

職業性四肢挫滅損傷および外傷性切断に対する治療法に係る 研究・開発・普及

幸田 久男

労働者健康福祉機構燕労災病院職業性外傷センター

(平成 25 年 12 月 27 日受付)

要旨：1：手指外傷に対するスコアリングシステムの再構築のため、重度損傷手 50 例を対象とし、修正 HISS と玉井の評価基準との相関を検討した。両者間には従来の HISS と同程度の高い相関が示された。今後、軽症例を含む幅広い対照群を修正 HISS で評価し、その有用性を再検討する必要がある。

2：切断指再接着に関する調査研究として、①指尖部切断における確実性の高い安全な術式を検討するため、動脈吻合のみを行った指尖部再接着 13 例 15 指を調査した。87% が生着し、外観、機能とも良好な成績が得られたが、今後はより安全性の高い静脈吻合の追加を試みるべきである。②指尖切断に対する再接着術以外の術式を検討するため、逆行性指動脈皮弁を行った指尖切断 13 例 14 指を調査した。全例生着し 2 皮弁で軽度のうっ血を呈した。今後は瘢痕拘縮や知覚回復の詳しい検討を行うべきである。③機能的および整容的に良好な手指を再建するための切断指再接着後二次手術を検討するため、43 例 70 指の二次手術を調査した。二次手術は、単独指再接着の 33% に対し多数指再接着では 74% に行われていた。多数指切断においては、必ずしも一期的修復が十分に行えるとは限らず、適切な時期に二期的手術で再建することが必要となる。④高齢者に対する再接着術を検討するため、65 歳以上に対して行われた再接着 9 例 15 指を調査した。93% が完全生着し、知覚回復も良好だった。術前検査と術後合併症への配慮があれば、青壮年者と変わりなく積極的に再接着術の適応とすべきである。

3：マイクロサージャン集約化の必要性を検討するため、多数指再接着が行われた 13 例 32 指を調査した。97% が生着し、術者 2 名では術者 1 名の手術より約 30 分の時間短縮が可能であった。多数指切断では、複数の執刀医を確保することでかなりの時間短縮が見込まれるとともに、再接着の安定した成績につながると思われる。

(日職災医誌, 62: 207—218, 2014)

—キーワード—

手指切断, 再接着, 機能再建

はじめに

上肢の職業性外傷の形態は、単純な打撲から切創や切断に至るまで多岐にわたる。損傷された手の機能を最大限に回復させるには、受傷後早期から適切な治療が必要となり、そのためには損傷形態および重症度の正確な診断と、専門医による適切な治療計画の決定が不可欠となる。重度損傷手の機能的予後は、その重症度と治療の妥当性によって決定されるが、損傷形態や重症度を反映する詳細な分類および受傷パターン類型化による治療戦略の決定に関する研究は少なく、損傷形態や重症度が機能的予後や職場復帰レベルにおよぼす影響についての調査

も十分になされているとは言い難い。そこでわれわれは「職業性挫滅損傷及び外傷性切断に対する再建術及び手術後の可動範囲拡大についての研究・開発、普及」(第一期研究)において、手指切断・不全切断 50 例を Hand Injury Severity Score¹⁾(以下、HISS)で評価し、最終獲得機能や職場復帰レベルの予測に HISS が有用であることを示した²⁾。しかし、HISS は皮膚、腱、神経、骨損傷に關しての評価であり、血管損傷の評価が含まれないことが問題点と考えられた。

次に、上肢の職業性外傷における手指切断は最も重篤な受傷形態のひとつであり、1965 年小松ら³⁾が初めて母指完全切断の再接着に成功して以来、マイクロサージャ

リー技術および医療機器の進歩に伴い、その成功率は格段に向上している。一方、工業機器の進歩と労災事故防止の啓発によって、手指切断症例数は減少し切断部位は指尖に多い傾向が見受けられる。しかし、切断部位が遠位になれば、より高度な再接着技術や医療機器が求められることになる。よって、再接着のみならず指尖切断に対する再接着術以外の治療法に関しての検討もなされるべきである。また、手指切断に対して機能的および整容的に良好な手指を再建するためには、切断指再接着術後の二次手術が不可欠となる。さらに、高齢化の進む現在の日本では、活動性の高い高齢者が増加しており、彼らが職業性外傷を受傷する機会も増すことが予想される。よって、高齢者に対する再接着術の適応や限界についての検討を行う必要がある。

続いて、切断指再接着を行う環境について考えると、本術式は一般的に緊急的に行われ、執刀医はもちろん助手や看護師など多くのマンパワーと時間が必要とされる。さらに多数指切断に対して再接着を行う場合、手術時間はより長くなり、執刀医の負担は無視できないものとなる。一方、マイクロサージャリーの進歩により切断指再接着の適応は拡大しつつあり、われわれはより高度な技術とよりよい成績を求められている。この対応策の一つとして、限られた施設にマイクロサージョンを集約化し、複数の専門医が手術を行うことが考えられる。

目 的

本研究の目的は以下に示す通りである。

1. 手指外傷に対するスコアリングシステムを再構築すること。
2. 切断指再接着に関する調査研究として、①指尖部切断における確実性の高い安全な術式および手術器械の開発を検討すること、②指尖切断に対する再接着術以外の術式を検討すること、③機能的および整容的に良好な手指を再建するための切断指再接着後二次手術を検討すること、④高齢者に対する再接着術を検討すること。
3. マイクロサージョン（微小外科医）集約化の必要性を検討すること。

対象と方法

テーマ 1

対象は第一期研究と同一の症例群で、上肢職業性外傷のうち、切断や挫滅損傷のように神経や血管損傷を含み、マイクロサージャリーによる再接着や血行再建および遊離組織移植による再建が必要であった重度損傷手とした。平成8年1月から平成12年9月までに受傷し、受傷後5年以上経過した82例を選定し、呼出調査に応じた50例(受傷時年齢18～69歳、平均43歳、男性40例、女性10例)に対して直接検診を行った。対象症例の罹患側、損傷指数、切断・不全切断の別、損傷レベル、損傷形態、術後経過観察期間は表1のとおりである。

直接検診時に調査した項目は、1) X線写真撮影、2) Semmes-Weinstein test (以下、SWT)、2-point discrimination test (以下、2-PD) による知覚評価、3) 手指可動域測定、4) 玉井の評価基準⁴⁾による手指総合機能評価である。

さらに診療録を参照し、損傷指数、玉井の分類⁴⁾による損傷レベル(図1)、損傷形態を調査し、これらが最終成績におよぼす影響を検討した。損傷形態はclean, crush, avulsionの3型に分類した。重症度の包括的スコアとして、Campbellらによって提唱されたHISSおよびわれわれが考案した修正HISSを用いた。まず、各指に対して皮膚(Integument)、骨(Skeleton)、腱(Motor)、神経(Nerve)損傷の範囲および程度に応じた基礎点数をつけ(表2A)、それらの合計に各指の機能的 중요度に応じた定数をかけた後、各指の得点を合計した(表2B)。さらに修正HISSでは、血管(Vascular)損傷の評価として手掌部動脈弓損傷、総指動脈、および固有指動脈損傷にそれぞれ8、8、4点を追加し、2本以上の固有指動脈損傷は8点の加点を行った(表3)。

HISSと玉井の評価基準、修正HISSと玉井の評価基準、および皮膚、骨、腱、神経、血管損傷因子それぞれの点数と玉井の評価基準との相関について、Spearmanの順位相関係数を用いて検定した。

テーマ 2-①

1997年6月から2002年10月までに、動脈吻合もしくは静脈移植による動脈再建のみが行われたDIP関節以

表1 症例の概要

項目	内訳
症例数	50例(男性40例、女性10例)
年齢	18～69歳(平均42歳)
罹患側	右:23例、左:25例、両側2例
損傷指数	1指:25例、2指:11例、3指:5例、4指:4例、5指:4例、7指:1例
切断、不全切断の別	切断31例62指、不全切断19例41指
損傷レベル	Zone I:1例、Zone II:7例、Zone III:16例、Zone IV:14例、Zone V:12例
損傷形態	Clean:3例、crush:42例、avulsion:3例(degloving, heat press:1例ずつ)
術後経過観察期間	3年1ヵ月～15年3ヵ月(平均7年9ヵ月)

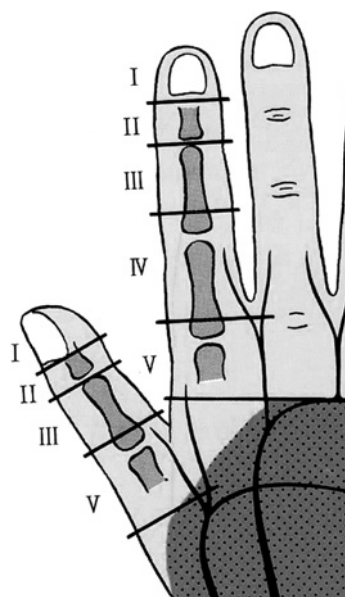


図1 玉井分類による切断レベル

遠での指尖部切断 13 例 15 指を対象とした。性別は男性 8 例、女性 5 例、年齢は 19～56 歳（平均 35 歳）、損傷指は母指 3 指、示指 4 指、中指 7 指、環指 1 指だった。損傷形態は sharp 7 指、crush 7 指、avulsion 1 指であった。切断レベルは全例が玉井の分類 Zone I、石川の分類⁵⁾ Subzone II であり（図 2）、静脈吻合が困難であったため、動脈吻合もしくは静脈移植による動脈再建のみが行われた。術後は、うっ血対策として指尖部の fish mouth incision へのヘパリンガーゼ挿入による持続出血（瀉血）処置が行われた。術後経過観察期間は 3～5 年 11 カ月、平均 1 年 3 カ月だった。

再接着成功率、最終診察時の爪床幅の健側比、外観上の指尖萎縮の有無、DIP 関節以遠の長さの健側比、関節可動域の健側比（%TAM：%Total Active Motion）、寒冷不耐の有無、知覚回復（SWT、2-PD）、および骨癒合状態を調査した。

テーマ 2-②

2002 年 8 月から 2010 年 1 月までに、逆行性指動脈皮弁を行った指尖切断 13 例 14 指を対象とした。性別は男性 9 例、女性 4 例、年齢は 24～68 歳（平均 43 歳）だった。皮弁のサイズは 15×20～28×35mm（平均 19×25 mm）であった。神経縫合は 2 指のみに行われた。3 指で損傷指あるいは母趾からの爪床移植を併用した。術後うっ血の対策として、幅の狭いジグザグ切開を用い、血管茎に約 4mm 幅の皮下静脈網を含めて皮弁を挙上した（図 3）。術後経過観察期間は 4～13 カ月、平均 6.6 カ月だった。

皮弁着生率、術後合併症、最終診察時の %TAM および SWT を調査した。

テーマ 2-③

2005 年 10 月から 2010 年 7 月までに、マイクロサー

ジャリーによる手指再接着あるいは血行再建が施行された 43 例 70 指を対象とした。性別は男性 37 例、女性 6 例で、年齢は 19～78 歳、平均 46 歳であった。受傷形態は、clean が 11 指、crush が 50 指、avulsion が 9 指であり、切断部位は Zone I が 10 指、II が 12 指、III が 21 指、IV が 23 指、V が 4 指だった。

再接着あるいは血行再建の成功率、初回手術が不成功であった症例を除く二次手術の有無、手術法、手術時期について調査した。

テーマ 2-④

2000 年 5 月から 2011 年 8 月までに、65 歳以上の高齢者に対して行われた切断指再接着 9 例 15 指を対象とした。性別は男性 7 例、女性 2 例で、年齢は 65～78 歳、平均 72 歳であった。罹患指は母指 3 指、示指 3 指、中指 3 指、環指 2 指、小指 4 指だった。1 指のみの再接着が 6 例で、2 指、3 指、4 指の再接着がそれぞれ 1 例ずつ、切断指レベルは玉井分類で Zone I が 1 指、II が 4 指、III が 7 指、IV が 3 指であった。全例、腕神経叢ブロック下に通常再接着手技で手術を行い、術後抗凝固療法を 1～2 週間施行した。薬剤は低分子デキストラン、ヘスパンダー、プロスタグランディン、ウロキナーゼ、ヘパリンを使用した。術後経過観察期間は 3～12 カ月、平均 7.4 カ月だった。

再接着成功率、手術時間、術後合併症、および最終診察時の TAM、SWT を調査した。

テーマ 3

2005 年 10 月から 2009 年 7 月までに当科で施行された切断指再接着 31 例 52 指のうち、多数指再接着が行われた 13 例 32 指を対象とした。性別は男性 12 例、女性 1 例で、年齢は 21～78 歳、平均 50 歳であった。完全切断は 6 例で、部分的に皮膚・軟部組織の連続性を有する不全切断は 7 例だった。

再接着成功率、手術時間、助手を除く執刀医の数などについて調査した。

結 果

テーマ 1

HISS と玉井の評価基準との間には、相関係数が -0.772 と高い相関関係が示され、損傷重症度が高いほど最終獲得機能が低下した（図 4）。また、HISS における各損傷因子と玉井の評価基準との間の相関関係は図 5 に示す通りであった。修正 HISS と玉井の評価基準との間にも、相関係数が 0.737 と高い相関関係を認めたが、相関の強さは従来の HISS と同程度で、重傷例のみを含む群では血管損傷因子を加えたことによる有意な差は認められなかった。一方、血管損傷因子のみと玉井の評価基準との間の相関係数は -0.657 で、皮膚損傷因子および神経損傷因子と同程度の高い相関関係が認められた（図 6）。

表2 Campbell's Hand Injury Severity Score (HISS)

A

TISSUE	INJURY FORM			SCORE
INTEGUMENT	Absolute values (hand)	Dorsum	<1cm ²	5
			>1cm ²	10
			>5cm ²	20
		Palm	Dorsum × 2	
	Skin loss	Dorsum	<1cm ²	2
			>1cm ²	3
		Weighted values (digit)		
			Pulp	<25%
			>25%	5
	Skin laceration		<1cm	1
		>1cm	2	
(If extends across more than one ray, include in both rays score)				
Nail damage				1
SKELETAL	Fractures	Simple shaft		1
		Comminuted shaft		2
		Intraarticular DIPJ		3
		Intraarticular PIP/IPJ of thumb		5
		Intraarticular MCPJ		4
	Dislocations	Open		4
		Closed		2
	Ligament injury	Sprain		2
Rupture		3		
MOTOR	Extensor	Proximal to PIPJ		1
		Distal to PIPJ		3
	FDP	Zone 1		6
		Zone 2		6
		Zone 3		5
	FDS			5
Intrinsics			2	
NEURAL	Absolute values	Recurrent branch median nerve		30
		Deep branch ulnar nerve		30
	Weighted values	Digital nerve × 1		3
		Digital nerve × 2		4

B

	INTEGUMENT (Dirty × 2)	SKELETON (Open × 2)	MOTOR	NEURAL	TOTAL
THUMB					(× 6)
INDEX					(× 2)
LONG					(× 3)
RING					(× 3)
LITTLE					(× 3)
HAND					(× 2)
FINAL SEVERITY SCORE (grand total)					

テーマ 2-①

15 指中 13 指が生着し、生着率は 87% であった。生着を確認した後に来院せず、十分な経過観察が不能であった 1 指を除いた 12 指の成績を表 4 に示す。爪床幅が健側比で平均 95.4%、末節長の健側比が平均で 93% と良好な形態が保たれ、%TAM の平均は 92% だった。知覚回復は SWT で purple 8, blue 4 であったが、50 歳以上の 2 例で 2-PD が測定不能であり、患指に強いしびれが残存した。

テーマ 2-②

14 皮弁とも完全に生着した。術後合併症として 2 皮弁で軽度のうっ血を呈したため、皮弁縫合部の抜糸と注射針による瀉血を行った。%TAM は 52~95% で平均 74% だった。PIP および DIP 関節の屈曲拘縮角度の平均はそれぞれ 9.4 度、12 度であった。最終経過観察時に Semmes Weinstein test が行われていたのは 11 指で、2 例を除いて purple から blue の知覚回復が得られた。神経縫合を行わなかった（非知覚皮弁）9 指のうち最も大きい皮弁

表3 HISS Vascular

Vascular Injury	score
Arch	8
Common digital artery	8
Proper digital artery ×1	4
×2	8

HISS に血管損傷因子を追加

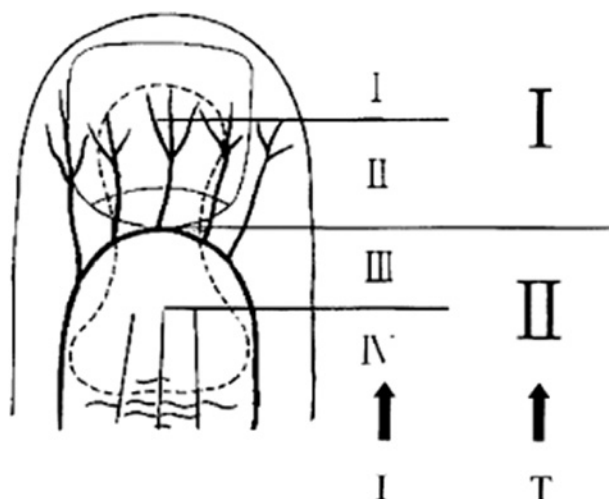


図2 切断レベル

T：玉井のZone分類，I：石川のSubzone分類

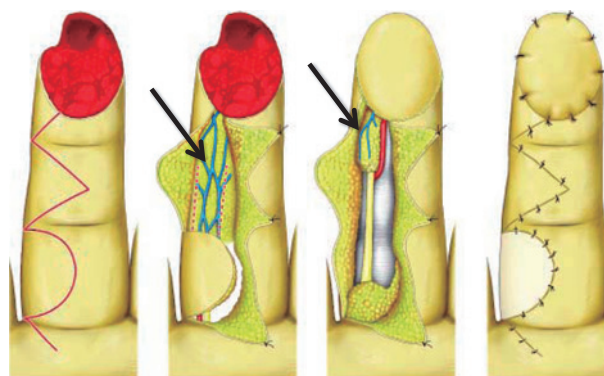
(25×35mm)の知覚回復は不良であったのに対し，神経縫合を行った（知覚皮弁）2指のうち大きい皮弁（28×35mm）の知覚回復は良好であった（表5）。

テーマ2-③

全体の生着率は94%で，完全切断指では93%，不全切断指では95%の生着率であった。単独指再接着の症例では33%が二次手術を受けたにとどまったが，多数指再接着の症例では74%が二次手術を受けていた。損傷レベルにおいては，Zone Iの10%，Zone IIの25%，Zone IIIの76%，Zone IVの96%，Zone Vの100%で二次手術が行われ，損傷レベルが近位になるにしたがい，二次手術が必要となる症例の割合が増加していた。また損傷形態別ではclean 27%，crush 74%，avulsion 78%で二次手術が行われており，損傷形態が複雑化するに従い二次手術の頻度も増加していた。最も多く行われていた二次手術は骨移植，皮膚・軟部組織，腱および骨に関する手術だった（表6）。手術時期について初回手術後2カ月に境に早期，晩期に分けると，早期では皮膚・軟部組織の再建が最も多く施行され，晩期では腱剥離術や腱移行術が最も多かった（表7）。

テーマ2-④

手術時間は2時間52分から7時間45分，平均5時間8分で，8例14指（93%）は完全生着したが，左母指切断の1例1指に部分壊死を認め，逆行性橈側前腕皮弁に



→：皮下血管網

図3 われわれの手術法

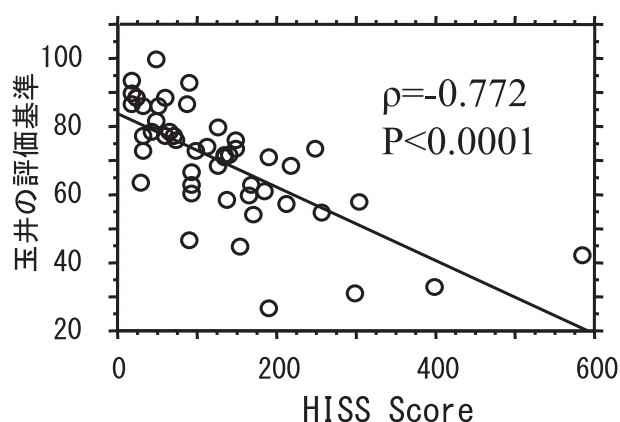


図4 玉井の評価基準とHISSの相関関係

よる再建を要した。指可動域は母指以外のTAMが0度から177度，平均80.3度で，母指TAMが20度から70度，平均38.7度であった。知覚評価を施行しえた8指すべてでSemmes Weinstein TestがPurpleとなり，protective sensationが獲得されていた。1例で術中不穏により全身麻酔に変更した。術後合併症は，1例で輸液負荷による心不全を発症したが，輸液の減量と全身管理により回復し，切断指は問題なく生着した。

テーマ3

再接着指32本中31本が生着した。全体の生着率は97%で，完全切断が93%，不全切断が100%だった。手術時間は4時間34分から12時間31分，平均6時間22分で，再接着1指あたりの手術時間は平均3時間13分であった。執刀医数別にみると，術者1名の手術は1指あたり3時間33分，術者2名では2時間54分であった。

考 察

テーマ1

HISSは最終獲得機能や職場復帰レベルの予測に有用であることが確認されているが，特に指を含んだ職業性外傷でしばしば合併する血管損傷の評価が含まれていな

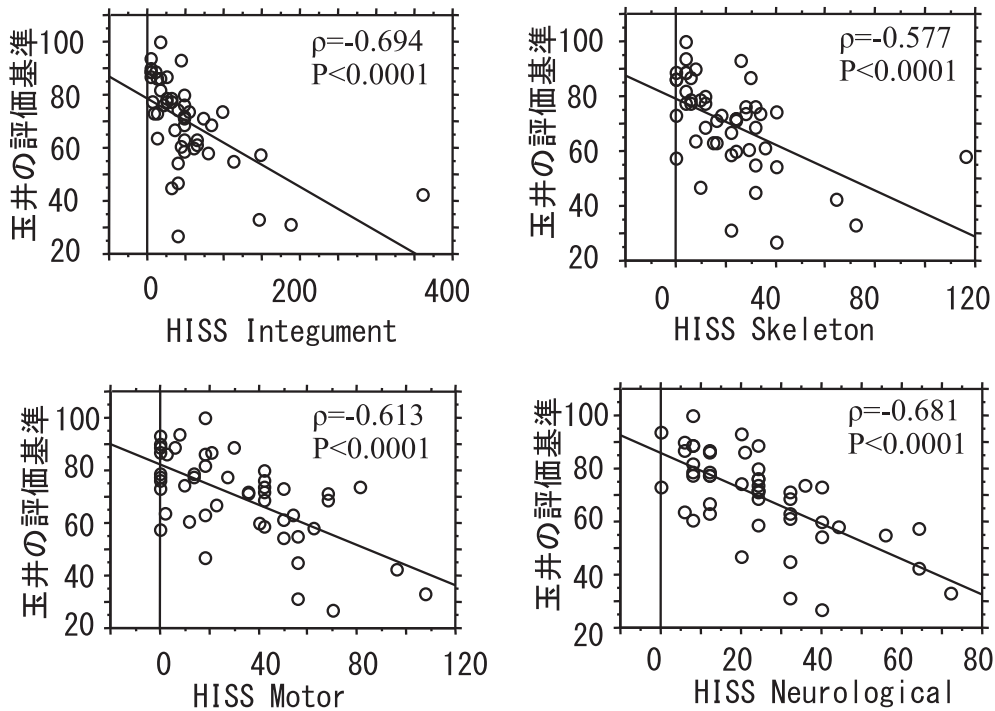


図5 HISSの各因子と玉井の評価基準との相関関係

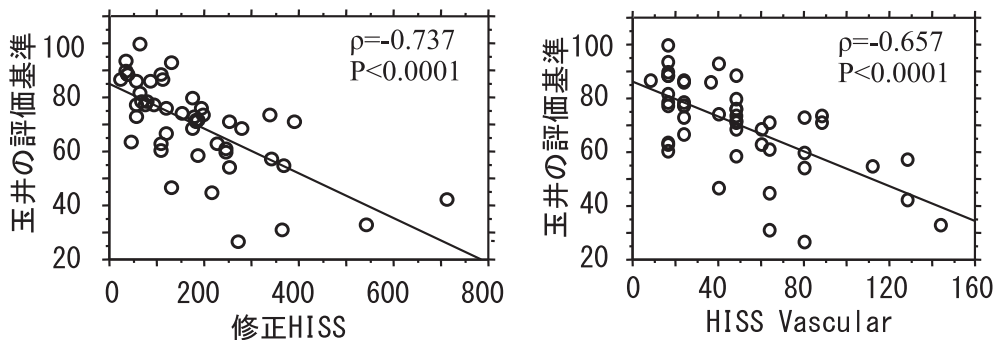


図6 修正 HISS および血管損傷因子と玉井の評価基準との相関関係

い点を指摘する報告もある⁶⁾。今回の研究結果では、血管損傷因子を追加した修正 HISS と玉井の評価基準との間に高い相関関係が示されたが、相関の強さは従来の HISS と同程度であった。この理由として、本研究の症例群が重傷例のみに限定されており、全症例で血管損傷を合併していたことから、修正 HISS として血管損傷因子を加えても、HISS と玉井の評価基準との間の相関グラフは大きく変化せず、修正 HISS の得点が高い方向へ移動するのみで相関関係に大きな影響を及ぼさなかったためと推測される。一方、血管損傷因子のみと玉井の評価基準との間の相関係数は、皮膚損傷因子および神経損傷因子と同程度の高い相関関係が認められており、血管損傷因子を追加して検討することの妥当性が示された。

また HISS においては、それぞれの指に対して基礎点数をつけた後に各指の機能的重要度に応じた定数（母指：6、示小指：2、中環指：3）で乗じた点数を算出する。

われわれは第1期研究において、異所性再接着症例の検討を行っているが、その治療における最も重要な目標は、機能的母指の再建とされている⁷⁻⁹⁾。これは母指切断のみならず、母指を含んだ手指外傷にも広く適応されるべき概念と考えられる。続いて、母指に対する対向指の機能再建⁸⁾を考えるが、対向指としては母指に近い示指あるいは中指の再建が必要となる。

一方で、多数指切断で問題となるのが、palm span の獲得¹⁰⁾である。環小指の欠損例などでは、palm span の減少により手の disability が増加する可能性がある。また、全指の再接着が不可能である場合、示指よりも尺側指を再建の方が手指の屈曲角度や握力が得られやすいと報告されている¹⁰⁾。

これらより、HISS の定数で母指が最も高いことは妥当であるが、機能的重要度を中環指と示小指で大別し、中環指の定数を高くすることに関しては、議論の余地が

表 4 成績の概要

調査項目	結果 (n = 12)
爪床幅 (対健側比 %)	88 ~ 100% (平均 95.4%)
外観上の指尖萎縮	なし : 2, 軽度 : 9, 重度 1
末節部の長さ (対健側比 %)	84.6 ~ 100% (平均 93.0%)
TAM (対健側比 %)	79.0 ~ 99.6% (平均 92.0%)
手指 DIP あるいは母指 IP 関節可動域 (対健側比 %)	54.5 ~ 100% (平均 83.0%)
寒冷不耐	なし : 4, 軽度 : 8
SWT	Blue : 4, Purple : 8
2-PD	3 ~ 11mm (平均 5.9mm) *測定不能 : 2
骨癒合	癒合 : 12 (二期的骨移植 : 1)

表 5 皮弁の知覚回復

SWT 結果	フィラメント径	知覚皮弁 (n)	非知覚皮弁 (n)	総計 (n)
Blue	3.32			
	3.61		1	1
Purple	3.84	1※	2	3
	4.08	1	4	5
	4.17			
	4.31			
Red	4.56		1	1
	4.74		1*	1
	4.93			
総計		2	9	11

※ : 最大の知覚皮弁 (28×35mm)

* : 最大の非知覚皮弁 (25×35mm)

表 6 二期的手術の概要

手術手技	n	%
植皮術あるいは皮弁術	13	27
腱剥離術あるいは腱移行術	9	19
骨移植術	10	21
関節固定術あるいは関節包切離術	6	13
矯正骨切り術	3	6
指間形成術あるいは Z 形成術	7	15
総計	48	100

あると思われる。

今後の課題として、軽症例を含む幅広い対照群を修正 HISS で評価し、その有用性や各指の機能的 중요度に関して検討していく必要があると考えられた。

テーマ 2-①

指尖損傷の治療においては、指の長さ、爪を含めた外観、知覚回復、十分な軟部組織による被覆などに配慮する必要がある。その治療法は再接着術のほか、局所皮弁や遠隔皮弁などがあげられる^{11)~15)}。しかしながら、これらの皮弁は正常組織を犠牲にし、患指の拘縮なども起こしやすいほか、皮弁の壊死というリスクも伴う。一方、再接着術は再接着指が壊死するリスクはあるものの、正常組織への侵襲はほとんどない。

今回の調査では、生着した全指で爪床の幅は十分に保たれ、1 指に著明な指尖の萎縮を認めたものの、それ以外では十分な軟部組織が残された。また骨・関節では、関節可動域は良好で、1 例に骨移植を要したものの生着した全例で骨癒合した。知覚回復においては、全例で神経縫合をしないにも関わらず、2-PD が測定不能となった 50 歳以上の 2 例を除いて、良好な知覚回復が得られた。よって、切断指の挫滅が高度な場合を除けば、指尖切断においても再接着術は理想的な手術法であると考えられる。

指尖切断の再接着において、血管吻合は難易度が高く、特に静脈の吻合が困難となることが多い。静脈吻合が不能である場合には、穿刺¹⁶⁾や fish-mouth incision¹⁷⁾、あるいは医療用ヒルによる瀉血¹⁸⁾で静脈系のうっ血を防ぐ必要がある。当科では、fish-mouth incision からの瀉血を 7 日間行ったが、他施設の報告でも通常 4~7 日間の瀉血を行っている。一般に術後数日で断端部での血管新生が起こるとされるが、挫滅の程度が強ければ、特に静脈系の血管新生が遅れると報告されており¹⁹⁾、7 日間程度の瀉血期間を設定することは妥当と思われる。

瀉血による問題点の一つに、患部からの出血過多があげられる。本研究においては、輸血を必要とした症例はなかったが、Gordon ら²⁰⁾は 14 症例中 21%、Han ら¹⁹⁾にお

表7 二期的手術の時期

手術時期	被覆	腱	関節	骨移植	骨切り	形成術	総計
早期 (2カ月未満)	12	0	0	3	0	0	15
晩期 (2カ月以降)	1	9	6	7	3	7	33

いては68症例中88%で輸血を行っている。指尖切断は相対的にみると小さな外傷であり、輸血に伴う合併症のリスクまで含めて考えると、動脈吻合のみの再接着術を行うべきか否かは意見の分かれるところだが、成功率やさまざまな合併症を十分に説明したうえで患者が再接着術を希望した場合、当科では積極的に再接着を試みるべきと考えている。

さらに、当科では平成22年より50倍の高倍率顕微鏡を導入し、指尖切断に対する再接着術における静脈吻合を試みている。高倍率顕微鏡の使用により、0.5mm以下の血管の処置が可能となり、既存の顕微鏡使用時には困難であった静脈吻合を追加でき、術後瀉血を必要としなかった症例も散見されている。術後瀉血を頻回に行うことを回避できれば、患部からの出血過多のリスクを減らせるだけでなく、患者はもちろん医療スタッフの負担を軽減することにもつながる。

指尖切断再接着に対しては、今後も積極的に静脈吻合を試み、動脈吻合のみの再接着との比較・検討を行いたいと考えている。

テーマ2-②

指尖損傷において組織欠損や挫滅が強い場合、しばしば局所皮弁や遠隔皮弁が必要となる。逆行性指動脈皮弁は1990年に初めてKojimaら¹⁵⁾によって報告され、指尖損傷に対する機能および外観における良好な成績が示された。この皮弁の利点として、損傷指から皮弁を採取可能で、皮膚の色調や質が調和する点があげられる。また、背側指神経や指神経背側枝を含めて採取することにより、知覚皮弁として用いることも可能である。

一方、逆行性指動脈皮弁にはいくつかの欠点も存在する。Donor側の指動脈を犠牲にする必要があり、その血管茎の挙上には技術的な習熟を要する。また、皮弁の挙上には長い皮切を要するため、患指は屈曲拘縮を起こしやすい傾向がある。そして術後のうっ血は最も注意すべき合併症である。Yildirimら²¹⁾は術後のうっ血による皮弁の壊死が20.8%と高率に起こったとし、静脈血流の排出不足を指摘している。これに対する対策として、Inadaら²²⁾は血管茎に幅の狭い皮膚をつけて皮弁を採取する方法を、Kandaら²³⁾は静脈吻合の追加を報告している。

われわれは幅の狭いジグザグ切開を用い、血管茎に約4mm幅の皮下静脈網を含めて皮弁を挙上している。本研究では、軽度のうっ血を2例に認めたが、皮弁周囲の抜糸や注射針による瀉血で対応可能であり、すべての皮弁が生着した。よって、われわれの方法は他の方法に比し

簡便かつ高い生着率が得られる手法と考えている。

逆行性指動脈皮弁の禁忌となりうるのは、粥状硬化症やレイノー現象などの血管攣縮傾向のある患者である。皮弁の挙上などの手術操作により、動脈血流が著しく抑制される可能性があるため、別の再建法を考慮すべきと考える。

皮弁の知覚に関しては、非知覚皮弁の2症例でSWTがredとなり、そのうち1例は25×35mmの大きな皮弁であった。これに対し、知覚皮弁2例のうち1例のサイズは28×35mmであったが、良好な知覚回復を認めていた。また、非知覚皮弁で良好な知覚回復が得られた7例は、知覚皮弁2例と同等の結果であった。前述の25×35mmおよび28×35mm大の皮弁を除いた9皮弁は20×25mm以下の大きさであり、比較的良好な知覚回復が得られた結果を含めて考えると、20×25mm以上の皮弁には神経縫合を追加することが望ましい。

皮弁のサイズに関しては、近年Fukumotoら²⁴⁾は欠損長が15～25mmの指尖損傷に適すると報告している。われわれはこの大きさ以上の欠損にも本法を適応してきたが、donor部の瘢痕拘縮の程度や知覚回復なども評価し、皮弁サイズに関する詳しい検討を行うべきと考える。

テーマ2-③

約40年前、Komatsuら³⁾によって切断指再接着の成功が報告されて以来、再接着術は世界に広まり、機能的および美容的な成績は向上し続けている。再接着成功率は当初の50%以下²⁵⁾から飛躍的に高まり、今日では90%以上²⁶⁾²⁷⁾という報告もなされており、結果として単なる切断指の生着だけでは十分な成功とは考えられなくなってきた。すなわち、一期的な再接着術だけでは十分な動きや知覚、外観が得られないため、それらを再獲得するための二期的な手術が必要とされている²⁸⁾²⁹⁾。

一般的な原則として、一期的な修復においては術後早期からのリハビリテーションを可能とする正確な骨接合、強固な腱縫合および適切な神経縫合が求められる。また特殊な症例においては、異所性再接着^{7)~10)}やspare-parts surgery³⁰⁾³¹⁾を用いての一期的再建が適応となることもある。

しかしながら、多数指切断や複雑な組織欠損を伴うような症例においては、必ずしも一期的修復が十分に行えるとは限らず、適切な時期に皮膚・軟部組織、骨安定性、手指可動域などを二期的手術で再建することが必要となる²⁸⁾²⁹⁾。

再接着指の生着後に最初の問題となるのは、挫滅され

た皮膚・軟部組織の壊死やそれに続発する欠損である。本研究において、皮膚・軟部組織の再建は最多の27%が初回手術後2カ月以内に施行されていた。Yuら²⁹⁾も再接着後2カ月以内においては、皮膚・軟部組織の再建が最も多い(92%)と報告している。よって、皮膚・軟部組織による被覆は他の再建よりも先行して行われるべきと考える。

十分な創治癒が得られた後に必要となるのは骨安定性である。K-wireなどを用いた簡易的な骨接合では不十分な場合も多く、強固な内固定材料への変更も検討すべきである。また、骨欠損を伴う場合は骨移植の追加を考慮する。

続いて行われるべきは、可動域の向上を目的とした腱に対する手術である。当科では初回手術後2カ月以降に行われた手術のなかで、腱剥離術や腱移行術が最も多く、Yuら²⁹⁾も同様の報告をしている。関節包切離術などの関節に対する手技も同時期に行われるべきだが、腱に対する手術に比べ必要となる頻度は少ない。

外観に対する手術は最後に行われるべきである。Z形成術、植皮などによる瘢痕拘縮形成術や余剰の皮膚・軟部組織切除を必要に応じて施行する。

切断指再接着において最良の機能的回復と外観を得るためには、適切な手術適応と十分な一期的修復が求められる。しかしながら、重度の挫減を伴った症例や多数指切断症例で十分な一期的修復ができない場合でも、適切な時期に二期的再建を行うことで良好な成績を得ることができる。そのため、初回手術でどの程度の修復が可能であるか、どんな二期的再建術を行う必要があるかを正確に見極めて治療にあたらなければならないと考える。

テーマ2-④

高齢者の定義はさまざまである。WHOは60~74歳をthe elderly、75歳以上をthe agedと分類し、本邦の国勢調査においては65歳以上を老年人口としている。当科の近隣は町工場といわれるような零細企業が多く、職業性外傷を受傷する年齢をみると60歳前後が比較的多い。我が国の平均寿命は年々伸びており、活動性の高い高齢者も増えてきている。職場における定年は従来60歳が一般的であったが、最近では65歳にまで引き上げようとする動きも出ている。それに伴い職業性外傷を受傷する年齢も高い方向へシフトすることが予想される。よって、本研究では65歳以上を高齢者として扱うこととした。

一般的に切断指再接着の絶対適応は、母指切断、多数指切断、手掌部~手関節の切断、小児、若年女性とされ、1指切断、DIP関節以遠の切断が相対的適応とされてきた。Morrison³²⁾は母指以外の単独指損傷でとくにFDS附着部より中枢のZone IVの症例、高齢者および全身性合併症のある症例では相対的適応、場合によっては禁忌としているが、最近では手術手技および手術器械の洗練、

後療法の進歩などによりその適応は徐々に拡大する傾向にある。

高齢者再接着の生着率は、60歳以上もしくは70歳以上の症例の報告で76%から86%と若年者を含む全体の成功率とほぼ同等とされている^{33)~36)}。本研究でも65歳以上の再接着の生着率は93%と高く、当施設での64歳以下66例の生着率94%と有意差を認めなかった。よって、高齢者に対する再接着術の適応に関しては、年齢のみで制限されるべきでないことが示唆される。

高齢者再接着のリスクファクターとしては、動脈硬化による吻合血管の劣化、心、呼吸器、腎などの臓器予備能の低下、高血圧、糖尿病などの全身性合併症に加え、術前全身検索が不十分となりやすいことや術後の抗凝固療法などがあげられる³³⁾³⁴⁾。また、発症しうる術後合併症は、循環動態変動による肺水腫、心不全、腎不全、術後体位制限や臥床安静による不穏、妄想、幻覚などの精神症状および肺炎や尿路感染、抗凝固療法による出血傾向などが考えられ³⁴⁾、それらを十分に留意した術後管理が必要となる。

手術はできるだけ低侵襲手術を心がける。予想される手術時間によっては、必ずしも全身麻酔に拘らず、Kulenkampff法などの伝達麻酔を使用してのシンプルな術式を考慮すべきである。また、全身への影響と社会的適応を考慮すると頻回の再建手術は行い難いため、major amputationではできるだけ初回緊急手術時に機能再建も同時に行うべきとされている³³⁾³⁵⁾。術後輸液は末梢の十分な灌流を確保しつつも、overloadに対し細心の注意が必要である。さらに、術後合併症予防のため可能な限り早期離床し、機能改善・闘病意欲向上のため早期リハビリを導入すべきである³⁴⁾。

よって、術前検査で手術可能な全身状態であると判断された高齢者であれば、青壮年者と変わりなく積極的に再接着術の適応とすべきと考えられる。一方、社会的肉体的活動性が高い高齢者であっても、青壮年者に比し全身的な予備能が低下していることが予想されるため、起こりうる術後合併症を十分に認識したうえで行う必要がある。

テーマ3

これまで多数指切断においては、最低限のピンチ動作が可能となることを目標に治療が行われてきた。しかし最近では、患者の再接着されなかった指への不満が強い³⁵⁾ことや、機能回復が不良であっても指が残ったことに対する患者の満足度が高い³⁷⁾ことを考慮し、患者の希望があれば全指再接着の適応とする考え方が主流となりつつある。

一方で、多数指切断に対する再接着術は緊急的に行われなければならないという点に手術が長時間に及ぶため、術者はもちろん手術に関わるスタッフへの負担は過大なものとなる。

杉田ら³⁸⁾は、切断指数が多いことが生着率を低下させると指摘している。この理由として、多数指切断例では組織損傷の程度が大きいことや、術者の疲労蓄積や集中力低下をあげている。

一方で、多数指切断の良好な生着率も報告されており³⁵⁾⁴⁰⁾、当科における多数指切断の成功率も完全切断が93%、不全切断が100%と良好であったことから、必ずしも切断指数が直接的に成績に結びつくとは限らないと思われる。

しかし、当科での手術時間は4時間34分から12時間31分、平均6時間22分となり、術者の疲労蓄積や集中力低下は現実として起こりうる問題と考えるべきである。新井ら³⁹⁾の報告では、多数指あるいは手部切断の平均手術時間は15時間24分にも及び、術者の疲労は無視できない問題であるとし、特に多数指切断においてSoucacosら⁷⁾の提唱する2チーム編成での再接着を実践している。これにより、切断指の処置と切断指近位側の処置を同時に行うことができ、手術時間の短縮と術者の疲労軽減が期待できる。

当科における多数指切断再接着で1指あたりの手術時間は平均3時間13分であった。Itoら⁴⁰⁾は切断指再接着51例70指において、1指あたり平均120分を要したと報告しているが、本研究は多数指切断症例に限っているため、より多くの時間を要したと考えられる。さらに、多数指切断においては、単独切断に比して挫滅や引き抜きが多い⁴¹⁾ことや、PIP関節より近位で切断される症例が多く⁴⁰⁾、血管以外の組織の修復にもかなりの時間を要することが関与すると推測される。

また、執刀医数別の手術時間では、術者1名の手術は1指あたり3時間33分、術者2名では2時間54分であり、約30分の時間短縮が可能であった。よって、再接着を執刀できる医師を2名以上確保できれば、多数指切断ではかなりの時間短縮が見込まれるとともに、再接着の安定した成績につながると思われる。

多数指切断に対する再接着術は、前述のとおり患者の満足度といった観点のほか、手術手技および手術器械の洗練、後療法の進歩などにより、その適応が徐々に拡大していく傾向にある。当科の所在する新潟県は、再接着を執刀できる手外科専門医が比較的多い地域だが、再接着やマイクロサージャリーといった専門的医療だけに視点を置いた人員配置は困難であり、手外科専門医は県内の各病院に点在し、2人以上の執刀医を確保できる施設はほとんどない。これは手外科専門医・マイクロサージャンだけの問題でなく、整形外科医全体としての不足という地方が抱える問題を内包している。

このようにマイクロサージャンの集約化は容易ではないが、患者の高い満足度と安定した治療成績を得るためには必須の条件であると考えられる。今後その必要性について各病院レベルから大学医局や厚生労働省に至るま

での啓発を行い、一刻も早く集約化を実現しなければならない。

ま と め

1. 修正 HISS および玉井の評価基準との間には高い相関関係が得られ、血管損傷因子と玉井の評価基準との相関も他の損傷因子と同等であったことから、HISSに血管損傷因子を追加して検討することは有用であることが示唆された。

2. 指尖切断の再接着においては、従来の動脈吻合のみでも瀉血を併用して良好な成績が得られるが、静脈吻合を積極的に試みることで術後合併症のリスクを減らし、患者や医療スタッフの負担を軽減できると考えられた。

3. 逆行性指動脈皮弁を挙上するにあたり、血管茎に皮下静脈網を含める手技は比較的簡便であり、高い皮弁生着率が得られると考えられた。また、サイズの大きな皮弁には神経縫合を追加する必要性が示唆された。

4. 切断指再接着では、必ずしも十分な一期的修復が行えるとは限らず、適切な時期に二期的再建を行うことを見据えて治療にあたらなければならない。

5. 高齢者に対する再接着では、起こりうる術後合併症を十分認識したうえで、低侵襲麻酔および手術操作に心がけ、シンプルな術式による一期的再建を行うべきである。

6. 多数指切断に対する再接着では、複数のマイクロサージャンの手術が行われることで、術者の疲労軽減や大幅な手術時間の短縮、および成績の向上が見込まれる。再接着の適応は徐々に拡大していく状況下においては、一刻も早いマイクロサージャンの集約化の実現が望まれる。

謝辞：本研究は独立行政法人労働者健康福祉機構が推進する「労災疾病等13分野研究」における「四肢切断、骨折等の職業性外傷研究」として、同機構より研究費の助成を受けた。

文 献

- 1) Campbell DA, Key SPJ: The hand injury severity scoring system. *J Hand Surg* 21B: 295—298, 1996.
- 2) 松崎浩徳, 成澤弘子, 登石 聡, 他: 「職業性の挫滅損傷及び外傷性切断に対する再建術及び手術後の可動範囲についての研究・開発、普及」研究報告書。2008, pp 1—22.
- 3) Komatsu S, Tamai S: Successful replantation of completely cut-off thumb- case report. *Plast Reconstr Surg* 42: 374—377, 1968.
- 4) Tamai S: Twenty years' experience of limb replantation- Review of 293 upper extremity replants. *J Hand Surg* 7A: 549—556, 1982.
- 5) Ishikawa K, Ogawa Y, Soeda H, et al: A new classification of the amputation level for the distal part of the finger. *J JPN SRM* 3: 54—62, 1990.
- 6) Saxena P, Cutler L, Feldberg L: Assessment of the severity of hand injuries using 'hand injury severity score'.

- and its correlation with functional outcome. *Injury* 35: 511—516, 2003.
- 7) Soucacos PN: Indications and selection for digital amputation and replantation. *J Hand Surg* 26B: 572—581, 2001.
 - 8) Cheng TJ, Cheng NC, Tang YB: Restoration of basic hand function by double transpositional digital replantation in five-digit amputations. *J Reconst Microsurg* 20: 201—205, 2004.
 - 9) An PC, Kuo YR, Lin TS, et al: Heterotopic replantation in mutilation hand injury. *Ann Plast Surg* 50: 113—118, 2003.
 - 10) Soucacos PN, Beris AE, Marizos KN, et al: Transpositional microsurgery in multiple digital amputations. *Microsurgery* 15: 469—473, 1994.
 - 11) Atasoy E, Ioakimidis E, Kasdan ML, et al: Reconstruction of amputated fingertip with a triangular volar flap: a new surgical procedure. *J Bone Joint Surg* 52A: 921—926, 1970.
 - 12) Segmüller G: Modification of the Kutler flap: neurovascular pedicle. *Handchirurgie* 8: 75—76, 1976.
 - 13) Pho RW: Local composite neurovascular island flap for skin cover in pulp loss of the thumb. *J Hand Surg* 4A: 11—15, 1979.
 - 14) Flatt AE: The thenar flap. *J Bone Joint Surg* 39B: 80—85, 1957.
 - 15) Kojima T, Tsuchida Y, Hirase Y, et al: Reverse vascular pedicle digital island flap. *Br J Plast Surg* 43: 290—295, 1990.
 - 16) Ishikawa K, Yoshida Y, Suzuki Y, et al: Venous drainage of replanted digits amputated at distal phalanx level. *J JPN SRM* 5: 2—8, 1992.
 - 17) Yamano Y: Replantation of the amputated distal part of the fingers. *J Hand Surg* 10A: 211—218, 1985.
 - 18) Hirase Y, Hayashi H, Ogawa Y, et al: Practical use of medical leech in hand surgery. *J JPN Soc Surg Hand* 6: 224—227, 1989.
 - 19) Han SK, Chung HS, Kim WK: The timing of neovascularization and fingertip replantation by external bleeding. *Plast Reconstr Surg* 110: 1042—1046, 2002.
 - 20) Gordon L, Leinter DW, Buncke HJ, et al: Partial nail plate removal after digital replantation as an alternative method of venous drainage. *J Hand Surg* 10A: 360—364, 1985.
 - 21) Yildirim S, Avci G, Akan M, et al: Complication of the reverse homodigital island flap in fingertip reconstruction. *Ann Plast Surg* 48: 586—592, 2002.
 - 22) Inada Y, Tamai S, Fukui A, et al: Reverse digital flag flap. *J Jpn Plast Surg* 38: 941—949, 1995.
 - 23) Kanda T, Oi H: Reverse vascular pedicle digital island flap with venous anastomosis to prevent flap congestion, presented at the 16th Niigata Hand Surgery Conference, Niigata, 2009.
 - 24) Fukumoto K: How to choose the flaps for reconstruction of fingertip injury. *PEPPARS* 13: 33—40, 2007.
 - 25) Weiland AJ, Villarreal-rios A, Kleinert HE, et al: Replantation of digits and hands: analysis of surgical techniques and functional results in 71 patients with 86 replantations. *J Hand Surg* 2A: 1—12, 1977.
 - 26) Patradul A, Ngarmukos C, Parkpian V: Distal digital replantations and revascularizations, 237 digits in 192 patients. *J Hand Surg* 23B: 578—582, 1998.
 - 27) Waikukul S, Sakkarnkosol S, Vanadrongwan V, et al: Results of 1018 digital replantations in 552 patients. *Injury* 31: 33—40, 2000.
 - 28) Wang H: Secondary surgery after digit replantation, its incidence and sequence. *Microsurgery* 22: 57—61, 2002.
 - 29) Yu JC, Shieh SJ, Lee JW, et al: Secondary procedures following digital replantation and revascularization. *Br J Plast Surg* 56: 125—128, 2003.
 - 30) Brown RE, Wu TY: Use of 'spare parts' in mutilated upper extremity injuries. *Hand Clin* 19: 73—87, 2003.
 - 31) Alpert BS, Buncke HJ: Mutilating multidigital injuries, use of a free microvascular flap from a nonreplantable part. *J Hand Surg* 3A: 196—198, 1978.
 - 32) Morrison WA: Digital replantation. *Hand Clin* 23 (1): 1—12, 2007.
 - 33) 土岐 玄, 石川浩三, 鈴木義久, 他: 高齢者の切断肢指再接着例の検討. *日本マイクロ会誌* 7(3): 147—154, 1994.
 - 34) 安部幸雄, 砂金光蔵, 伊藤 孝, 他: マイクロサージャリーを利用した高齢者の機能再建術の検討. *整形外科* 49(10): 1199—1202, 1998.
 - 35) 菊池雄二, 森岡康祐, 菊池珠美, 他: 再接着困難症例におけるわれわれの工夫と minimum requirement. *形成外科* 42(7): 597—609, 1999.
 - 36) 市川 誠, 生田義和: 関節手術, 高齢者に対するマイクロサージャリーの適応と問題点について. *関節外科* 18(4): 30—34, 1999.
 - 37) 川西弘一, 矢島弘嗣: 切断指再接着の緊急手術と緊急再手術. *新 OS-NOW—新世代の整形外科手術*. 2002, pp 35—41.
 - 38) 杉田直樹, 林 淳二, 田中信弘: 当科における手指再接着術の経験. *中四整会誌* 9(2): 207—209, 1997.
 - 39) 新井哲也, 浦田士郎, 田中健司: 多数指並びに手部切断再接着手術の治療成績と問題点. *日手会誌* 27(5): 538—542, 2011.
 - 40) Ito H, Sasaki K, Ochi M, et al: Analysis of results after fingertip replantations. *J Jpn SRM* 20: 108—114, 2007.
 - 41) 中島英親, 寺本憲市郎, 平野哲也, 他: 多数指切断に対する治療. *整形外科と災害外科* 47: 585—587, 1998.

別刷請求先 〒959-1228 新潟県燕市佐渡 633
燕労災病院整形外科
幸田 久男

Reprint request:

Hisao Koda
Clinical Research Center for Work-related Injuries in
Tsubame Rosai Hospital, Japan Labour Health and Welfare
Organization, Sawatari, Tsubame-shi, Niigata-ken, 959-1228,
Japan

Treatment for Work-related Crush Injuries of Upper Extremities and Mutilating Hand Injuries

Hisao Koda

Clinical Research Center for Work-related Injuries in Tsubame Rosai Hospital, Japan Labour Health and Welfare Organization

In this retrospective study, we evaluated 50 patients for work-related, mutilating hand injuries with Tamai's score, original HISS, and modified HISS which added vascular injury factor. Modified HISS highly correlated with Tamai's score, as equivalent as original HISS. Larger studies will be necessary to validate the usefulness of modified HISS.

Next, we researched 4 subjects about digit amputations as below.

We investigated the functional and cosmetic results of fingertips which replanted only arterial anastomosis at the terminal branch of the digital artery. 13 out of 15 were successfully replanted, and the outcomes were acceptable. But venous anastomosis should be aggressively performed to gain stable and safety results.

We investigated the success rate, and functional results of reverse pedicle digital island flap. All 14 flaps healed completely without severe congestion. Larger studies are needed to clarify the necessity of the anastomosis of the nerve, and some measures should be taken against flexion contractures of DIP and PIP joints.

We evaluated the success rate, and secondary surgeries of 43 patients (70 digits) who had undergone digit replantation or revascularization. Success rate was 94%, and 39 digits from 21 patients required 48 secondary surgeries. Primary repair must be adequate to restore the function and appearance of amputated digits. However, for some patients, reasonable secondary procedures at the appropriate time are essential.

We investigated the success rate, and functional results of digit replantations in elderly. The results were not inferior to some in younger patients. For elderly patients, digit replantations should be aggressively applied after adequate pre-operative evaluations. But we carefully must keep in mind with post-operative complications.

Finally, we reviewed the records of patients undergoing multiple-digit replantation and collected data on the success rate, surgical time, and the number of micro-surgeons involved. All but 1 digit were successfully replanted. Mean surgical time for replanting 1 digit by two surgeons was about 30 minutes shorter than that by one surgeon. Therefore, the surgery should be performed by two or more micro-surgical teams, which could provide excellent results.

(JJOMT, 62: 207—218, 2014)