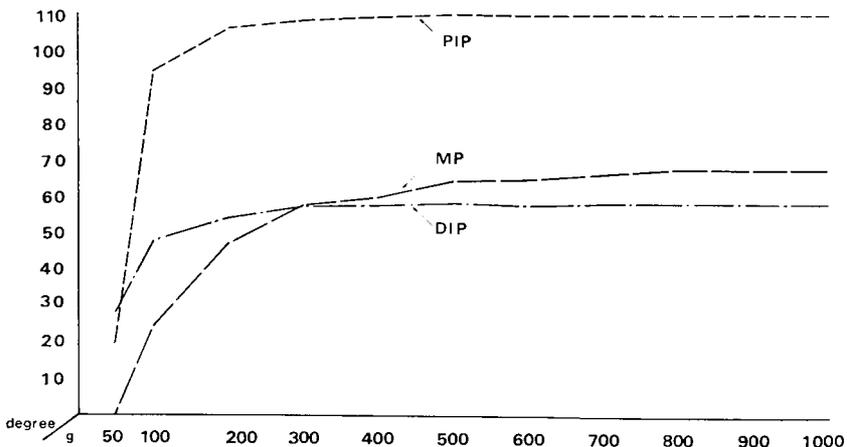


図13 虫様筋を切除した場合の指関節屈曲度

111°, DIP 関節 59°であった。基準屈曲角の最大値は MP 関節 82°, PIP 関節 112°, DIP 関節 68°であるから、虫様筋が切除された場合には、MP 関節は 14°, DIP 関節は 9°減少したことになる。このさい PIP 関節の屈曲度はほとんど減少していないから、

虫様筋が切除された指の最大屈曲位を側面からみると菱形に近い形を示すようになる(図14-A)。然し、虫様筋が切除されて指の屈曲角は変化しても指尖手掌距離は正常な指とほぼ同じであり、指全体としての屈曲機能はそれほど障害されていないことがわかる。

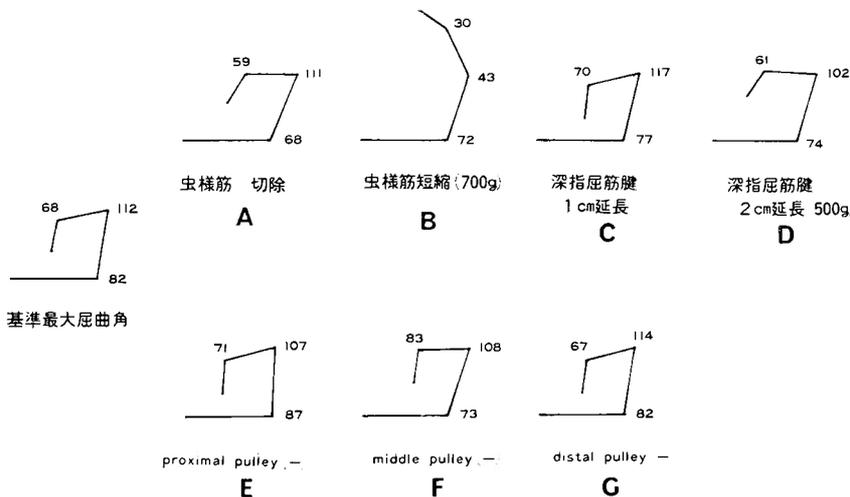


図14 1つの組織のみが損傷された時の指型変化

(ii) 虫様筋を短縮した時の指屈曲運動：虫様筋の筋腹は通常80~85mmの長さを持ち、筋腹は最も太い部分では直径8~10mmの断面をもつ。虫様筋の伸縮距離(excursion)は約40mmと考えられている。

実験標本において手掌内から浅指屈筋腱を切除すると、虫様筋はかなり弛緩した状態を示した。指を伸展位に保って虫様筋を弛緩させると、その筋腹に約25mmの余裕を生じた(図15)。虫様筋の筋腹を短縮し、その筋の弛緩を除去した後に深指屈筋腱に牽引を加え、指の運動変化を測定した。この実験において800gの牽引を加えた時に虫様筋に強い力が加わり、3例中1例に虫様筋断裂が起こった。したがってこの実験では700gまでの牽引によって得られた3指の屈曲角度の平均値をもってその実験結果とした(図16)。

基準屈曲角と比較するに虫様筋を短縮した指においては、MP 関節を屈曲させるのに比較的大きな牽引力を要した。即ち100gの牽引に対して基準屈曲角は23°であるのに、虫様筋を短縮した指では約3°であった。200gの牽引においても基準屈曲角52°に対して24°にとどまった。しかし牽引力を増すにしたがって屈曲角は増加し、700gの牽引に対しては72°の値を示した。700gに対する基準屈曲角は78°であるから、そ



図15 虫様筋の弛緩

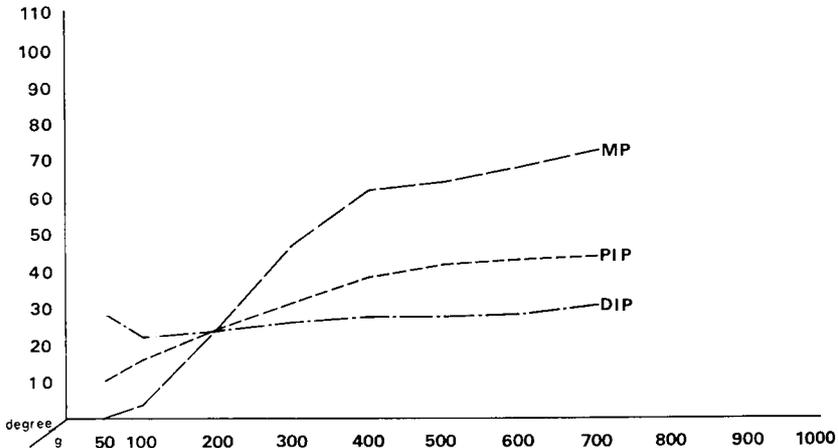


図16 虫様筋を短縮した場合の指関節屈曲度

の差は小さくなっている。PIP 関節の屈曲度は基準屈曲角に比べ著しく制限される。即ち200gの牽引において基準屈曲角は102°であるのに、虫様筋を短縮した場合にはPIP関節は僅か16°の屈曲にとどまった。その後牽引力を増加させても屈曲角度の増加は非常に少なく、700gの牽引においてさえ僅かに43°の値を示すに過ぎなかった。700gにおける基準屈曲角112°と比較すると著しい差がある。DIP関節の屈曲もまた著しく制限された。700gの牽引における基準屈曲角は65°であるのに、虫様筋の短縮を行った指では僅かに30°の屈曲角を示すに過ぎなかった(図17)。

この実験では虫様筋を短縮した場合には指屈曲にさいして虫様筋に強い緊張が起こった。このさいMP

関節の屈曲運動は比較的よく保たれているが、PIP関節及びDIP関節には著しい屈曲障害を惹起することがわかった。また700gの牽引によってMP関節72°、PIP関節43°、DIP関節30°の屈曲が起り、それ以上の牽引を加えると虫様筋の断裂を起し得ることを知った(図14-B)。

(c) 深指屈筋腱を虫様筋の起始部より末梢で延長した場合の指関節屈曲運動

No man's landにおける指屈筋腱断裂に対しては遊離腱移植術を行うが、その手術においては虫様筋の起始部より末梢にある深指屈筋腱を移植腱によって置換する。移植腱の長さは切除する深指屈筋腱の長さ等しいのが理想であるが、実際にはその長さにかんがりの差を生ずる。移植腱が短かすぎる場合には指の伸展が障害されるであろうが、移植腱が長すぎる場合にも指の屈曲運動が障害されると予想される。移植腱が長すぎた場合の指屈曲運動変化を確かめるために、標本手の深指屈筋腱を虫様筋腱起始部よりも末梢において延長し、その後深指屈筋腱に牽引を加えて指の屈曲運動変化を調べた。

(i) 深指屈筋腱を虫様筋の起始部より末梢で1cm延長した場合の指屈曲運動：牽引力が400gまでの弱い牽引ではMP関節、PIP関節及びDIP関節の夫々の屈曲角は基準屈曲角値と比較してかなりのばらつきがあった。然し牽引力が増加するにしたがって、夫々の関節の屈曲角は基準屈曲角に近い値をとり、ほぼ同じような曲線をたどって最大屈曲値に近づいた。即ちMP関節の最大屈曲角は77°で基準屈曲角の最大値

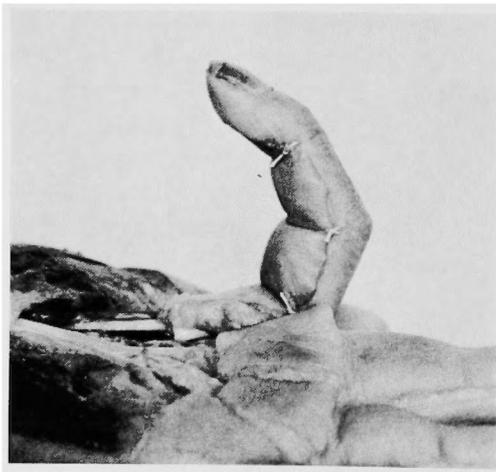


図17 標本実験：虫様筋短縮

82°よりやや小さい値を示したか、PIP 関節最大値 117°は基準屈曲角の 112°よりも大きく、DIP 関節の最大屈曲角 70°も基準屈曲角最大値 68°を上まわるので、指全体からみれば大差のない指の屈曲を示した。

以上の実験成績からして、深指屈筋腱が虫様筋の起始部より末梢で 1 cm 延長した場合には、それほど強い指の屈曲障害は起らないことがわかった (図18, 図14-C)。

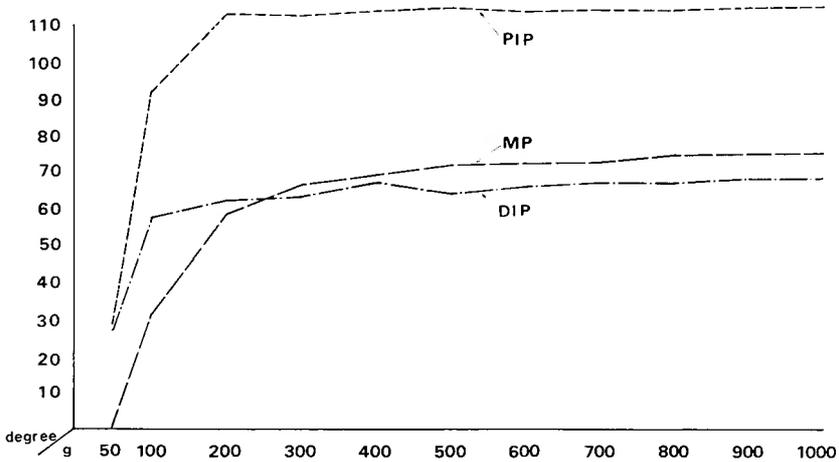


図18 虫様筋起始部よりも distal で深指屈筋腱を1cm延長した場合の指関節屈曲度

(ii): 深指屈筋腱を虫様筋の起始部よりも末梢で 2 cm 延長した場合の指屈曲運動: 深指屈筋腱を 2 cm 延長したのち、その腱を牽引すると、牽引力が増加するにしたがって夫々の指関節は次第に屈曲した。牽引力を 600g にまで増大すると虫様筋に強い力がかかり、3 例のうち 1 例において虫様筋の断裂が起こった。したがってここでは 50g から 500g までの牽引による実験成績を示した (図19)。

MP 関節は夫々の牽引力に応じた基準屈曲角の値とほぼ同じ値を示した。500g の牽引力では 74° の屈曲角を示し、基準屈曲角 74° と全く同じであった。PIP 関節は基準屈曲角よりも常に小さい値をとり、500g の牽引では屈曲角 102° であり、これは 500g の牽引に対する基準屈曲角 110° よりもかなり小さかった。DIP 関節も基準屈曲角と比べると常に小さい値をとり、500g の牽引において基準屈曲角 65° であるに対し、

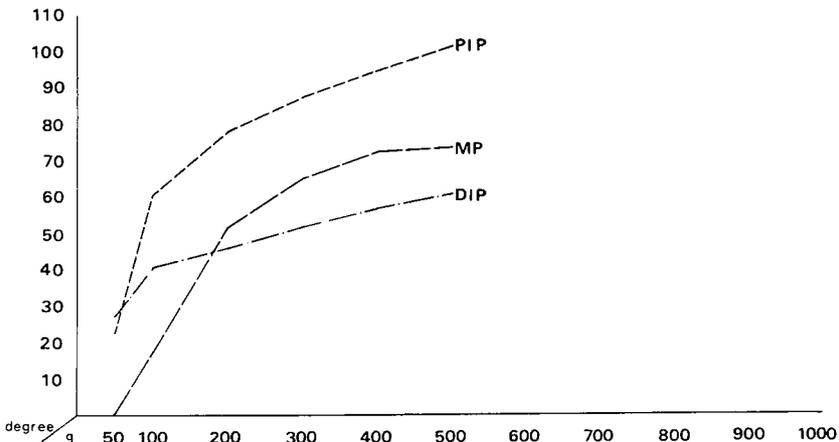


図19 虫様筋起始部よりも distal で深指屈筋腱を2cm延長した場合の指関節屈曲度

61°の屈曲角を示した。

この実験によって深指屈筋腱が虫様筋の起始部より末梢で2cm延長された場合には、MP 関節の屈曲は障害されないが、PIP 関節及び DIP 関節の屈曲運動はかなり制限されることがわかった (図14-D)。

(d) いくつかの組織損傷が重複した場合の指関節屈曲運動

Pulley, 虫様筋あるいは深指屈筋腱に種々な損傷を加えた場合に指屈曲運動が如何に変化するかについては前述した通りであるが、損傷が単一の組織に限局されず、2つ以上の組織に重複して存在する時に指の屈曲運動はどのように影響されるかということを知ることは重要であるから、次の実験においては、2つ以上の組織に損傷をもつ指の最大屈曲位の指型を比較検討した。

(i) 虫様筋切除と共に middle pulley 及び distal pulley を切除して proximal pulley のみを残した場合の指屈曲運動：前記の実験において、虫様筋を切除された指は1,000gの牽引に対してMP 関節68°、PIP 関節111°、DIP 関節59°の屈曲角を示すことが証明された。また middle pulley 及び distal pulley を切除して proximal pulley のみを温存した指では、MP 関節80°、PIP 関節113°、DIP 関節63°の最大屈曲位を示すことが証明された。即ちいずれの場合においても、指の屈曲制限は軽度であり、指尖手掌距離はほとんど広がらなかった。然し上記2つの条件を同時に複合せた指に牽引を加えて行くと、最大屈曲位ではMP 関節78°、PIP 関節104°、DIP 関節50°となり、指屈曲障害が強調されて現われるようになった。即ちMP 関節、PIP 関節及び DIP 関節のいずれにおいても僅かづつではあるが屈曲障害が強くなり、その結果として指全体の屈曲運動はかなり制限され、指尖手掌距離も広がった (図20-D)。

(ii) 虫様筋短縮と同時に middle pulley 及び distal pulley を切除した場合の指屈曲運動：前記の実験で明らかにされたように、虫様筋を短縮すると指の強い屈曲障害が発現し、最大屈曲位ではMP 関節80°、PIP 関節54°、DIP 関節30°の角度を示すようになる。また middle pulley 及び distal pulley を切除し、proximal pulley のみを温存した時にはMP 関節80°、PIP 関節113°、DIP 関節63°の最大屈曲位をとることが明らかにされている。それ故これら2つの損傷を重複させれば指は当然更に強い屈曲障害を起すものと予想される。ところが虫様筋短縮と共に middle

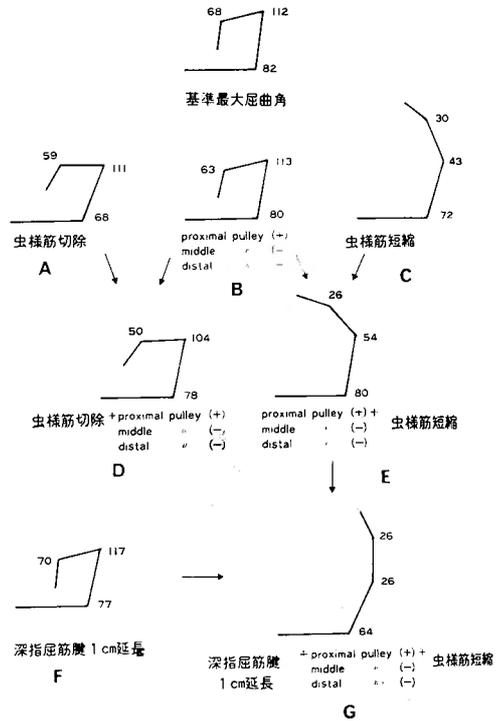


図20 種々な条件下における指型

pulley 及び distal pulley の切除を行った指の最大屈曲角を調べるとMP 関節80°、PIP 関節54°、DIP 関節26°を示した。即ちMP 関節及び PIP 関節では虫様筋短縮のみを行った指よりも強い屈曲を示した (図20-E)。この原因は明らかではないが、この実験に用いた指と虫様筋短縮のみを行って実験した指とは同一のもでなかったからこのような結果をもたらしたのかも知れない。然し虫様筋短縮と共に middle pulley 及び distal pulley の切除を加えても指の屈曲障害は増強されないであろうと推定される。

(iii) 深指屈筋腱を虫様筋起始部より distal で1cm延長し、middle pulley 及び distal pulley を切除し、更に虫様筋の短縮を行った場合の指屈曲運動：深指屈筋腱を1cm延長した時とか middle pulley 及び distal pulley を切除した場合、夫々単独の処置によっては、指にはそれほど強い屈曲障害は起こらないことを既に観察したが、それらの障害を虫様筋短縮に附加させると指の屈曲障害は最も強い形で発現した。即ち700gの牽引によって最大屈曲位をとり、MP 関節64°、PIP 関節26°、DIP 関節26°の最大屈曲角を示した。これらの角度は今までに行った実験の最大屈曲

値の中では最も小さい値であり、指尖手掌距離は最も長く、指全体の屈曲が強く障害されることがわかった(図21)。

以上に述べた種々な条件下での指関節最大屈曲角の指型図形を列挙すると図20の如くである。

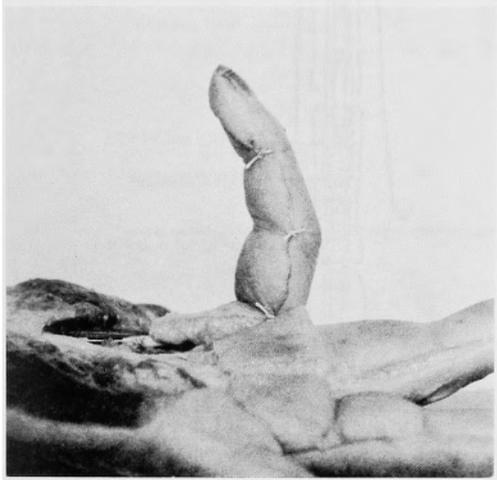


図21 標本実験：深指屈筋腱 1cm 延長
proximal pulley (+)
middle pulley (-)
distal pulley (-)
中 様節短縮

D. 小括

6個の標本手の指屈筋腱に牽引を加えて指の屈曲運動変化を観察した。5手14指の深指屈筋腱に50gから1,000gまでの牽引を加えてMP関節、PIP関節、DIP関節の屈曲角を測定し、各牽引力における夫々の関節の平均屈曲角を基準屈曲角と名づけた。1,000gの牽引によって得られた基準屈曲角の最大値はMP関節82°、PIP関節112°、DIP関節68°であった。種々な条件のもとで指の屈曲運動を観察し、基準屈曲角と比較した。

指の中にある pulley は機能的には3個に分けられるが、そのうちの1個を切除した場合に見られる指の屈曲角の変化は次の如くである。即ち proximal pulley とか distal pulley のごとく関節のすぐ末梢にある pulley を切除すると、それよりも中枢にある関節の屈曲角は増加し、それよりも末梢にある関節の屈曲角は減少する。これに反し middle pulley のように関節のすぐ中枢に存在する pulley を切除した場合には、それよりもすぐ末梢にある関節の屈曲角に減少がみられる。

2個の pulley を切除した場合には、その屈曲障害は更に強くなるが、その程度は指全体の屈曲運動を著しく障害するものではない。総ての pulley を切除した場合でも、掌側皮膚縫合により指屈筋腱の浮き上がりは或る程度防止することが可能であり、1,000gの牽引によってMP関節82°、PIP関節106°、DIP関節58°の屈曲ができる。

虫様筋を切除するとMP関節及びDIP関節の屈曲角度はやや減少するが、PIP関節屈曲角はよく保たれている。虫様筋を短縮するとMP関節はよく屈曲するが、PIP関節及びDIP関節の屈曲は非常に強く制限されるから指全体としての屈曲運動は著しく障害される。

深指屈筋腱を虫様筋の起始部より末梢で延長した場合、1cm延長しただけでは指の屈曲運動はあまり障害されないが、2cm延長するとPIP関節及びDIP関節にかなり強い屈曲制限を来す。

Pulley, 虫様筋あるいは深指屈筋腱の組織損傷を重複させた場合には、指の屈曲運動は更に障害される。深指屈筋腱延長、pulleyの切除と共に虫様筋短縮を付加した場合に指の屈曲運動は最も強く障害される。

Ⅳ：臨床症例における術後の指屈曲運動と標本実験結果との比較検討

標本実験によって pulley, 虫様筋あるいは深指屈筋腱に損傷がある場合には、その損傷に応じて指の関節屈曲角に変化が認められることを知った。このような標本実験で認められた指屈曲角変化が、臨床症例においても同様の解剖学的な組織損傷が存在する場合には観察できるものかどうかを調査した。

A. 臨床症例

昭和41年10月より昭和49年12月までの8年2ヶ月間に京都大学整形外科教室に記録された手の手術数は1,364例である。そのうち、母指の長母指屈筋腱損傷例を除外して、他の4指の屈筋腱が手掌内あるいは指の中で損傷された症例は117例であった。これらの症例に行った手術の内訳と手術した屈筋腱の数は遊離腱移植術59例76本、屈筋腱縫合術28例37本、浅指屈筋腱切除術2例2本、深指屈筋腱固定術5例5本、腱剝離術12例15本、腱移行術2例2本、腱前進術11例11本であった。

手術を行った症例の中で手術時における所見が明確に記載されていて pulley, 虫様筋及び深指屈筋腱が如

何に処理されたかが記録されているものを選び出した。それらの中で小指の屈筋腱損傷例は除外し、示指、中指、環指の屈筋腱損傷例のみを追跡調査し、標本実験の結果と比較した。

追跡調査は術後6ヶ月以上経過し、術後指屈曲運動の回復が完了したものを対象とした。骨、関節、神経、血管、皮膚などが高度に損傷され、指の屈曲運動に強い影響を与えると考えられる場合には、その症例は調査から除外した。また術後明らかに指屈筋腱癒着があると考えられる症例は標本実験結果との比較対象することは不相当と考えた。したがって標本実験結果との比較検討では、受傷時に指屈筋腱、pulley、虫様筋以外の組織はほとんど損傷されず、術後の関節拘縮もなく、明らかな癒着もなく、術後経過が極めて良好であった症例を選び出した。それらの症例の指屈曲運動時における指関節最大屈曲角を測定し、その値と標本実験によって得られた指関節最大屈曲角とを比較し、両者の間に相関関係が認められるかどうかを検討した。

B. 症例検討

上述した条件を満たす症例で特に興味ある所見を呈した代表的な9症例について詳述し、夫々の症例について検討を加えた。

症例1：津○光○，24才，男子。

現症：昭和48年3月6日実験中にプラスチックが破れ、破片で右手掌に切創をうけた。創はまもなく治癒したが、中指の屈曲運動時に弾撥を感じ、中指橈側ならびに示指尺側に知覚障害があるのに気づいた。

局所所見：右手掌中央部に約1cmの横走する皮膚癒痕を認めた。中指の屈曲運動時に弾撥を触知することができた。中指の深指屈筋腱の機能は正常であったが、浅指屈筋腱の機能は障害されていた。示指尺側ならびに中指橈側には知覚脱失が認められた。

診断名：①右中指浅指屈筋腱断裂，②第1総指神経断裂

手術所見：昭和49年3月28日に手術を施行した。中指の浅指屈筋腱は手掌中央部にて断裂し深指屈筋腱に癒着していたので、浅指屈筋腱を切除した。深指屈筋腱、pulley、虫様筋には手術操作を加えなかった。第1総指神経は手掌中央部にて縫合した(図22)。

術後経過：術後6ヶ月目の調査では、中指の自動屈曲可動域はMP関節 $0^{\circ}\sim 100^{\circ}$ 、PIP関節 $0^{\circ}\sim 104^{\circ}$ 、DIP関節 $0^{\circ}\sim 86^{\circ}$ であった(図23)。

検討：この症例においては浅指屈筋腱を切除したか

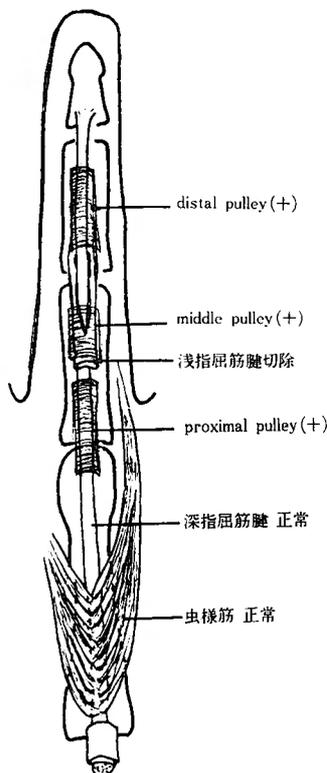


図22 症例1：T.M.

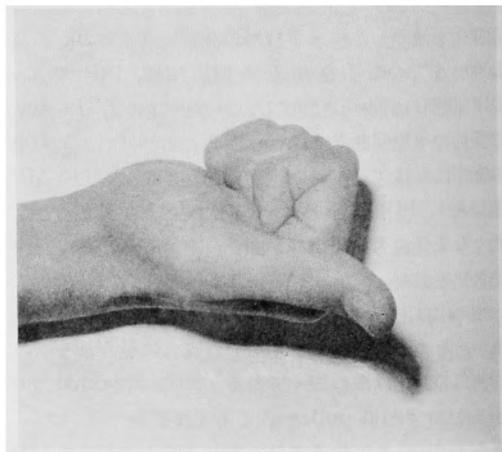


図23 症例1：津○光○

ら、中指の屈曲運動は深指屈筋腱のみによって行なわれる筈である。深指屈筋の癒着はなく長さも適正であり、しかも虫様筋やpulleyの損傷は全くない。もしno man's landにおける指屈筋腱損傷に対して理想

的な遊離腱移植術を行い得たとすれば、この症例に近似した指屈曲運動が得られるに違いない。遊離腱移植術によって得られる理想的な指屈曲運動はこの症例が示す如き指関節屈曲角であろう。

この症例と同じ条件を持つ標本実験の指関節屈曲角とを比較すると、その間にはかなりの差異がある。その中で最も目につく事柄は標本実験における MP 関

節最大屈曲角は 82° であるのに、この症例の MP 関節最大屈曲角は 100° であって 18° も増加している。PIP 関節はこれに反して 112° 対 104° と 8° の減少を示している。即ち臨床症例においては標本実験におけるよりも MP 関節屈曲角は増加し、PIP 関節の屈曲角は減少している (図24)。この差をもたらす原因は、標本実験では MP 関節の屈曲運動と PIP 関節及び

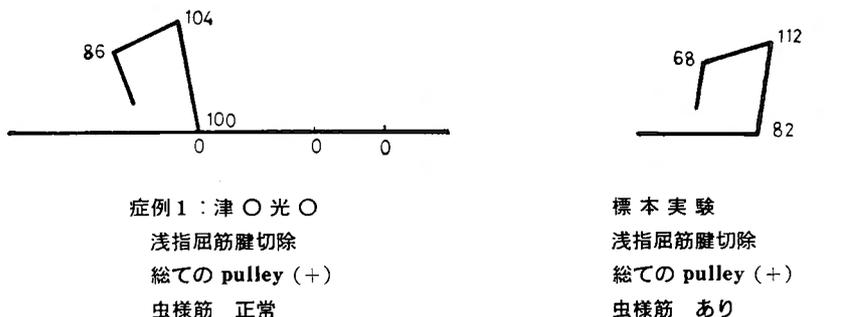


図24

DIP 関節の伸展運動を行う虫様筋や骨間筋は完全に麻痺した状態であるが、生体においては虫様筋や骨間筋がよく働き MP 関節を強く屈曲させ PIP 関節及び DIP 関節を伸展させるためであろう。MP 関節の強い屈曲はまた指の背側にある指伸筋腱を緊張させるので隣接する PIP 関節の屈曲運動を更に制限するものと考えられる。標本実験値と比較して臨床症例の MP 関節最大屈曲値が大きい傾向は後に記載する他の症例においても認められる。

症例 2 : 津 ○ 山 ○, 19才, 男子。

現症：昭和47年1月2日家の中で転倒し、ガラスコップの破片で右手掌に切創を受けた。創は一次的に治癒したが、右示指の屈曲運動ができないのに気づいた。同年1月28日に近医にて手術をうけたか、no man's land での指屈筋腱断裂といわれ腱縫合はされなかった。

局所所見：右示指中節の橈側から手掌にかけて皮膚瘻痕が認められた。示指の MP 関節の運動はほぼ正常であったが、PIP 関節及び DIP 関節の自動屈曲運動はほとんど認められなかった。示指の知覚障害は認められなかった。

診断名：右示指浅-及び深指屈筋腱断裂

手術所見：昭和47年3月21日に手術を施行した。浅-及び深指屈筋腱は共に断裂していた。浅指屈筋腱を

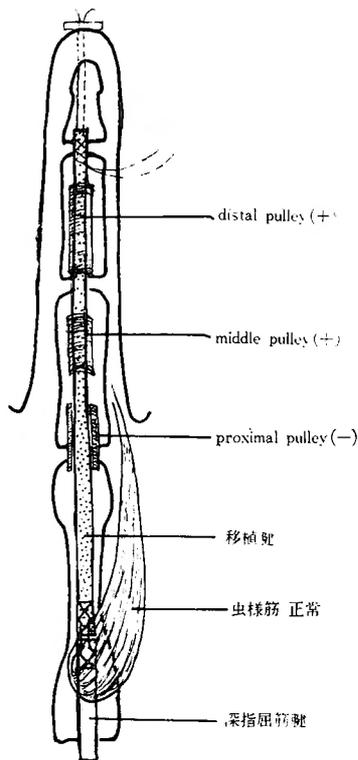


図25 症例 2 : T. N.

切除したのちに、長掌筋腱を用いて遊離腱移植術を行い深指屈筋腱の機能再建を計った。手術の際に指屈筋腱と共に強く損傷されていた proximal pulley は切除したか、middle pulley 及び distal pulley はそのまま放置した。虫様筋には手術操作は加えなかった(図25)。

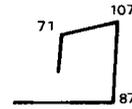
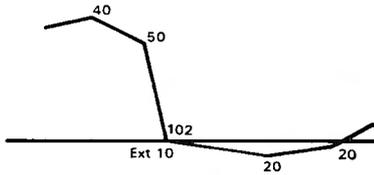
術後経過：術後2年4ヶ月経過した時点においては深指屈筋腱はよく機能しており、癒着もほとんどないと考えられた。然しその指屈曲運動はかなり制限されており、最大屈曲角はMP関節では102°、PIP関節50°、DIP関節40°であった(図26)。

検討：実験標本において proximal pulley のみを除いた実験結果とこの症例の指屈曲角とを比較した。実験標本において proximal pulley のみを切除した場合にはMP関節の屈曲角は増加し、PIP関節の屈曲角は減少する。Proximal pulley が切除されたこの症例でもMP関節の屈曲角増加とPIP関節の屈曲角減少が見られるが、その傾向は標本実験結果と比較して極めて著しい。即ち標本実験では最大屈曲角は



図26 症例2：津○山○

MP関節87°、PIP関節107°、DIP関節71°であるが、この症例においてはMP関節102°、PIP関節50°、DIP関節40°である(図27)。症例1において



症例2：津○山○

- 遊離腱移植術
- proximal pulley (-)
- middle pulley (+)
- distal pulley (+)
- 虫様筋 正常

標本実験

- 深指屈筋腱の長さは正常
- proximal pulley (-)
- middle pulley (+)
- distal pulley (+)
- 虫様筋 あり

図27

も虫様筋や骨間筋の作用によってMP関節の屈曲角は標本実験のそれよりも18°も増加していたが、この症例でも15°の増加が認められた。MP関節の屈曲角が増加すれば、指伸筋腱の緊張度は高まり、PIP関節の屈曲運動を困難にする。更に proximal pulley が欠如するので深指屈筋腱はMP関節部にて bow stringing を起し、この腱の相対的な延長が起るのでPIP関節に対する屈曲力は減弱する。このように指伸筋腱の緊張増加と指屈筋腱の屈曲力減弱とが相まって、この症例の如くPIP関節の著しい屈曲制限が起

るものと考えられる。

症例3：炭○勇, 40才, 男子。

現症：昭和46年5月4日換気扇の羽根で左中指DIP関節掌側に切創をうけた。創は間もなく治癒したが、受傷後10日目に左中指DIP関節の屈曲運動ができないことに気づいた。

局所所見：中指の遠位掌側指皮膚線にほぼ一致して皮膚瘢痕が認められた。中指のMP関節及びPIP関節の屈曲運動は正常であったが、DIP関節の自動屈曲運動は不能であった。指尖の知覚異常は認められな

かった。

診断名：左中指深指屈筋腱断裂

手術所見：昭和47年1月11日に手術を施行した。中指の深指屈筋腱は停止部より約0.5cm中樞で断裂していた。瘢痕切除後に pull-out wire 法を用いて中樞腱の腱前進術 (tendon advancement) を行った。したがって中指の深指屈筋腱は約0.5cm短縮されたことになる。その際 distal pulley 及び middle pulley は切除した。深指屈筋腱前進術に伴い虫様筋起始部も末梢へ移動し、この筋は弛緩した筈である (図28)。

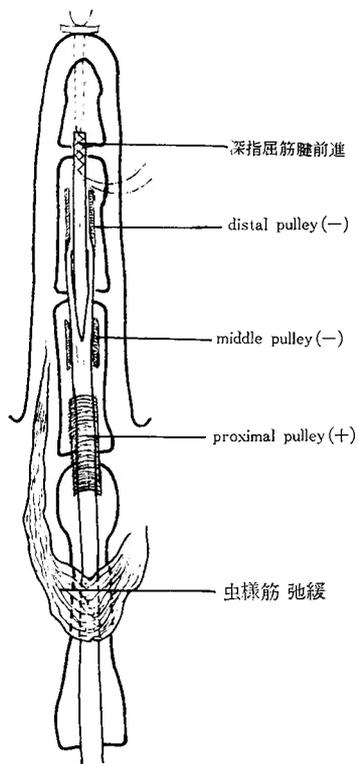


図28 症例3：S. I.

術後経過：術後1年2ヶ月目の調査では、中指の最大屈曲角は MP 関節 82° 、PIP 関節 90° 、DIP 関節 40° であった。但し中指は完全には伸展できず、PIP 関節 10° 、DIP 関節 22° の伸展制限が認められた (図29)。

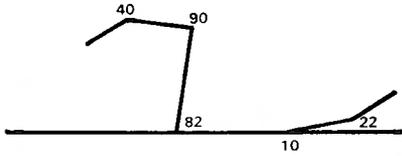
検討：標本実験において middle pulley 及び distal pulley を切除すると、PIP 関節並びに DIP 関節の屈曲角が減少した。この標本実験結果とこの症例の指関節最大屈曲角とを対比させてみた。標本実験の



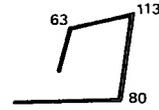
図29 症例3：炭○男

MP 関節最大屈曲角は 80° であったが、この症例では 82° であり、症例の MP 関節最大屈曲角の方が僅かながら増大している。症例1, 2で見られた程には MP 関節が屈曲していないのは虫様筋起始部が末梢へ移動し、虫様筋が弛緩しているためであろう。

PIP 関節の屈曲運動をみると、標本実験の PIP 関節最大屈曲角 113° に対し、この症例は 90° である。DIP 関節においても標本実験の最大屈曲角 63° に対し、症例では 40° である (図30)。即ち、middle pulley 及び distal pulley の欠除による PIP 関節並びに DIP 関節の屈曲角減少傾向は標本実験においても臨床症例においても認められるが、臨床症例においてその傾向が特に著しいことがわかる。臨床症例において PIP 関節や DIP 関節にこのような著しい屈曲角減少をもたらす原因として先づ考えられることは、虫様筋や骨間筋の作用により MP 関節が強く屈曲し、それに伴って指伸筋腱の緊張が高まり、PIP 関節及び DIP 関節の屈曲を制限することである。もう1つの原因としては、皮膚の伸縮性が実験標本と臨床症例とは大いに異なる点である。標本実験では皮膚の伸縮性がほとんどないので、pulley が除去されても、伸縮性のない皮膚が指屈筋腱を押えて bow stringing を起さないが、臨床症例においては皮膚がよく伸びるので pulley が除去されると深指屈筋腱の強い bow stringing が起こる。Bow stringing が起こることにより、指屈筋腱は指の長さに対して相対的に延長されたことになり、PIP 関節や DIP 関節に対する屈曲力が低下



症例3：炭 ○ 勇
 深指屈筋腱前進術
 深指屈筋腱短縮
 proximal pulley (+)
 middle pulley (-)
 distal pulley (-)
 虫様筋 弛緩



標本実験
 深指屈筋腱の長さは正常
 proximal pulley (+)
 middle pulley (-)
 distal pulley (-)
 虫様筋 あり

図30

するものと考えられる。一般的に云えば、pulley を切除すると標本実験におけるよりも臨床症例において強い指関節屈曲制限が起る。

なお深指屈筋腱を0.5cm前進させたために生ずる腱の短縮はPIP関節並びにDIP関節の軽度な伸展制限を起すが、指屈曲運動にはほとんど影響を与えていないと考えられる。

症例4：上○綾，6才，女子。

現症：2才のとき牛乳瓶の破片にて右手掌に切創をうけた。創は一次的に治癒したが、示指の屈曲運動が不能であることに気付き、2ヶ月後に断裂していた示指の浅及び深指屈筋腱の縫合術をうけた。然し術後においても示指の屈曲運動はなお不能であった。

局所所見：右示指基部の手掌に皮膚癒痕があり、更に示指基節橈側から遠位手掌にかけて手術による皮膚癒痕を認めた。示指のPIP関節及びDIP関節の自動運動は全く認められなかった。知覚障害の有無は明確にはわからなかった。

診断名：右示指浅並びに深指屈筋腱断裂

手術所見：昭和42年2月7日に手術を施行した。示指の浅指屈筋腱は遠位手掌内では切除されており、中枢腱は中手骨骨底部に、末梢腱は基節骨に癒着していた。深指屈筋腱は癒痕組織でMP関節掌側に強く癒着していた。第1虫様筋は断裂されて癒痕化していた。指神経は2本とも断裂していた。

長掌筋腱を用いて遊離腱移植術による示指の深指屈筋腱を修復した。その際、総てのpulleyを切除した。また癒痕化していた虫様筋も切除した(図31)。

術後所見：術後4年目の調査ではMP関節の自動屈曲可動域は0°~80°、PIP関節0°~60°、DIP関

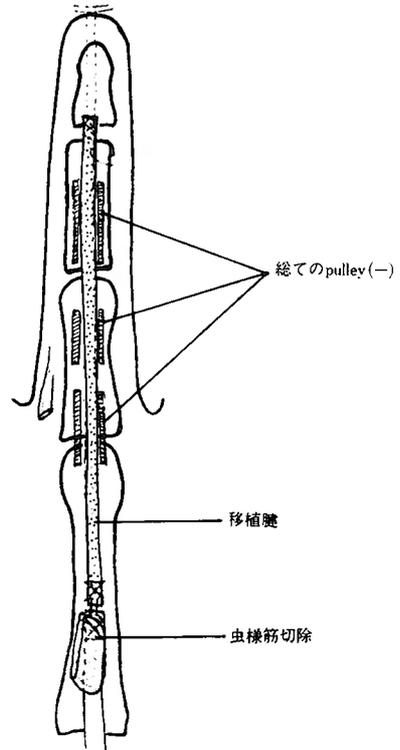


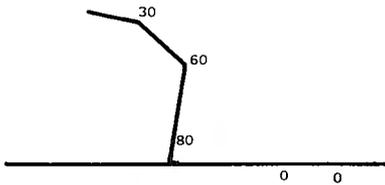
図31 症例4：U. A.

節0°~30°であった(432)。

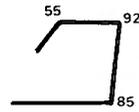
検討：標本実験において総てのpulleyと虫様筋とを切除し、その実験結果とこの症例の指関節屈曲角とを比較した。標本実験における最大屈曲角はMP関節85°、PIP関節92°、DIP関節55°であり、この症



図32 症例4：上 綾



症例4：上 ○ 綾
遊離腱移植術
総ての pulley (-)
虫様筋 切除



標本実験
深指屈筋腱の長さは正常
総ての pulley (-)
虫様筋 切除

図33

している。この減少は総ての pulley が切除されているために指屈筋腱の bow stringing が起るためであろう。標本実験結果と比較して、この症例の PIP 関節及び DIP 関節屈曲運動角が著しく減少しているのは、実験標本におけるよりも生体の皮膚がよく伸びるために指屈筋腱の bow stringing は更に強くなり、指関節に対する指屈筋の作用力が弱められるためである。pulley の切除による指関節屈曲障害は標本実験におけるよりも臨床症例において著しく発現することが、この症例においてもよく観察できた。

症例5：津○徹，5才，男子。

現症：昭和42年10月5日路上で転倒し，落ちていたガラス片にて手根部に切創をうけた。創は一次的縫合をうけて治ったが，母指の IP 関節及び示指の DIP

例の MP 関節 80°，PIP 関節 60°，DIP 関節 30°よりも大きな値を示している (図33)。

この症例においては MP 関節最大屈曲角が標本実験における MP 関節最大屈曲角よりも減じている点特に注目される。症例 1, 2, 3 においては，対応する標本実験と比較して，いずれの MP 関節も最大屈曲値の増加を示していた。これらの臨床症例における MP 関節屈曲角の増加は虫様筋並びに骨間筋の作用に基くものであろうと推論した。症例4においては虫様筋は切除されており，勿論虫様筋の作用はない。それ故この症例において MP 関節屈曲角が減少している事実は，前述した症例における MP 関節屈曲運動の増加が虫様筋の作用に基くという推論が正しいことを立証し，MP 関節屈曲運動は虫様筋の存否により非常に強く影響されることを示している。

PIP 関節や DIP 関節に関しては，標本実験と同様にこの症例においても，それらの関節の屈曲角が減少

関節の自動屈曲運動ができないのに気づいた。

局所所見：右手根部に皮膚瘢痕が認められた。示指の MP 関節，PIP 関節の運動は正常であったが，DIP 関節の自動運動は全く認められなかった。また母指 IP 関節の自動運動は全く認めなかった。

診断名：右示指深指屈筋腱並びに長母指屈筋腱断裂

手術所見：示指の深指屈筋腱は手根部にて断裂されていたが，瘢痕組織にて連続性を保ち，約 1.3cm 延長されて連続していた。深指屈筋腱から起始する虫様筋も断裂され瘢痕化していた。長母指屈筋腱は手根管内で完全に断裂していた。

瘢痕組織を切除したのち，示指の深指屈筋腱は鋼線で端々縫合した。瘢痕化していた虫様筋も切除した。浅指屈筋腱や pulley には手術操作を全く加えなかつ

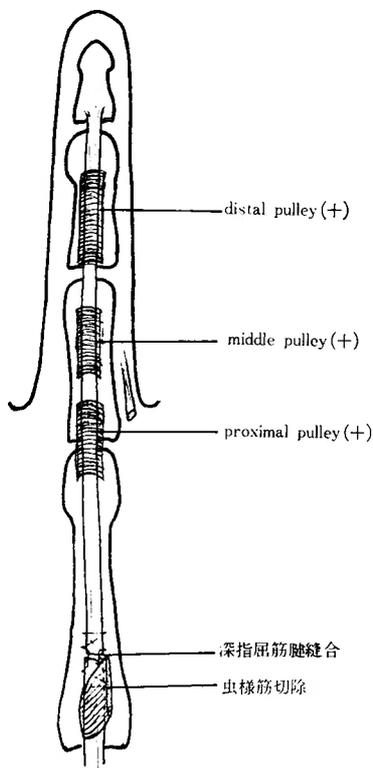


図34 症例 5 : T. T.

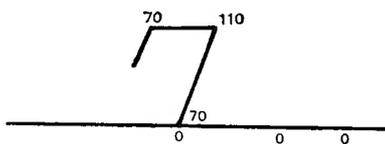
た. 長母指屈筋腱は端々縫合した (図34).

術後経過: 術後3年2ヶ月経過した調査時には示指の自動可動域は MP 関節 $0^{\circ} \sim 70^{\circ}$, PIP 関節 $0^{\circ} \sim 110^{\circ}$, DIP 関節 $0^{\circ} \sim 70^{\circ}$ であった (図35).

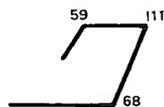


図35 症例 5 : 津○徹

検討: この症例においては虫様筋が切除されたが, 総ての pulley は温存され, 深指屈筋腱もそのまま縫合されたので正常な長さを保っていると考えられる. 虫様筋のみを切除して, 条件を同じにした標本実験の結果とこの症例の指関節最大屈曲角とを比較した. 標本実験では MP 関節 68° , PIP 関節 111° , DIP 関



症例 5 : 津 ○ 徹
深指屈筋腱縫合
総ての pulley (+)
虫様筋 切除



標本実験
深指屈筋腱の長さは正常
総ての pulley (+)
虫様筋 切除

図36

節 59° の最大屈曲角を示したが, この症例の MP 関節 70° , PIP 関節 110° , DIP 関節 70° とは非常に近似した屈曲角を示す (図36). 即ち虫様筋がないために両者とも MP 関節屈曲角は減少するが, PIP 関節及び DIP 関節の屈曲角は減少しないから, 指全体としての屈曲運動はほとんど障害されることがわかる. 云いかえれば, 虫様筋が切除された場合には MP 関節の屈曲角は減少するが, PIP 関節及び DIP 関節

の屈曲運動はほぼ正常に保たれるので, 指尖手掌間距離は 0 cm か或いはそれに近い値を示すことになる.

臨床症例の指屈曲角を標本実験結果と比較する時には, 臨床例においては虫様筋が機能しているが標本実験では虫様筋の機能がいない点に留意すべきである. 虫様筋が機能するか否かによって指の屈曲運動は当然変化する. この変化が臨床症例と標本実験における指関節屈曲角の差として現われて来る. この症例のように

虫様筋が切除され、虫様筋の問題が全く無視できる場合には標本実験結果とほぼ一致することがわかる。

症例 6：川○寿○子，52才，女子。

現症：昭和42年12月3日右中指基節をノミで突き刺した。創は治癒したが、右中指の自動屈曲運動ができず、中指の知覚がないのに気づいた。

局所所見：中指基節の指分岐部橈側掌側に刺創瘢痕があった。中指の PIP 関節及び DIP 関節の自動屈曲運動は認められなかった。中指の橈側に知覚脱失を認めた。

診断名：①右中指浅-及び深指屈筋腱断裂，②固有橈側掌側中指神経断裂

手術所見：昭和43年7月9日に手術を施行した。浅指屈筋腱，深指屈筋腱及び pulley 相互の癒着が強く，pulley を温存することはできず，総ての pulley を切除した。浅-及び深指屈筋末梢腱を切除したのち，長掌筋腱を用いて遊離腱移植術によって深指屈筋腱の修復を行った。移植腱の中樞縫合部は周囲組織との癒着を予防するために虫様筋の一部で被った(図37)。

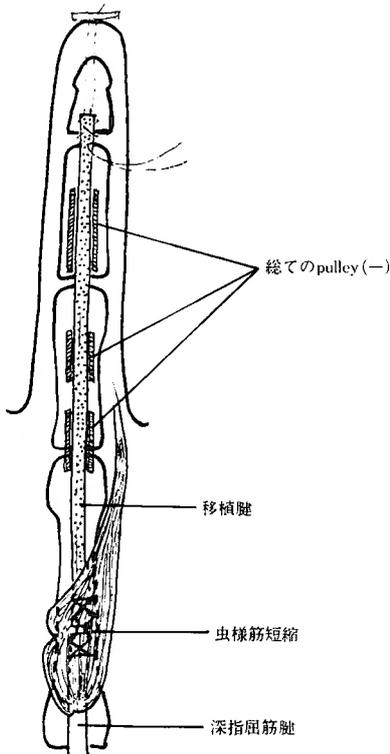


図37 症例 6：K. S.

術後経過：術後2年5ヶ月の調査時には、右中指の屈曲運動角は MP 関節0°～70°，PIP 関節0°～20°，DIP 関節10°～20°であった(図38)。Pulley が欠除

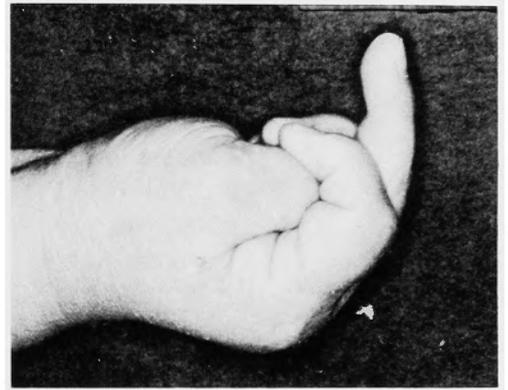


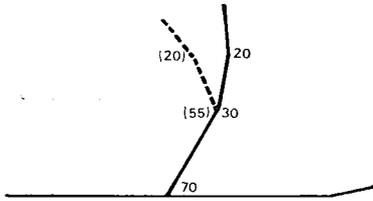
図38 症例 6：川○寿○子

するために指屈筋腱の bow stringing が著明であった。Bow stringing を少くするために中指基節に指環をはめさせると，PIP 関節最大屈曲角は55°にまで増加した。

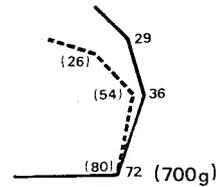
検討：この症例では腱移植術を行った際に総ての pulley を切除したばかりでなく，移植腱の中樞縫合部を虫様筋の一部で包んだ。この操作によって虫様筋は短縮された筈である。実験標本においても総ての pulley を切除したのちに虫様筋を短縮して実験を行い，その実験結果とこの症例の指関節屈曲角とを比較してみた。

この症例では指の最大屈曲角は MP 関節70°，PIP 関節30°，DIP 関節20°であり，標本実験における MP 関節72°，PIP 関節36°，DIP 関節29°の成績と著しく近似した値を示している。またこの症例において基節に指環をはめさせると PIP 関節の最大屈曲角は30°から55°に増加するが，これは標本において，虫様筋を短縮すると共に middle pulley 及び distal pulley を除去して，proximal pulley のみを残した時の PIP 関節最大屈曲角54°と極めて近似した値である(図39)。

総ての pulley が切除された場合には，症例4における如く指の屈曲運動はかなり制限されるが，この症例に見られる程の強い指屈曲運動障害は起って来ない。この症例では総ての pulley を切除した上に移植腱の中樞縫合部を虫様筋で被ったために虫様筋の機能的伸縮距離が短縮され，PIP 関節並びに DIP 関節の



症例6：川○寿○子
遊離腱移植術
総ての pulley (-)
虫様筋 短縮
(点線は指環をはめた時の指屈曲角)



標本実験
深指屈筋腱の長さは正常
総ての pulley (-)
虫様筋 短縮
(点線は proximal pulley は残したが他の条件は総て同じである時の指屈曲角)

図39

屈曲運動が強く制限されたものと考えられる。

症例7：野○恵○，6才，女子。

現症：昭和48年10月8日包丁で左示指の PIP 関節のすぐ中枢部に切創をうけた。近医にて創傷処置を受けたが左示指 DIP 関節の屈曲運動ができなくなった。

局所所見：左示指の中央掌側指皮膚線のすぐ中枢部に横走る皮膚癒痕が認められた。示指の MP 関節並びに PIP 関節の運動はほぼ正常であったが，DIP 関節の自動屈曲運動は全く認められなかった。知覚障害は認められなかった。

診断名：左示指深指屈筋腱断裂

手術所見：昭和49年2月5日に手術を施行した。浅指屈筋腱は損傷されていなかったで温存した。深指屈筋腱は完全に断裂しており，中枢腱は手掌内にまで引き込まれていた。深指屈筋腱の端々縫合をすることはできなかったので，6cmの長掌筋腱を用いた遊離腱移植術によって深指屈筋腱の修復を行った。移植腱の中枢端は鋼線による criss-cross 縫合法を用いて深指屈筋腱と縫合し，末梢端は pull-out 鋼線を用いて末節骨に固定した。移植腱の中枢縫合部の虫様筋による被覆は行なわなかった。Proximal pulley 及び middle pulley はそのまま温存し，distal pulley の一部だけを切除した(図40)。

術後経過：術後1年10ヶ月目の調査時には，左示指の自動屈曲運動は MP 関節 0°~92°，PIP 関節 0°~94°，DIP 関節 0°~60° であった(図41)。

検討：この症例においては虫様筋には手術操作を加えず，総ての pulley は温存され，浅指屈筋腱も温存

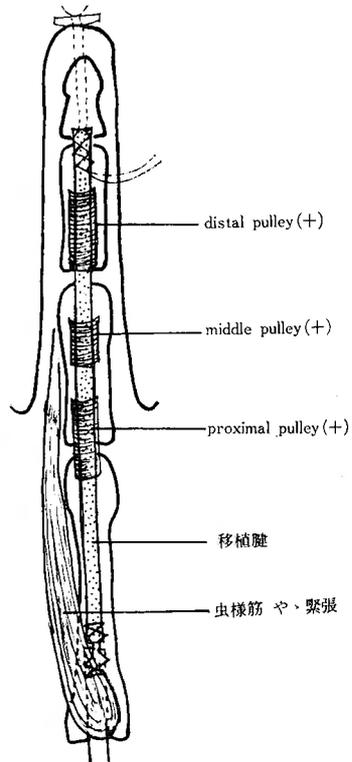
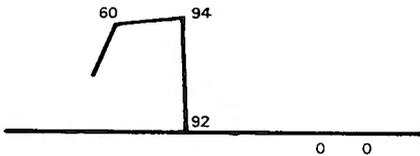


図40 症例7：N. K.

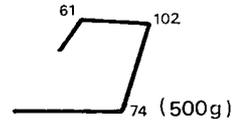
されたのであるから理想的な遊離腱移植術が行なわれたならば，この指は全く正常な屈曲運動を行う筈である。しかるに術後調査では PIP 関節並びに DIP 関



図41 症例7：野○恵○



症例7：野○恵○
遊離腱移植術
総ての pulley (+)
虫様筋 正常
移植腱長過ぎ?



標本実験
深指屈筋腱2cm延長
総ての pulley (+)
虫様筋 あり

図42

し筋力が低下すると考えられる。したがって DIP 関節に作用する深指屈筋の力は減弱する。このようなメカニズムによって深指屈筋腱が延長されたり、移植腱が長過ぎたりすると、標本実験においても臨床症例においても、DIP 関節に作用する深指屈筋の力は減弱する。この症例における DIP 関節最大屈曲角 60° が標本実験における DIP 関節最大屈曲角 61° とほぼ同じなのはこのような理由によるものであろう。尚、臨床症例においてはある程度虫様筋が収縮するので標本実験におけるよりも MP 関節屈曲角は増大し、PIP 関節屈曲角は減少するものと考えられる。

症例8：市○徳○郎，6才，男子。

現症：昭和40年8月にガラス破片にて左示指に切創をうけ、その後指の屈曲運動ができなくなった。

局所所見：左示指の中節に切創瘢痕があり、PIP 関節及び DIP 関節の自動屈曲運動は不能であった。知覚障害はなかった。

診断名：左示指浅-及び深指屈筋腱断裂

節の屈曲角が減少していた。とくに DIP 関節の最大屈曲角が減少しているのは移植腱の長さに関係するのではないかと考えられる。

実験標本において虫様筋と pulley には操作を加えず、深指屈筋腱を手掌内で2cm延長したのちに実験を行った。この標本実験の結果とこの症例の指関節最大屈曲角とを比較した。標本実験では500g以上の牽引力をかけると虫様筋は過緊張によって断裂した。500gの牽引によって得られた指屈曲角はMP関節 74° 、PIP関節 102° 、DIP関節 61° であった(図42)。この症例においても、もし移植腱が長過ぎれば虫様筋に力がかかり過ぎて深指屈筋の十分な収縮を抑制するか、あるいは移植腱が長過ぎるために深指屈筋が弛緩

手術所見：昭和42年3月22日に手術を施行した。浅指屈筋腱及び深指屈筋腱は共に no man's land の中で断裂していた。浅-及び深指屈筋腱を切除したのち、長掌筋腱による遊離腱移植術によって深指屈筋腱の修復を行った。虫様筋は損傷を受けていなかった。Proximal pulley は約1cm, middle pulley は約0.5cm温存したが、distal pulley は完全に切除した(図43)。

術後経過：術後3年9ヶ月目の調査時には、左示指の自動屈曲運動はMP関節 $0^\circ \sim 90^\circ$ 、PIP関節 $0^\circ \sim 70^\circ$ 、DIP関節 $0^\circ \sim 35^\circ$ であった(図44)。

検討：標本実験において distal pulley のみが切除された場合には DIP 関節の屈曲角がほんの僅か減少したに過ぎなかった(図12-A)。この症例においては distal pulley が切除されているが、それだけの組織損傷では PIP 関節及び DIP 関節屈曲角の著しい減少は惹起されない筈である。この原因は distal pulley の欠除とともに、症例7と同様に移植腱が長過ぎたと

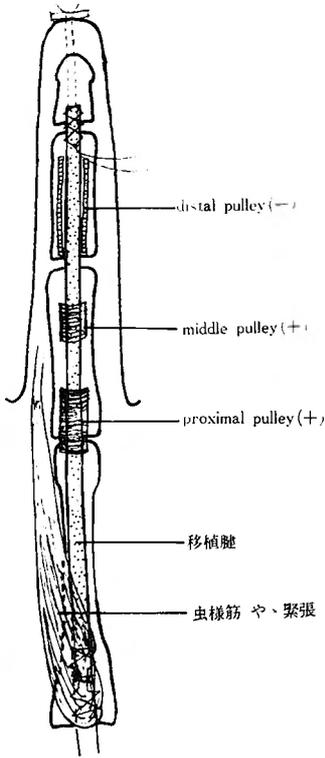


図43 症例 8 : I. T.

考えられた。

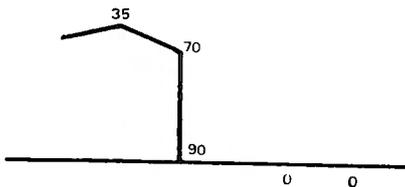
標本では distal pulley を切除し、深指屈筋腱を 2 cm 延長して実験を行った。この標本実験では 500g 以上の牽引力をかけると虫様筋に強い力がかかり、虫様筋の断裂が起った。したがって 500g の牽引をかけた



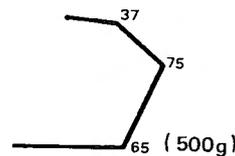
図44 症例 8 : 市○徳○郎

時の標本実験結果とこの症例の指関節最大屈曲角とを比較した。標本実験では MP 関節 65°, PIP 関節 75°, DIP 関節 37° の屈曲角を示し、この症例における MP 関節 90°, PIP 関節 70°, DIP 関節 35° と比較すると、MP 関節ではこの症例の屈曲角が大きい値を示し、PIP 関節では標本実験値の方が大きな値をとり、DIP 関節では症例と実験値とはほぼ同じ値を示すことがわかった (図45)。

症例7のところでも述べた如く移植腱が長過ぎれば虫様筋に力がかかり過ぎて深指屈筋の収縮を抑制するか、あるいは移植腱が長過ぎるために深指屈筋が或る程度弛緩し筋力が低下すると考えられる。したがって DIP 関節に作用する深指屈筋の力は減弱し、標本実



症例 8 : 市○徳○郎
遊離腱移植術
proximal pulley (+)
middle pulley (+)
distal pulley (-)
虫様筋 正常
移植腱 長過ぎ



標本実験
深指屈筋腱2cm延長
proximal pulley (+)
middle pulley (+)
distal pulley (-)
虫様筋 あり

図45

験において500gの牽引力をかけたときほぼ同じ DIP 関節屈曲角を示すものと考えられる。尚、この症例では、標本実験結果と比較して、MP 関節屈曲角が大きく、PIP 関節屈曲角が小さいのは、症例1のところて述べた如く虫様筋の作用によるものであろう。

ではこの症例や症例7に見られる如き移植腱の長過ぎは何故起るのであろうか。手術時に移植腱の長さを決定するには種々な方法が提唱されている。現在最も一般化している方法は術中に正常な指の屈曲度とほぼ同じか、あるいはそれよりも少し強く屈曲させる方法である。然し Colville 等が述べている如く術中にこのような方法を用いて正確な移植腱の長さを決定するのは決して容易ではない。新鮮例においては断裂された深指屈筋腱の中樞腱は虫様筋の緊張によって強く中樞へ引き込まれることはないが、陳旧例においては深指屈筋腱の収縮力が虫様筋の緊張に打ち勝って長期間収縮したままの状態に保たれ、中樞腱は中樞側に強く引き込まれる。収縮状態が長期間継続すると、その筋には他の指の深指屈筋とはかなり異なる筋緊張状態に陥るものと考えられる。したがって他の指の屈曲度に合わせて移植腱の長さを決定しようとするれば、その移植腱は正常な腱の長さより長くならざるを得ないであろう。

更に考慮しなければならぬもう1つのことは腱の縫合法であろう。移植腱を縫合する方法としては Bunnell により推奨された criss-cross 縫合法とそれを応用した pull-out wire 法が最もよく使われる。鋼線を用いた criss-cross 縫合法では2本の腱の接合を確実にするため接合部の腱をある程度迄締めつけ波打つ状態 accordion effect を作るのが必要とされている(図46)。⁴³⁾ したがって移植腱の一方の端1.5cmに criss-cross 鋼線をかけ、10cmの長さにまで締めた場合には移植腱の両端を合わせて1cmの腱の締めつけが

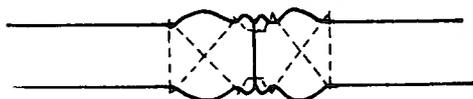
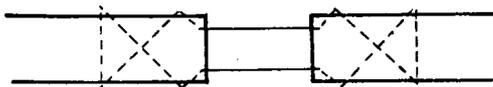


図46 Criss-cross 縫合法と accordion effect

起っている筈である。術後鋼線を抜去したり、鋼線がゆるんだりして締めつけられた部分が伸びると、移植腱は結局1cm延長されたことになり、手術時には適正と考えられた移植腱の長さよりも1cm長くなり過ぎる。このように指屈筋の緊張度とか縫合法を考慮すると移植腱が1~2cm長過ぎることが臨床で容易に起り得ると考える。

この症例においては、distal pulley が欠除しているばかりでなく、移植腱が長過ぎたために指の屈曲運動制限が起ったものと考えられる。

症例9：堤○志○, 23才, 男子。

現症：昭和43年6月11日一升瓶の底が割れて右手掌に切創をうけた。近医にて直ちに救急処置をうけ、創は一次的に治癒した。しかし、母指を除く総ての指は屈曲運動ができず、しかも手掌に激しい痛みを訴えた。

局所所見：右手掌に横走る皮膚瘻痕が認められた。瘻痕より末梢の手掌と示指、中指、環指、小指には知覚脱失が認められた。指関節には拘縮はなかったが、示指、中指、環指、小指の自動屈曲運動は全く認められなかった(図47)。



図47 症例9：T. T.

診断名：①右示指・中指・環指・小指の浅及び深指屈筋腱断裂、②固有橈側掌側示指神経、第1, 2, 3 総掌側指神経、固有尺側小指神経断裂

手術所見：手根管より少し末梢で示指・中指・環指・小指へ行く総ての浅指屈筋腱並びに深指屈筋腱は断裂していた。総ての虫様筋はその起始部にて断裂し、

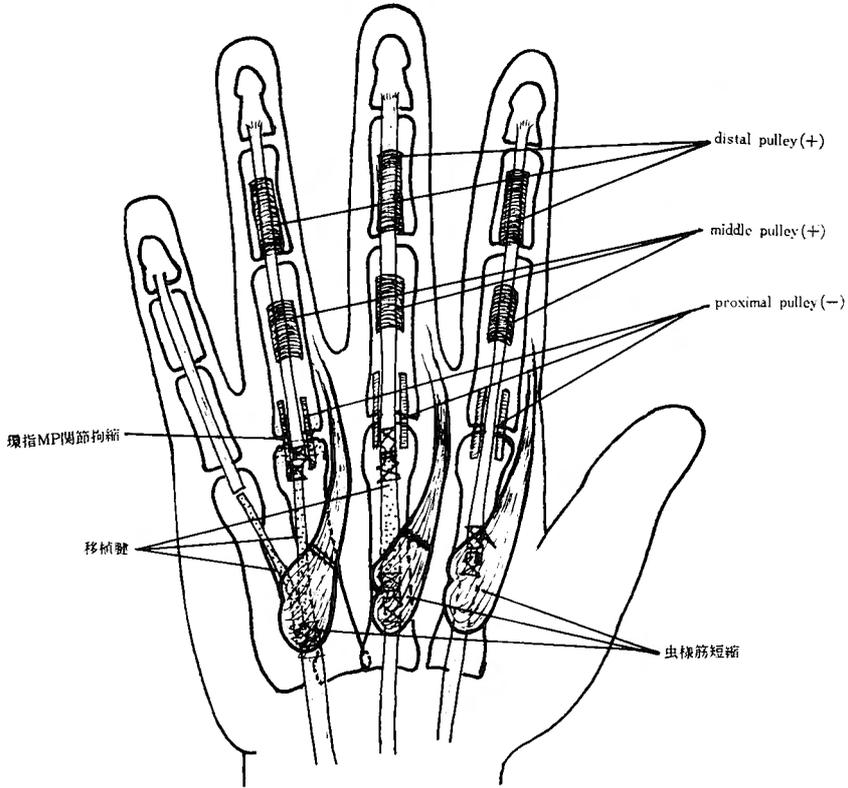


図48 症例 9 : T. T.

癒化していた。然し第1虫様筋の一部は断裂からまぬがれて示指の深指屈筋腱に附着していた。そのため示指深指屈筋腱の中枢腱は第1虫様筋に保持され、あまり中枢側には引っ込んでいなかった。他の虫様筋は完全に断裂していたので、中指・環指・小指の深指屈筋腱は中枢側へ深く引っ込んでいた。

手掌内で4本の浅指屈筋腱を切除したのち、深指屈筋腱断端部の癒化も完全に切除した。示指の深指屈筋腱はあまり中枢側には引っ込んでいなかったから、中枢腱と末梢腱との離間距離は比較的短かった。それ故、中枢腱と末梢腱とを先ず手掌内で端々縫合し、次いで前腕内の筋腱移行部で適正な長さにまで延長した。手掌内の腱縫合部は虫様筋で被った。中指の深指屈筋腱は、約4cmの足底筋腱の遊離腱移植術によって修復した。周囲との癒着を防ぐために末梢腱縫合部は虫様筋で被った。腱の縫合法としては両端ともに criss-cross 鋼線法を用いた。環指・小指の深指屈筋腱の修復も、同様に夫々約4cmの長掌筋腱の遊離腱移

植によって行った。但し、前腕内において環指と小指との深指屈筋腱は分離できず、2本の移植腱の中枢腱は共通した1本の深指屈筋腱に縫合した。尚、proximal pulley による腱縫合部の滑動障害を避けるために総ての proximal pulley を除去した(図48)。

術後経過：術後2年2ヶ月の調査では、示指の自動屈曲運動は MP 関節 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 、PIP 関節 $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 、DIP 関節 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ であった。中指の自動屈曲運動は MP 関節 $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 、PIP 関節 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 、DIP 関節 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ であった。環指には MP 関節の強い拘縮があり、他動関節可動域は $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ に過ぎなかった。したがって環指の自動屈曲運動は MP 関節 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 、PIP 関節 $0^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 、DIP 関節 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ であった(図49)。

検討：この症例においては示指・中指・環指は夫々異った条件を持ち、異った形式の指屈曲運動をしている。示指においては、他の指と異なり深指屈筋腱はあまり中枢へ引っ込んでおらずほぼ正常な筋緊張度を保っていたであろうし、腱延長術によって腱の長さが調

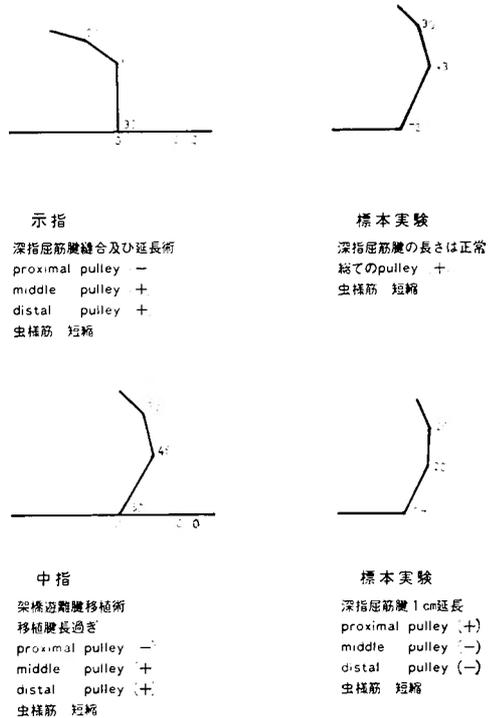


図49 症例9：提○与○雄

整されたから深指屈筋腱の長さはほぼ適正であると考えられる。したがって示指の屈曲障害は手掌内の腱縫合部を虫様筋で被ったために起った虫様筋の短縮と proximal pulley の欠除に起因すると考えられる。中指においても虫様筋の短縮と proximal pulley に起因する屈曲運動障害が起る筈である。更に中指の深指屈筋腱は長期間中枢側に引っ込んでいたから筋緊張度は変化していた筈であり、遊離移植腱が長過ぎたであろう。したがって中指では proximal pulley の欠除、虫様筋の短縮及び深指屈筋腱の長過ぎによって指屈曲運動障害が起ったと考えられる。環指においては MP 関節の拘縮があるためにこの関節には充分な屈曲運動がみられず、またこの指の深指屈筋腱は小指の深指屈筋腱と共同した運動をするために独特な指屈曲運動障害を来したものと考えられる。

それらの指の屈曲運動を対応する標本実験結果と夫々比較してみた。即ち、症例の示指屈曲運動と虫様筋

を短縮させた標本実験結果とを比較検討した。標本実験における指最大屈曲角は MP 関節 72°, PIP 関節 43°, DIP 関節 30° であった。これを症例の示指最大屈曲角即ち MP 関節 90°, PIP 関節 60°, DIP 関節 20° と比較すると、全体としては似かよった指の型を呈する。然しその屈曲障害の程度は症例の示指における方が軽度である。標本実験における虫様筋の短縮よりも、症例の示指における虫様筋短縮の程度が軽度であったためであろう。DIP 関節の最大屈曲角のみを比較すると、症例示指の屈曲角の方が僅かに少い。これは症例における深指屈筋腱の長さがやはり少し長過ぎるからであろう (図50)。次に症例の中指屈曲運動



症例9：提○与○雄

標本実験

図50

を虫様筋を短縮し、深指屈筋腱を 1 cm 延長し、middle pulley と distal pulley を切除した標本における実験結果と比較検討した。標本実験における指最大屈曲角は MP 関節 64°, PIP 関節 26°, DIP 関節 26° であった。この結果と症例の中指最大屈曲角、即ち MP 関節 60°, PIP 関節 45°, DIP 関節 30° とを比較すると、両者は非常に類似した指の型を示している (図50)。

但し実験標本と症例の中指とでは pulley の存在する場所が異なるのでその差が認められる筈である。実験標本においては proximal pulley が残存し、middle pulley 及び distal pulley が欠除しているのに対し、症例の中指では proximal pulley が欠除し、middle pulley 及び distal pulley が残存している。したがって症例においては標本実験結果よりは MP 関節、PIP 関節及び DIP 関節においては屈曲角が増加する筈である。MP 関節の屈曲角はむしろ減少しているものの、この症例の中指は標本実験結果と極めて近似した指屈曲角を呈していることがわかる。もし pulley の残存する場所が一致し、虫様筋が同じ程度に短縮され、深指屈筋腱が延長された症例と標本実験結果とが比較されれば、ほぼ一致した指屈曲角が得られるものと考えられる。云いかえれば条件さえとのえれば臨床症例と標本実験結果とは強い相関関係を有することを示している。

この症例の環指においては MP 関節の拘縮があり、また深指屈筋腱は小指の深指屈筋腱と共同運動を行うという特殊な条件を有しており、この研究の対象からはずれるので標本実験結果と比較検討は行わなかった。

この症例の示指並びに中指における最大屈曲角は残存する pulley の位置の差などを考慮すれば、対応する標本実験結果と非常によく一致することがわかった。

C. 小括

過去約8年間に行われた1,364症例の中から指屈筋損傷例を調査し、手術中に確認された組織損傷によって術後どのような指屈曲運動の障害が起るかを調べた。その中で特に興味ある所見を呈した9症例について詳述し、標本実験結果と比較検討した。

症例1は浅指屈筋が断裂し、これを切除した症例であり、標本の pulley 及び虫様筋には操作を加えることなく深指屈筋腱を牽引して得られた実験結果と比較検討した。

症例2は proximal pulley のみを切除した症例であり、標本の proximal pulley を切除した時の実験結果と比較検討した。

症例3は深指屈筋腱の前進術、深指屈筋腱の短縮及び middle pulley 及び distal pulley の切除を行った例である。Middle pulley 及び distal pulley を切除した標本での実験結果とこの症例の指屈曲角との比較検討を行った。

症例4は遊離腱移植術、全 pulley の切除及び虫様

筋の切除を行った例である。総ての pulley 並びに虫様筋を切除した標本実験の結果とこの症例の指屈曲角とを比較検討した。

症例5は深指屈筋腱の縫合と虫様筋の切除を行った例である。標本において虫様筋を切除した実験結果と比較検討した。

症例6は遊離腱移植、全 pulley の切除及び虫様筋短縮を行った例である。標本において全 pulley の切除と虫様筋の短縮を行なった実験結果とこの症例との比較検討をした。尚この症例では指環をはめた時に起った指屈曲角の変化も標本実験結果と比較検討した。

症例7は遊離腱移植術を行った症例であるが、移植腱が長過ぎると考えられる例である。標本の深指屈筋腱を2cm延長して行った実験結果と比較検討した。

症例8は遊離腱移植術と distal pulley を切除した症例であるが、移植腱が長過ぎると考えられた例である。標本において distal pulley の切除と共に深指屈筋腱を1cm延長して行って実験結果と比較検討した。

症例9の示指においては深指屈筋腱の縫合術と proximal pulley 切除及び虫様筋短縮を行い、中指においては深指屈筋腱に架橋遊離腱移植、proximal pulley の切除及び虫様筋の短縮を行ったが、深指屈筋腱も長過ぎた例である。この症例の示指屈曲運動を標本において虫様筋を短縮した時の実験結果と比較検討した。中指の屈曲運動は middle pulley と distal pulley の切除、虫様筋の短縮及び深指屈筋腱を1cm延長した標本における実験結果と比較検討した。

以上述べた症例観察と標本実験結果を比較検討して解ったことは両者の間にはかなりの差があり、一見無関係のように見えるが、実は両者の間には緊密な相関関係がある事実である。

臨床症例においても標本実験においても、pulley、虫様筋及び深指屈筋腱などの組織が損傷されるとそれに対応した指屈曲運動の変化が認められ、その変化は程度の差こそあれ同じ傾向の変化である。即ち、(i) Proximal pulley や distal pulley を切除すると、すぐ中枢側の関節は屈曲角を増し、すぐ末梢の関節は屈曲角を減ずる。(ii) Middle pulley を切除した場合には、そのすぐ末梢側にある PIP 関節に屈曲運動障害が起る。(iii) 2個以上の pulley を切除した場合にはその屈曲運動障害は更に強くなる。(iv) 虫様筋を切除すると MP 関節の屈曲運動は減少するが、PIP 関節の屈曲運動はよく保たれる。(v) 虫様筋が短縮されると MP 関節はよく屈曲するが、PIP 関節及び DIP

関節の屈曲は著しく障害される。(vi) 深指屈筋腱を延長すると、PIP 関節及び DIP 関節の屈曲運動障害が現われる。(vii) 異なった組織損傷が重複すると指屈曲運動の障害は更に強くなる。

然し臨床症例における指屈曲角は標本実験結果と常に一致するものではなく、両者の間には一定の差異がある。第1の差異は、正常な虫様筋を有する臨床症例では標本実験結果と比較して、MP 関節において屈曲角が増加し、PIP 関節及び DIP 関節の屈曲角は減少する。即ち標本実験では虫様筋が完全に麻痺した状態の指屈曲運動を観察しているが、臨床症例では虫様筋が正常に機能しており、その筋の作用がもたらす指屈曲運動の差が両者の差異として観察されるのであろう。したがって虫様筋を切除または短縮した症例では、この筋の機能が喪失または減少するから対応する標本実験結果と極めてよく似た指屈曲運動を示す。第2の差異は pulley が欠除した場合に見られる。臨床症例においても標本実験においても pulley が欠除すれば、それよりすぐ末梢側の関節に屈曲角の減少が起る。然しその屈曲角減少の程度は臨床症例においては遙かに大きい。これは実験標本では皮膚の伸縮性が乏しいが、臨床症例の皮膚は伸縮性に富み、そのため深指屈筋腱の bow stringing が強く起るからである。

これらの差異を考慮しながら臨床症例に見られた指屈曲運動を標本実験結果と比較すると両者の間には非常に密接な相関関係があることが解った。

V: 考案

1912年 Lexer により発表され、1918年 Bunnell により確立された遊離腱移植術は手の外科とりわけ指の no man's land における腱再建術に新分野を開いた^{1,8,10,37)}。その後50年間にわたって多くの先駆者達はその方法を少しずつ改良し、現在の遊離腱移植術を築き上げた^{9,13,19,20,27,29,41,65,69)}。

近年これらの優れた先駆者達が遊離腱移植術の長期遠隔成績を発表しているが、これらの人達によっても完全な指の屈曲運動を回復させることは非常に困難であることが解る^{11,24,55,67,70)}。Boyes は1971年に1,000例の遊離腱移植術による指屈筋腱修復の遠隔成績を発表している¹¹⁾。彼の報告によれば、術前に外傷による癒痕形成が最少限であり、指関節は柔軟に動き、しかも栄養状態が良好であった指をもった症例“good”群においても、術後完全な指屈曲運動を回復したものは約22%にすぎなかった。術前の条件が更に悪い“scar”群や“multiple”群では10%弱であり、最も条件の悪い“joint”群や“salvage”群では0%であった。即ち遊離腱移植術によって大多数の例では有用な指屈曲運動を回復させることが可能であるが、完全な指屈曲運動を回復させることは極めて難かしいことを示している(図51)。

それでは何故に遊離腱移植術によっては完全な指屈曲運動を回復させることが困難なのであろうか。

まず考えられる原因は癒着の問題であろう。術後における移植腱の周囲組織との癒着は手術成績に最も大きな影響を与えることは確かであり、1910年 Bies-

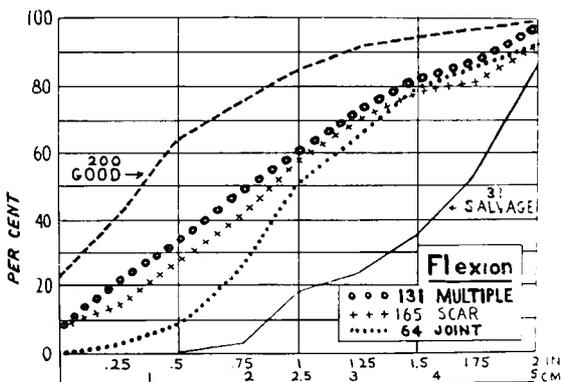


FIG. 1

A cumulative graph shows that the result after grating varies with the preoperative condition of the finger. Because of poor flexion, there were sixteen failures in 607 flexor tendon grafts. These sixteen failures are not plotted on graph, and the results in 591 fingers are given.

図51 (Boyes, J. H. and Stark, H. H. : Flexor tendon grafts in the finger and thumb. J. Bone and Joint Surg., 53-A, 1334, 1971. より)

alski の研究発表以来腱癒着に関する研究は数多く発表されている^{6,7,12,21,44,46,48,49,53,55,57}。実際移植腱が骨あるいは pulley と癒着し、その癒合力が筋の収縮力よりも大きければ癒着部より末梢にある指関節の可動性は失なわれ手術は失敗に終る^{50,51,52}。指屈筋腱損傷に対する手術の失敗例や術後の指屈曲運動障害はすべてこの腱癒着に起因していると現在まで簡単に片づけられていた傾向がある。然し指屈筋腱損傷に対する遊離腱移植術後に指運動障害が残っているにも拘らず、再手術時における観察では、指屈筋腱の癒着はなく、よく滑走している症例に遭遇する。このような症例においては、腱癒着が指屈曲運動障害の原因とは考えられず、他に原因があると考えざるを得ない。断裂腱が縫合された場合には腱縫合部は周囲の腱鞘から来る細胞によって修復され、腱縫合部や縫合糸が挿入された部には周囲組織との癒着が起る。腱は一旦周囲組織と軽度に癒着していても、腱が筋収縮に伴って滑り始めれば腱周囲には腱鞘様の組織が形成され、やがて腱の可動性が徐々に得られることは実験的にも知られている^{20,47,49,54,62}。腱の可動性が得られれば、その可動域増加と共に指屈曲運動も次第に改善される筈である。

次に関節拘縮も術後の指屈曲運動障害を来す原因の一つであろう^{10,63}。外傷により術前に指関節可動域が制限されていた症例では、術後も完全な指屈曲運動ができないのは当然であるが、術前には正常な関節可動域をもちながら術後調査では指関節の可動域が制限されていて指の完全屈曲運動ができない症例がある。こ

れは術後3週間はギプス包帯などにより手指の外固定を行い腱縫合部の治癒を待つのが普通であるが、その固定期間中に関節拘縮が起ってしまうからである。また固定期間が過ぎて指の屈曲運動が開始されても、腱癒着が高度であれば指の十分な運動ができず、その為に関節が不可逆性の拘縮を来す場合もある。前述した Boyes の腱移植術遠隔成績についてももう一度考案してみよう¹¹。腱癒着の影響が最も少ないと考えられる“good”群においても完全に指屈曲ができるのは僅かに22%程度に過ぎないことは前述した。その内容を更に詳細に調べると、“good”群の中でも若年層の0~15才群では約24%、16~30才群では約34%において完全な指屈曲運動が得られているが、31~40才群では約16%、41才以上では僅かに4%前後にしか完全な指屈曲運動が得られていない。高年層においてこのように術後成績が劣るのは、この年齢層においては若年層と比べて術後に不可逆的関節拘縮を来し易く、そのために指屈曲運動障害が起るのであろう (図52)。

この Boyes の報告から更に云えることは長年の経験と優れた技術を有する人が腱癒着の最も少ない“good”群でしかも関節拘縮を来しにくい若年者に腱移植術を行った場合でも術後完全な指屈曲運動が得られるのは35%以下に過ぎないことである。言い換れば最も良い条件で腱移植術を行っても65%以上の症例に指屈曲運動障害が残るのである。このように好条件下の手術においても術後に運動障害が高頻度に起る原因として、腱癒着や関節拘縮のほか組織損傷を考えねば

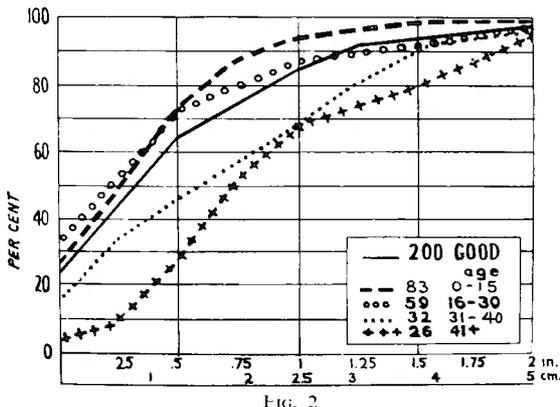


FIG. 2 In the good preoperative classification, the percentage of fingers flexing to the distal palmar crease diminished after age thirty, and after forty years, only 4 per cent flexed to the palmar crease and only 28 per cent flexed to within 1.2 centimeters of the crease.

図52 (Boys, J. H. and Stark, H. H. : Flexor tendon grafts in the finger and thumb. J. Bone and Joint Surg., 53-A, 1335, 1971. より)

ならない。

指運動に関する組織が損傷されれば何らかの運動障害が起り得るであろうことは容易に想像できる。指の中の腱、腱鞘、靭帯、関節などの組織構造は非常に巧妙に作られており、しかも有機的に作用するので指屈伸運動が円滑に行われることは Landsmeer などの研究者により報告されている^{15,32,33,34,35,39,40,60,73}。手掌や指に外傷が加わり指屈筋腱が断裂される場合に最もしばしば随伴して損傷され、しかも指屈曲運動に著しい影響を与える組織としては pulley と虫様筋とが挙げられる。これらの組織は手術侵襲によって損傷されるのも稀ではない。

Pulley は指腱鞘の線維鞘輪状部であり、その機能は指屈曲運動時に指屈筋腱が指骨から浮き上がらぬよう保持することである。Pulley が欠除されると指屈筋腱が bow stringing を来し、指の完全な屈曲が得られないことは経験的に知られている。遊離腱移植術により指屈筋腱の修復を計る場合にも必要に応じて pulley の再建術を行うべきだと考えられている^{16,36,42,59}。

虫様筋は指の MP 関節を屈曲させ、PIP 関節並びに DIP 関節の伸展運動に関与していることは既によく知られている。特に虫様筋の拘縮や縫縮によって“Lumbrical plus” 症状、即ち指を屈曲させようとすると MP 関節は屈曲するが、PIP 関節や DIP 関節はかえって伸展される現象には多くの人達が注目している^{23,25,28,43,45,58,68}。

深指屈筋腱が正常より長過ぎたり短か過ぎたりする場合にも、当然指屈曲運動の変化が起る。したがって断裂した深指屈筋腱を遊離腱移植術によって修復する場合、移植腱が長過ぎると“lumbrical plus” 様症状を起し、移植腱が短過ぎると指の伸展制限が起ることも知られている。それ故遊離腱移植術を行う場合に移植腱の長さを決定する方法として多くの提案がなされている。例えば Koch³¹ は移植腱は軽く緊張する程度でびんと張るほど強く締めないようにと忠告しているし、Rank や Pulvertuft は普通よりも指が少し強く屈曲するように腱の長さを調節することを勧めている。Harrison²⁶ は術中に健側の手指屈曲状態を見て、その屈曲度に合わせて移植腱の長さを決定している。Bunnell や Boyes¹⁰ は移植腱は術後短縮するから移植腱は正常よりもむしろ長い目にしている。Colville と Dicke は虫様筋起始部から停止部までの深指屈筋腱の長さは近位掌側指皮膚線から遠位掌側指

皮膚線までの距離のほぼ2倍であることを確かめ、それら2つの指皮膚線間距離の2倍の長さを持つ移植腱を用いている¹⁷。然し指屈筋腱断裂の後長期間放置された症例では筋が短縮(myostatic contracture)していたり、手術中に筋の緊張度が変化するために移植腱の正確な長さを決定することは仲々難かしい問題である。また術後腱縫合部で移植腱が延長される可能性も考慮されねばならない^{3,56,69,72}。

以上述べたように、pulley、虫様筋、深指屈筋腱などの組織が損傷された場合には、指屈曲運動に変化が起り得ることは以前から経験的に知られていた。然しこれらの組織にどのような損傷が加われば指屈曲運動にどのような変化をもたらすかについての総合的な研究報告が見られず、これらの知識が実際に応用されることは殆どなかった。したがって総合的な基礎資料を作り出すことが今回の研究目的であった。

今回の標本実験では指の完全屈曲運動を行うには深指屈筋腱に約1kgの力を要することが判った。これは臨床経験から推測するに、指先の力を入れずに指を完全に曲げるに要する力とほぼ一致すると考えられる。Pulley や虫様筋に関する標本実験では、以前から経験的に知られていた bow stringing とか“lumbrical plus” 症状についての知識に裏付けを与える結果が得られた。Pulley に関する標本実験では、一度切除した pulley の再建は困難であり、pulley に種々な条件を与えて、それらの実験の総てを同一の指において行うことは不可能であった。例えば proximal pulley のみを切除し、他の2つの pulley を温存した条件で行う実験と middle pulley のみを切除し他の2つの pulley を温存する条件で行う実験を同一の指において行うことはできなかった。したがって pulley に関する実験においては、実験に用いられた夫々の指の個体差による影響が多少とも実験値に現われると考えられるから、その点特に注意すべきであろう。先に図12-Bで示した如く、proximal pulley が切除されると、この pulley のすぐ中枢にある MP 関節の屈曲角は増大し、末梢の PIP 関節屈曲角は減少する。この場合に MP 関節屈曲角が増大するのは模式図でよく理解できる(図53)。即ち proximal pulley を切除すると指屈筋腱の bow stringing が起るが、MP 関節に対する回転モーメントはかえって大きくなり、この関節の屈曲角は増大する。MP 関節が強く屈曲すると指伸筋腱の力が PIP 関節に強く作用し、この関節の屈曲角を減少させると考えられる。このよう

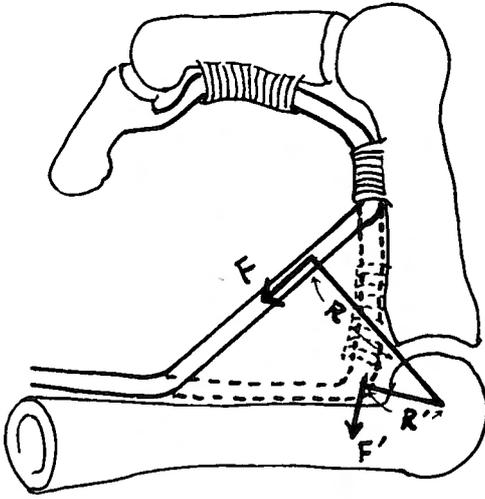


図53 Proximal pulley がないときには指屈筋腱の bow-stringing が起り、MP 関節に対する回転モーメント $R \times F$ は Proximal pulley がある時の回転モーメント $F \times F'$ よりも大きくなる。

に proximal pulley が切除された時の指運動変化は簡単な説明でも十分理解できる。然し標本実験で middle pulley が切除された時の指屈曲角をみると、PIP 関節ばかりでなく MP 関節にも屈曲角の減少を来している。この現象が単なる個体差による誤差ではなく、必然的に起る運動変化であるかどうかを決定するには今後更に力学的分析が必要であろう。

虫様筋は手掌内にある小さな筋であるが、4.0cm の筋伸縮距離を有すると報告されている^{10,28,64,73}。実験標本においては、この筋は筋緊張を失い強い弛緩状態にある。とくに手掌内から浅指屈筋腱を切除するとその状態を更によく観察することができる(図15)。指を完全伸展させた位置で、弛緩状態が消失するまで虫様筋を短縮すると、深指屈筋腱牽引による指屈曲運動に際して MP 関節はよく屈曲するが、PIP 関節並びに DIP 関節においては著しい屈曲障害が起る。臨床症例においても手術中の麻酔下では、この実験標本に見られるような虫様筋の弛緩状態が認められ、手術中にこの筋を用いて縫合部を被うような操作を行えば、この筋は短縮されることになり術後強い指屈曲運動障害を来す筈である(図37)。

この研究における最大の関心事はこの標本実験結果が実際に臨床面に応用できるかどうかであった。臨床症例においては夫々の指の個体差、屈筋腱癒着の状

態、関節拘縮などの外に指伸筋腱や神経損傷などの有無により千差万別の指屈曲運動を示す。臨床観察を始めた当初は実験結果と臨床症例に見られる指屈曲運動変化とはあまりにも異なるので両者間の相関関係を見出すのは困難に思われた。然し観察を続けるうちに、臨床症例では実験標本とは当然異なるべき虫様筋の作用と皮膚伸縮性に基く差異があるのに気付いた。即ち臨床症例では虫様筋が機能しているから、標本実験におけるよりも MP 関節の屈曲角は大きく、PIP 関節及び DIP 関節の屈曲角は小さくなっている。また生体の皮膚は伸縮性に富むから臨床症例において pulley が切除されると標本実験で見られるよりも強い指屈筋腱の bow stringing を来し、それより末梢の指関節により強い屈曲障害を起す。したがってそれらの差異を考慮した上で、腱癒着や関節拘縮を持たない症例の指屈曲運動と標本実験結果とを比較すると両者の間には密接な相関関係があることが判った。虫様筋の作用や皮膚伸縮性に基く差異を無視しうる場合、例えば虫様筋は切除され、pulley は総て温存された場合には臨床症例の指屈曲運動は標本実験結果と極めて類似することも観察された(図36)。

臨床症例の指屈曲運動を標本実験結果と比較検討する場合には次のようなことに留意すべきである。先づ臨床症例の指関節屈曲角を測定する場合には、指伸筋はできるだけ機能していない状態で測定すべきである。標本実験においては指伸筋の作用は無視して取扱っているから、臨床における関節角測定時に指伸筋が働いて、MP 関節や PIP 関節にその作用が及びそれらの関節が伸展されれば、標本実験の結果とは当然異なるであろう。次に標本実験では示指・中指・環指の関節屈曲角を測定し、それらの値の平均値をもって実験結果としている。したがって実験結果が示す数値はそれらの指を平均化した抽象的な指の屈曲運動を表示し、どの指と比較するにも便利ではあるが、逆に云えばどの指と比較しても常に或る程度の誤差を持つことを意味する。或る特定の臨床症例における指屈曲運動を標本実験結果と対比させようとする場合、対応する関節屈曲角の数値だけを比較したのでは、個人差ばかりでなく指の種類に基く誤差をも考慮せねばならず、両者の比較検討は難かしくなる。それよりも症例の MP 関節、PIP 関節、DIP 関節が屈曲して構成する指全体の型を標本実験結果より得られた図 12, 14, 20 の指型と比較するのが良い。腱癒着や関節拘縮の有無、実験標本と臨床症例における指屈曲運動の差などを考慮

しながら比較検討すれば、その指の屈曲運動から組織損傷を推定することができよう。

今回の研究では損傷された組織の量と指屈曲運動の変化量との関係を数量的に表わし得るには至らなかったが、この研究が組織損傷と指屈曲運動との関連性を検索する時に一つの基盤を与えるものとする。そして人体工学的な研究を進める上で役立つばかりでなく、臨床における診断や治療面においても応用できることが少なくないとする。例えば、pulley の欠除では標本実験におけるよりも臨床例においてその影響が強く、欠除部分が広範である程指屈曲運動が強く障害されることが判ったから、力学的立場から考えれば、手術時には可及的に pulley を広く温存すべきであろう。虫様筋の短縮は高度な指屈曲運動障害を起すが、虫様筋が切除されてもそれほど強い障害は起らぬことが判明した。虫様筋が断裂し、修復すれば筋の短縮を来すおそれがある場合には虫様筋を切除する方が無難であることが解る。また深指屈筋腱が長過ぎると、他の組織損傷と合併して強い指屈曲運動障害を来すことも判明したから、遊離腱移植術を行う時には移植腱は正常な長さか又は少し短かい方が良いであろう。手術中に組織損傷の程度が明確にわかれば、この研究結果と照し合わせて、その指の屈曲運動が術後どの程度まで回復し得るかを予想できるであろう。この方面における研究が今後更に進めば、その応用範囲も更に広くなると考える。

VI : 結 論

手における組織損傷と指屈曲運動との関係を調査する目的で切断肢を用いた標本実験並びに臨床症例における術後指屈曲運動観察を行い次のような結論を得た。

1. Pulley, 虫様筋, 指屈筋腱などの組織損傷は、標本実験においても臨床症例においてもその組織損傷に応じた種々な指屈曲運動の変化をもたらす

2. 標本実験結果と臨床症例の指屈曲運動とを比較するには、MP 関節, PIP 関節, DIP 関節の夫々が屈曲して構成する指全体の型を用いるのが良い。

3. 臨床症例において術後指の腱癒着や関節拘縮がなければ、その指の運動は同じ組織損傷を加えられた実験標本と類似した運動を示し、下記の如き関連を示す。

(a) 臨床症例と標本実験に共通して見られる指屈曲運動変化

(i) 1つの pulley を切除した場合には必ず末梢の指関節屈曲角が減少する。proximal pulley や distal pulley を切除した場合には、それらの pulley のすぐ中枢にある指関節の屈曲角はむしろ増加する。

(ii) 2つ以上の pulley が切除された場合には、pulley の1つが切除された時の指運動よりも更に強く障害される。

(iii) 虫様筋が切除されると MP 関節並びに DIP 関節の屈曲角はやや減少するが、PIP 関節の屈曲運動はよく保たれているので指全体の屈曲運動障害は比較的軽い。然し虫様筋が短縮されると MP 関節はよく屈曲するが、PIP 関節及び DIP 関節の屈曲運動は非常に強く制限されるから指全体としての屈曲運動は著しく障害される。

(iv) 深指屈筋腱を虫様筋の起始部より末梢で延長した場合、1 cm 以下の延長では指屈曲運動は強く障害されないが、2 cm 以上延長されると PIP 関節及び DIP 関節に強い屈曲制限を来す。

(v) Pulley, 虫様筋あるいは深指屈筋腱の組織損傷が重複した場合には指屈曲運動は更に強く障害される。

(b) 臨床症例と標本実験とは相違する指屈曲運動変化

(i) 臨床症例では虫様筋の作用により、標本実験結果と比較して MP 関節屈曲角は増大し、PIP 関節及び DIP 関節の屈曲角は減少する。(但し虫様筋の作用が無視されうる症例、例えば虫様筋が切除されたり、短縮された症例では対応する標本実験結果と極めてよく似た指屈曲運動を示す)。

(ii) 臨床症例における皮膚は伸縮性に富むから、pulley が切除された場合には指屈筋腱の bow stringing は起り易く、それによる指屈曲運動変化が標本実験に比べて著しく強く現われる。

稿を終るにあたり常に温かい御教示と御校閲を下さいました伊藤鉄夫教授に深謝いたします。またこの研究を行うに当りまして終始御助言と御協力を下さいました小原安喜子先生に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Adamson, J. E. and Wilson, J. N. : The history of flexor tendon grafting. J. Bone and Joint Surg., 43-A 709-716, 1961.
- 2) Apley, A. G. : Test for the power of flexor digitorum sublimis. Brit. Med. J., 1 : 25-26, 1956.

- 3) 浅妻茂章他：腱切断および不動性萎縮筋における筋機能の経時的変動について第2報。整形外科 20 : 1430-1432, 1969.
- 4) Barnett, C. H. : Muscle tension and joint mobility. *Ann. Rheum. Dis.*, 28 : 652-654, 1969.
- 5) Backhouse, K. M. and Catton, W. T. : An experimental study of the function of the lumbrical muscles in the human hand. *J. Anat.*, 88 : 133-141, 1954.
- 6) Biesalski, A. : Über Sehnenwechselung. *Deutsch. Med. Wochenschrift*, 35 : 1615-1618, 1910.
- 7) Birdsell, D. C., Tustanoff, E. R. and Lindsay, W. K. : Collagen production in regenerating tendon. *Plast. Reconst. Surg.*, 37 : 504-511, 1966.
- 8) Boyes, J. H. : Flexor tendon grafts in the fingers and thumb. *J. Bone and Joint Surg.*, 32-A : 489-499, 1950.
- 9) Boyes, J. H. : Evaluation of results of digital flexor tendon graft. *Amer. J. Surg.* 89 : 1116-1119, 1955.
- 10) Boyes, J. H. : Bunnell's surgery of the hand. Fifth edition. Lippincott Co., 1970.
- 11) Boyes, J. H. and Stark, H. H. : Flexor tendon grafts in the finger and thumb. *J. Bone and Joint Surg.*, 53-A : 1332-1342, 1971.
- 12) Brockis, J. G. : The blood supply of the flexor and extensor tendons of the fingers in man. *J. Bone and Joint Surg.*, 35-B : 131-138, 1953.
- 13) Bruner, J. M. : The zig-zag volar digital incision for flexor tendon surgery. *Plast. Reconst. Surg.*, 40 : 571-574, 1967.
- 14) Carroll, E. R. and Bassett, A. L. : Formation of tendon sheath by silicon rod implants. *Proceedings-American Society for Surgery of the Hand. J. Bone and Joint Surg.*, 45-A : 884-885, 1963.
- 15) Chase, R. : Muscle tendon kinetics. *Amer. J. Surg.*, 109 : 277-282, 1965.
- 16) Cleveland, M. : Restoration of the digital portion of a flexor tendon and sheath in the hand. *J. Bone and Joint Surg.*, 15 : 762-765, 1933.
- 17) Colville, J. and Dickie, W. R. : Tendon graft length. *Brit. J. Plast. Surg.*, 22 : 37-40, 1969.
- 18) Flatt, A. E. : Restraints of the MP joints. A force analysis. *Surg. Forum*, 19 : 459-460, 1968.
- 19) Flynn et al. : Flynn's surgery of the hand. Williams and Wilkins Co., 1966.
- 20) Flynn, J. E. et al. : Heterogenous and autogenous tendon transplants. An experimental study of preserved bovine tendon transplants in dogs and autogenous tendon transplants in dogs. *J. Bone and Joint Surg.*, 42-A : 91-110, 1960.
- 21) Geldmacher, J. und König, D. : Tierexperimentelle Untersuchung zur prophylaxe postoperativer Adhäsionen mit freien Beugesehnen transplantationen. *Handchirurgie*, 3 : 143-149, 1971.
- 22) Gonzalez, R. I. : Experimental use of teflon in tendon surgery. *Plast. and Reconst. Surg.*, 23 : 535-539, 1958.
- 23) Grädel, A. und Heinz, C. : Eine dynamische Analyse des sogenannten "Lumbricalis plus" Syndromes. *Handchirurgie*, 5 : 47-50, 1973.
- 24) Green, W. L. and Niebauer, J. J. : Results of primary and secondary flexor tendon repairs in no man's land. *J. Bone and Joint Surg.*, 56-A : 1216-1222, 1974.
- 25) Harris, C., Jr. and Rutledge, G. L., Jr. : The functional anatomy of the extensor mechanism of the finger. *J. Bone and Joint Surg.*, 54-A : 713-726, 1972.
- 26) Harrison, S. H. : Repair of digital flexor injuries in the hand. *Brit. J. Plas. Surg.*, 14 : 211-230, 1961
- 27) Jaffe, S. and Weckesser, E. : Profundus tendon grafting with the sublimis intact. *J. Bone and Joint Surg.*, 49-A : 1298-1308, 1967.
- 28) Kaplan, E. B. : Functional and surgical anatomy of the hand. Lippincott Co., 1953.
- 29) Kessler, I. and Nissim, F. : Primary repair without immobilization of flexor tendon division within the digital sheath. An experimental and clinical study. *Acta Orthop. Scand.*, 40 : 587-601, 1969.
- 30) Klein, L., Lunseth, P. A. and Aadalen, R. J. : Comparison of functional and non-functional tendon grafts. Isotopic measurement of collagen turnover and mass. *J. Bone and Joint Surg.*, 54-A : 1745-1753, 1972.
- 31) Koch, S. L. : Division of the flexor tendon within the digital sheath. *Surg. Gyn. Obst.*, 78 : 9-22, 1944.
- 32) Landsmeer, J. M. F. : Anatomical and functional investigation on the articulation of the human fingers. *Acta Anat.*, 25 : Suppl. 24, 1955.

- 33) Landsmeer, J. M. F. : Studies in the anatomy of articulation. I. The equilibrium of the "intercalated" bone. II. Patterns of movement of bi-muscular, bi-articular systems. *Acta Morphol. Neerland-Scandina-vica*, 3 : 287-321, 1961.
- 34) Landsmeer, J. M. F. : The coordination of finger joint motions. *J. Bone and Joint Surg.*, 45-A : 1654-1662, 1963.
- 35) Landsmeer, J. M. F. and Long, C. : The mechanism of finger control, based on electromyograms and location analysis. *Acta Anat.* 60 : 330-347, 1965.
- 36) Leddy, J. P., Ashworth, C. B. and Boyes, J. H. : Capsulodesis and pulley advancement for the correction of claw finger deformity. *J. Bone and Joint Surg.*, 54-A : 1465-1470, 1972.
- 37) Lexer, E. : Die Verwertung der freien Sehnen transplantation. *Arch. f. Klin. Chir.*, 98 : 818-852, 1912.
- 38) Litchman, H. M. and Paslay, P. R. : Determination of finger motion impairment by linear measurement. Description of method and comparison with angular measurement. *J. Bone and Joint Surg.*, 56-A : 85-91, 1974.
- 39) Long, C. and Brown, M. E. : Electromyographic kinesiology of the hand. Muscles moving the long finger. *J. Bone and Joint Surg.*, 46-A : 1683-1706, 1964.
- 40) Long, C. : Intrinsic-extrinsic muscle control of the fingers. Electromyographic studies. *J. Bone and Joint Surg.*, 50-A : 973-984, 1968.
- 41) Mayer, L. : The physiological method of tendon transplantation. *Surg. Gyn. Obst.*, 22 : 182-197, 1916.
- 42) Mayer, L. and Ranschoff, N. : Reconstruction of the digital tendon sheath. A contribution to the physiological method of repair of damaged finger tendons. *J. Bone and Joint Surg.*, 18 : 607-616, 1936.
- 43) Milford, L. : The hand, Chapter 4 in Campbell's Operative Orthopedics. Fifth edition, Mosby Co., 1971.
- 44) Nichols, M., Lehman, W. L. and Meck, E. C. : Alteration of the blood supply of flexor tendons following injury. *Amer. J. Surg.*, 87 : 379-383, 1954.
- 45) Parks, A. : The "lumbrical plus" finger. *J. Bone and Joint Surg.*, 53-B : 236-239, 1971.
- 46) Peacock, E. E., Jr. : A study of the circulation in normal tendons and healing graft. *Ann. Surg.*, 149 : 415-428, 1959.
- 47) Peacock, E. E., Jr. : Fundamental aspects of wound healing relating to the restoration of gliding function after tendon repair. *Surg. Gyn. Obst.*, 119 : 241-250, 1964.
- 48) Peacock, E. E., Jr. : Physiology of tendon repair. *Amer. J. Surg.*, 109 : 283-286, 1965.
- 49) Peacock, E. E., Jr. and van Winkle, W., Jr. : Surgery and biology of wound repair. Saunders Co., 1970.
- 50) Potenza, A. D. : Effect of associated trauma on healing of divided tendons. *J. Trauma*, 2 : 175-184, 1962.
- 51) Potenza, A. D. : Tendon healing within the flexor digital sheath in the dog. An experimental study. *J. Bone and Joint Surg.*, 44-A : 49-64, 1962.
- 52) Potenza, A. D. : Critical evaluation of flexor tendon healing and adhesion formation within artificial digital sheath. An experimental study. *J. Bone and Joint Surg.*, 45-A : 1217-1233, 1963.
- 53) Potenza, A. D. : Prevention of adhesions to healing digital flexor tendons. *JAMA*, 187 : 187-191, 1964.
- 54) Potenza, A. D. : The healing of autogenous tendon grafts within the flexor digital sheath in dogs. *J. Bone and Joint Surg.*, 46-A : 1462-1484, 1964.
- 55) Pulvertuft, R. G. : Tendon grafts for flexor tendon injuries in the fingers and thumb. A study of technique and results. *J. Bone and Joint Surg.*, 38-B : 175-194, 1956.
- 56) 齊藤英彦 : 腱手術の基礎としての腱滑動距離の検討. *日整会誌* 46 : 479-501, 1972.
- 57) Smith, J. W. : Blood supply of tendons. *Amer. J. Surg.*, 109 : 272-276, 1965.
- 58) Smith, R. J. : Non-ischemic contractures of the intrinsic muscles of the hand. *J. Bone and Joint Surg.*, 35-A : 1313-1331, 1971.
- 59) Solonen, K. A. and Hoyer, P. : Positioning of the pulley mechanism when reconstructing deep flexor tendons of fingers. *Acta Orthop. Scandinav.*, 38 : 321-328, 1967.
- 60) Stack, H. G. : Muscle function in the fingers. *J. Bone and Joint Surg.*, 44-B : 899-909, 1962.
- 61) Swanson, A. B. : Evaluation of impairment of function in the hand. *Surg. Clin. North Amer.*, 44 : 925-940, 1964.
- 62) 鶴田征夫他 : 指屈筋腱損傷の修復と滑走に関する実験的研究 (第1報) 滑液性腱鞘内における

- 縫合腱の態度. 日整会誌 48 : 107-127, 1974.
- 63) 津下健哉 : 手の外科の実際. 南江堂, 1974.
- 64) 上羽康夫 : 手その機能と解剖. 金芳堂, 1973.
- 65) Van't Hof, A. and Heiple, K. G. : Flexor tendon injuries of the fingers and thumb. A comparative study. J. Bone and Joint Surg., 40-A : 256-262, 1958.
- 66) Van den Meulen, J. C. : Silastic spacers in tendon grafting. Brit. J. Plast. Surg., 24 : 166-173, 1971.
- 67) Verdan, C. E. : Half a century of flexor tendon surgery. Current status and changing philosophies. J. Bone and Joint Surg., 54-A : 472-490, 1972.
- 68) Watson, H. K. and Chung, E. : Posttraumatic interosseus-lumbrical adhesions. A cause of pain and disability in the hand. J. Bone and Joint Surg., 56-A : 79-84, 1974.
- 69) Weiner, D. L., Hoffman, S. and Barsky, A. J. : Improved method for distal attachment of flexor tendon grafts. Plast. Reconstr. Surg., 41 : 71-74, 1968.
- 70) White, W. L. : Secondary restoration of finger flexion by digital tendon grafts. An evaluation of seventy-six cases. Amer. J. Surg., 91 : 662-668, 1956.
- 71) Williams, C. W., Dickie, W. R. and Colville, J. : Silastic sheeting in hand surgery. The Hand, 4 : 273-276, 1972.
- 72) 山田浩他 : 腱切断および不働性萎縮筋における筋機能の経時的変動について (第1報). 整形外科 16 : 1185~1187, 1968.
- 73) Zancolli, E. : Structural and dynamic basis of hand surgery. Lippincott Co., 1968.